

SHIRLEY GAGNON

ÉNERGIE SOLAIRE ET ARCHITECTURE

**Les outils numériques et leur utilisation par les architectes pour
la conception solaire**

Mémoire présenté

à la Faculté des études supérieures et postdoctorales de l'Université Laval
dans le cadre du programme de maîtrise en sciences de l'architecture
pour l'obtention du grade de Maître ès sciences (M.Sc.)

ÉCOLE D'ARCHITECTURE DE L'UNIVERSITÉ LAVAL
FACULTÉ D'AMÉNAGEMENT, D'ARCHITECTURE ET DES ARTS VISUELS
UNIVERSITÉ LAVAL
QUÉBEC

2012

Résumé

Cette recherche étudie la conception architecturale dans le but de déterminer comment l'utilisation des outils informatiques peut aider les architectes à intégrer les composantes solaires dans leurs projets. Elle a été réalisée dans le cadre de la *Task 41 : Solar Energy and Architecture* de l'*International Energy Agency* (IEA) dont les deux objectifs sont de soutenir le développement d'une architecture solaire de haute qualité et contribuer à l'amélioration des compétences des architectes dans ce domaine. De plus, cette recherche vise à décrire et comprendre les facteurs architecturaux qui influencent le développement d'une architecture solaire de qualité, en ce qui a trait à la pratique de l'architecture, aux principes fondamentaux de l'architecture solaire et à l'attitude des concepteurs. Afin de répondre à ces objectifs, la recherche utilise deux méthodes distinctes et complémentaires : un inventaire des outils informatiques pour l'architecture ainsi qu'une enquête internet auprès des concepteurs.

La première partie de ce mémoire présente l'inventaire de 56 outils informatiques (CAAO, logiciels de visualisation et de simulation) utilisés par les architectes. Les résultats de l'analyse de cet inventaire révèlent les limites des outils solaires précis pour les premières étapes de conception, la spécialisation systémique des logiciels disponibles, l'absence de résultats numériques clairs pouvant appuyer la prise de décision en début de conception, un manque d'informations claires à propos du calcul du comportement de la lumière lors de la génération des images de synthèse, et les limites de la visualisation des systèmes solaires actifs.

La deuxième partie de ce mémoire prend la forme d'une analyse complémentaire des données recueillies par une enquête internationale réalisée auprès de 350 professionnels du secteur du bâtiment. Les résultats démontrent que les répondants s'efforcent de concevoir des bâtiments solaires en utilisant surtout les principes solaires passifs (gains solaires thermiques et éclairage naturel) au meilleur de leurs connaissances. Malgré tout, l'enquête révèle certains obstacles liés aux outils informatiques et à leur utilisation, tels que leur complexité, l'investissement nécessaire en termes d'apprentissage et la faible intégration au processus normal de conception. Finalement, l'ensemble des résultats obtenus a permis de relever neuf actions potentielles pour poursuivre l'adaptation de la pratique actuelle de l'architecture vers une architecture solaire de qualité et la diffusion des connaissances relatives à l'architecture solaire.

Abstract

This research focuses on architectural design in order to determine how the use of software can help architects integrate solar energy components in their projects. This research was conducted as part of International Energy Agency (IEA) Task 41: Solar Energy and Architecture which pursued the following objectives: to support the development of a high quality solar architecture and to improve architects' skills in this field. The third objective consisted of describing and understanding the factors that influence the architectural development of high quality solar buildings, in terms of architectural practice, solar architecture principles and architects' attitude relative to solar design. To achieve these objectives, the research was carried out using into two distinct and complementary methods: an inventory of software used by architects and an online survey among buildings practitioners.

The first part of the research presents results of a state-of-the-art review of 56 computer tools (CAAD, visualisation and simulation software) used by architects. The results reveal a lack of advanced solar tools for early design phase (EDP) work, systemic specialization of available software, a lack of clear numerical feedback yielding intelligent decisions at EDP, a lack of clear information about the validity of rendering algorithm, and a lack of tools for the architectural integration of active solar systems.

The second part of the research presents an additional analysis of data collected by an international survey among 350 building practitioners. The results show that respondents develop solar buildings mainly by using passive solar principles (passive solar gain and daylighting) according to the best of their knowledge. The survey also revealed some barriers related to computer tools and their use, such as complexity, high learning curve and poor integration into the normal design process. Finally, the overall results identify nine potential actions to adapt the current architectural practice to a high quality solar design and dissemination of knowledge on solar architecture.

Remerciements

Je tiens tout d'abord à remercier ma (co)directrice, Marie-Claude Dubois, qui m'a fortement encouragée à réaliser ce projet de recherche. Elle est de loin la personne qui s'est le plus impliquée dans mon travail et ce, malgré la distance. Elle a toujours su valoriser mes travaux et mes aptitudes. Je la remercie également, ainsi qu'à Ressources Naturelles Canada pour les bourses et subventions de déplacement qui m'ont donné l'opportunité de participer à la conférence Eurosun 2010, au Congrès de l'ACFAS en 2010, ainsi qu'à deux rencontres de la Tâche 41 de l'*International Energy Agency* (IEA) en Europe.

Un merci particulier à Pierre Côté qui a pris le relais de ma direction de mémoire pour la fin de parcours, ainsi qu'à Geneviève Vachon et Carole Després pour leurs encouragements et l'intérêt porté à mon travail.

A special thanks to Miljana Horvat, Jouri Kanters, Maria Wall and Émilie Bouffard for your kindness, your help and your support. I also thank all people from IEA Task 41 for your direct or indirect involvement in this research.

J'aimerais aussi remercier mes amis, Véronique, Jean-Bruno, Jean-Philippe, Jean-Sébastien, Mathieu, Simon, Chantal, Alex, Marc, Andréanne, Sophie et tous les autres, qui ont tous su, chacun à leur manière, me divertir, m'écouter, me soutenir et surmonter mes humeurs, disons-le, plus que variables.

Et plus que tout, je remercie mes parents, Arlene et Robert, sur lesquels je peux toujours compter. Merci de toujours m'encourager, me faire confiance et m'aimer.

*« The best and the most effective
form of energy is thinking »*

Jörg Probst

Table des matières

Résumé.....	i
Abstract.....	i
Remerciements.....	ii
Table des matières.....	iv
Liste des tableaux.....	vii
Liste des figures.....	viii
Introduction.....	1
L'énergie solaire et les bâtiments.....	3
Task 41 : Solar Energy and Architecture.....	6
Une analyse complémentaire.....	7
Cadre théorique.....	11
1 La pratique architecturale.....	11
1.1 La profession d'architecte.....	11
1.1.1 La pratique de l'architecture.....	12
1.2 La conception architecturale.....	13
1.2.1 Le processus de conception.....	14
1.3 Les outils d'aide à la conception.....	21
1.3.1 Les types d'outils numériques.....	23
1.3.2 Les spécificités des outils numériques en architecture.....	25
1.4 Conclusion.....	26
2 L'énergie solaire et l'architecture.....	28
2.1 L'architecture solaire.....	31
2.1.1 Le solaire passif.....	32
2.1.2 La lumière naturelle.....	34
2.1.3 Le solaire actif.....	39
2.2 La conception solaire.....	42
2.2.1 Les premières étapes de conception.....	43
2.2.2 Les connaissances du concepteur.....	43
2.2.3 Les outils et méthodes de conception.....	46
2.3 Conclusion.....	47

3	Les outils numériques de conception architecturale	49
3.1	L'utilisation des logiciels de simulation par les architectes	50
3.2	Les logiciels et les tâches architecturales à réaliser	52
3.3	Les facteurs essentielles à l'utilisation des outils numériques	54
3.4	Les impacts sur la conception architecturale	62
3.5	Conclusion	63
4	Méthode.....	65
4.1	Les deux parties de la recherche	65
4.2	Inventaire des logiciels en architecture	66
4.2.1	La cueillette des données et présentation de l'inventaire	67
4.2.2	L'analyse des logiciels	68
4.3	Enquête en ligne	72
4.3.1	Le questionnaire.....	74
4.3.2	Les méthodes de recrutement des répondants.....	75
4.3.3	Les taux de réponse.....	76
4.3.4	L'analyse des résultats de l'enquête internet	77
4.3.5	Les limites et biais possibles.....	78
5	Résultats : High Quality Solar Architecture: Do Architects Have Tools Supporting Early Design Phase Decisions?.....	79
5.1	Résumé.....	79
5.2	Abstract	79
5.3	Introduction	80
5.3.1	Early Design Phase (EDP).....	80
5.4	IEA Task 41: Solar Energy and Architecture – Subtask B: Methods and Tools for Solar Design	81
5.5	Methods.....	81
5.5.1	Objectives and scope of the State-of-the-art review	82
5.5.2	Method of State-of-the-art	82
5.6	Results of the State-of-the-art.....	83
5.6.1	CAAD tools.....	83
5.6.2	Visualization tools.....	85
5.6.3	Simulation tools	87

5.7	Conclusion	88
5.8	Limitations and wild cards.....	90
5.9	Acknowledgements	90
5.10	References.....	91
6	Résultats : Analyse complémentaire de l'enquête internet	92
6.1	La synthèse du portrait des répondants	92
6.2	Les questions relatives à la conception architecturale	95
6.3	Les questions relatives à la conception solaire	115
6.4	Conclusion	142
	Conclusions.....	145
	Retour sur les conclusions de l'inventaire des logiciels	145
	Retour sur l'analyse complémentaire de l'enquête internet	148
	Limites de la recherche.....	151
	Vers une architecture solaire de qualité	153
	Bibliographie	157
	Annexe A : Correspondance avec les éditeurs	167
	Annexe B : Questionnaire de l'enquête internet.....	168
	(version francophone)	168
	Annexe C : Questionnaire de l'enquête internet (version anglophone visuel web)	179
	Annexe D : Ensemble des commentaires recueillis à la question 13	202

Liste des tableaux

Tableau 1 : Tableau comparatif des définitions du processus de conception selon les auteurs retenus	16
Tableau 2 : Typologies des outils d'aide à la conception (inspiré de Lawrence, 1993)	22
Tableau 3 : Liste des logiciels couverts dans l'inventaire	66
Tableau 4 : Grille des critères d'analyse et éléments d'évaluation des logiciels	71
Tableau 5 : Distribution des questions par thème et catégorie	74
Tableau 6 : Distribution du nombre de questionnaires enregistrés par pays et leur taux de réponse respectif	76
Tableau 7 : Grille d'analyse complémentaire de l'enquête internet	77
Tableau 8 : Liste des logiciels non retenus pour l'analyse de la question 8	101
Tableau 9 : Principales fonctionnalités des logiciels de simulation	111
Tableau 10 : Taux de participation pour chacune des stratégies présentées à la question 2 (pour tous les pays, 349 répondants)	117
Tableau 11 : Taux de participation pour chacun des types outils présentés à la question 7, pour tous les pays (320 répondants)	125
Tableau 12 : Principaux thèmes abordés à la question 13 et le nombre de commentaires et de sous-thèmes qui leur sont associés	138
Tableau 13 : Commentaires enregistrés par les répondants à la question 13, associés aux thèmes spécifiques qu'ils abordent et présentés par pays (n=65)	202

Liste des figures

Figure 1 : Croissance de la consommation énergétique canadienne entre 1990 et 2008, par secteur d'activité (graphique de l'auteure d'après les données tirées de l'Office de l'efficacité énergétique, 2009a).....	2
Figure 2: Croissance des émissions canadiennes de GES entre 1990 et 2008, par secteur d'activité (graphique de l'auteure d'après les données tirées de l'Office de l'efficacité énergétique, 2009b).....	2
Figure 3 : Potentiel énergétique théorique des différentes sources d'énergies renouvelables pour combler la demande énergétique globale annuelle, (inspiré de EREC, 2010, p. 16).....	4
Figure 4 : Schéma du processus de conception retenu.....	18
Figure 5 : Démonstration mathématique de la relation entre l'angle d'incidence d'un rayon solaire et son intensité sur une surface donnée (inspiré de Dubois, 2000).....	29
Figure 6 : Moyenne annuelle de l'énergie solaire à la surface de la Terre (kWh/m ² /jour), source NASA, 2008 (UNEP/GRIP-Arendal, 2008).....	30
Figure 7 : Adaptation volumétrique d'un module simple pour une utilisation optimale de l'énergie solaire en fonction des besoins, source : Light'n books, l'hélio-morphologie d'une librairie urbaine, projet de fin d'études (M. Arch.) (Gagnon, 2011).....	33
Figure 8 : Représentation schématique des quatre principes du chauffage solaire passif (inspiré de Cofaigh et al., 1996)	33
Figure 9 : Schémas représentant différentes compositions d'ouvertures vues en coupe...38	
Figure 10 : Représentation schématique d'un collecteur plat	40
Figure 11 : Représentation schématique de la composition et du fonctionnement d'un collecteur à tubes sous vide	40
Figure 12 : Représentation schématique de la composition d'une cellule photovoltaïque ainsi que des différents flux énergétiques (inspiré de Roberts et Guariento, 2009) ...	41

Figure 13 : Représentations schématiques d'une surface absorbantes perpendiculaire au rayonnement solaire, en été et en hiver pour la latitude 46° 48" N.	44
Figure 14 : Coupe longitudinale nord-sud du projet <i>Light'n books : l'hélio-morphologie d'une librairie urbaine</i> (Gagnon, 2011).	45
Figure 15 : Distribution des questionnaires analysés par pays (n=350).....	93
Figure 16 : Distribution des données selon les principaux types de bâtiments réalisés par les répondants (question 15, pour tous les pays, 278 répondants pour 808 réponses).	94
Figure 17 : Distribution des réponses selon les méthodes de conception utilisées (question 4, pour tous les pays, 344 répondants pour 913 réponses).	95
Figure 18: Distribution des données selon les types de processus de conception utilisés par les répondants (question 16, pour tous les pays, 278 répondants pour 587 réponses).	97
Figure 19 : Distribution des données selon les méthodes contractuelles utilisées par les répondants (question 17, pour tous les pays, 287 répondants).	98
Figure 20 : Distribution des réponses, par catégorie de logiciel, selon les phases de conception (question 8. pour tous les pays, 275 répondants pour 2107 réponses soumises).....	99
Figure 21 : Distribution des réponses pour chaque phase du processus de conception selon les outils informatiques CAAO les plus utilisés par les répondants (question 8, pour tous les pays, 275 répondants pour 1623 réponses soumises).....	102
Figure 22: Distribution des données pour les différents outils CAAO utilisés en fonction de l'étape de conception du projet d'architecture (question 8 – CAAO, pour tous les pays, 275 répondants pour 1623 réponses soumises).....	104
Figure 23 : Distribution des données pour chaque phase du processus de conception selon les outils de visualisation les plus utilisés par les répondants (question 8, 275 répondants pour 197 réponses).	106

- Figure 24 : Distribution des données pour les différents outils de visualisation utilisés en fonction de l'étape de conception du projet d'architecture (question 8 – outils de visualisation, pour tous les pays, 275 répondants pour 197 réponses soumises)....108
- Figure 25 : Distribution des données pour chaque phase du processus de conception selon les outils de simulation les plus utilisés par les répondants (question 8, pour tous les pays, 275 répondants pour 282 réponses).....110
- Figure 26 : Distribution des données pour les différents outils de simulation utilisés en fonction de l'étape de conception du projet d'architecture (question 8, pour tous les pays, 275 répondants pour 197 réponses).112
- Figure 27 : Distribution des données selon les facteurs influençant le choix des logiciels (question 9, pour tous les pays, 302 répondants pour 826 réponses soumises).....114
- Figure 28 : Distribution des données selon le degré d'importance accordé à l'énergie solaire dans la pratique architecturale (question 1, pour tous les pays, 346 répondants)116
- Figure 29 : Distribution des données pour les différentes stratégies solaires selon leur fréquence d'utilisation (question 2, pour tous les pays pour 2016 réponses)118
- Figure 30 : Distribution des données selon les phases de conception au cours de laquelle les technologies solaires sont envisagées pour la première fois (question 3, pour tous les pays, 337 répondants)120
- Figure 31 : Distribution des données selon les méthodes de conception utilisées pour chaque phase du processus de conception des projets moins complexes (question 5, pour tous les pays, 332 répondants pour 1745 réponses)122
- Figure 32 : Distribution des données selon les méthodes de conception utilisées pour chaque phase du processus de conception des projets plus complexes (question 6, pour tous les pays, 305 répondants pour 1892 réponses)124
- Figure 33 : Distribution des données selon le niveau de compétence pour chaque type d'outils (question 7, pour tous les pays, 349 répondants pour 2016 réponses).....126

Figure 34 : Distribution des données enregistrées pour chaque type d'outil informatique selon le niveau de satisfaction des utilisateurs (question 10, pour tous les pays, 244 répondants, 727 réponses soumises).....	128
Figure 35: Distribution des données selon le niveau de satisfaction des utilisateurs pour les logiciels de CAAO les plus employés (question 10, pour tous les pays, 244 répondants pour 490 réponses)	129
Figure 36 : Distribution des données selon le niveau de satisfaction des utilisateurs pour les outils de visualisation les plus employés (question 10, pour tous les pays, 244 répondants pour 79 réponses)	131
Figure 37 : Distribution des données selon le niveau de satisfaction des utilisateurs pour les outils de simulation les plus employés (question 10, pour tous les pays, 244 répondants pour 158 réponses)	132
Figure 38 : Distribution des données selon les principaux obstacles à l'utilisation des outils informatiques pour l'intégration architecturale des stratégies solaires (question 11, pour tous les pays, 238 répondants pour 685 réponses)	134
Figure 39: Distribution des données pour chaque étape du processus de conception selon les principales améliorations à apporter aux outils actuel pour la conception solaire (question 12, pour tous les pays, 268 répondants pour 1382 réponses)	136
Figure 40 : Distribution des données selon les sous-thèmes identifiés relativement aux outils informatiques (question 13, pour tous les pays, 65 répondants, 15 sous-thèmes).....	139
Figure 41 : Distribution des données selon les sous-thèmes identifiés relativement aux méthodes de conception (question 13, pour tous les pays, 65 répondants, 5 sous-thèmes).....	140
Figure 42 : Distribution des données selon les sous-thèmes identifiés relativement à l'apprentissage ou aux connaissances des concepteurs (question 13, pour tous les pays, 65 répondants, 3 sous-thèmes identifiés).....	141

Figure 43 : Distribution des données selon les sous-thèmes identifiés relativement à l'aspect social (question 13, pour tous les pays, 65 répondants, 4 sous-thèmes)...142

Introduction

À l'ère des changements climatiques et du développement durable, plusieurs grandes nations mettent sur pied divers plans afin de réduire le plus possible la dépendance aux sources d'énergie fossiles et ainsi limiter autant que possible les émissions de gaz à effet de serre (GES). Par exemple, l'Union européenne désire créer une économie à haute efficacité énergétique et à faible taux d'émission de CO₂ (Commission des communautés européenne, 2007a). Pour ce faire, elle a adopté plusieurs stratégies dont le *Plan d'action pour l'efficacité énergétique* (2006) et la *Feuille de route pour les sources d'énergies renouvelables* (2007b) qui visent respectivement, pour 2020, à réduire de 20 % la consommation énergétique et à consacrer 20 % de la palette énergétique européenne aux énergies renouvelables. Au Canada, l'objectif est d'harmoniser les politiques climatiques avec celles des États-Unis et ainsi réduire, pour 2020, de 17 % les émissions de gaz à effet de serre (GES) par rapport aux taux de 2005 (Gouvernement du Canada, 2011a). Le gouvernement canadien a mis en place une série de mesures sur le transport ainsi que sur l'efficacité énergétique afin de remplir cet engagement.

Toutefois, depuis 2006, le gouvernement canadien soutient qu'il n'appliquera pas le protocole de Kyoto, décision qui a été confirmée le 12 décembre 2011 (Buzetti, 2011). De plus, au Canada, la consommation énergétique et les émissions de GES ont connu une croissance importante depuis 1990, année de référence pour le protocole de Kyoto. En effet, la consommation énergétique canadienne a crû globalement de 25,7 % pendant ces 18 années, alors que les émissions canadiennes de GES ont connu une croissance globale de 22,8 % (Office de l'efficacité énergétique, 2009a, 2009b). Les figures 1 et 2 présentent respectivement la croissance de la consommation énergétique et des émissions de GES au Canada, de 1990 à 2008, par secteur d'activité.

Consommation d'énergie au Canada par secteur d'activité, de 1990 à 2008

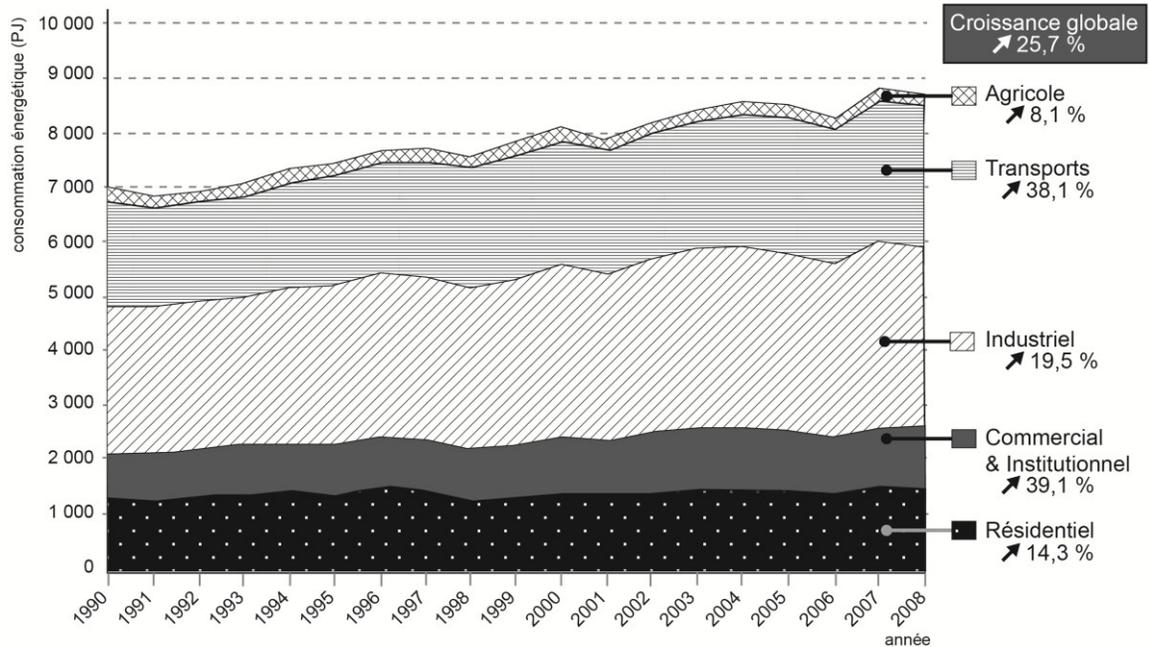


Figure 1 : Croissance de la consommation énergétique canadienne entre 1990 et 2008, par secteur d'activité (graphique de l'auteure d'après les données tirées de l'Office de l'efficacité énergétique, 2009a)

Émissions de GES au Canada par secteur d'activité, de 1990 à 2008

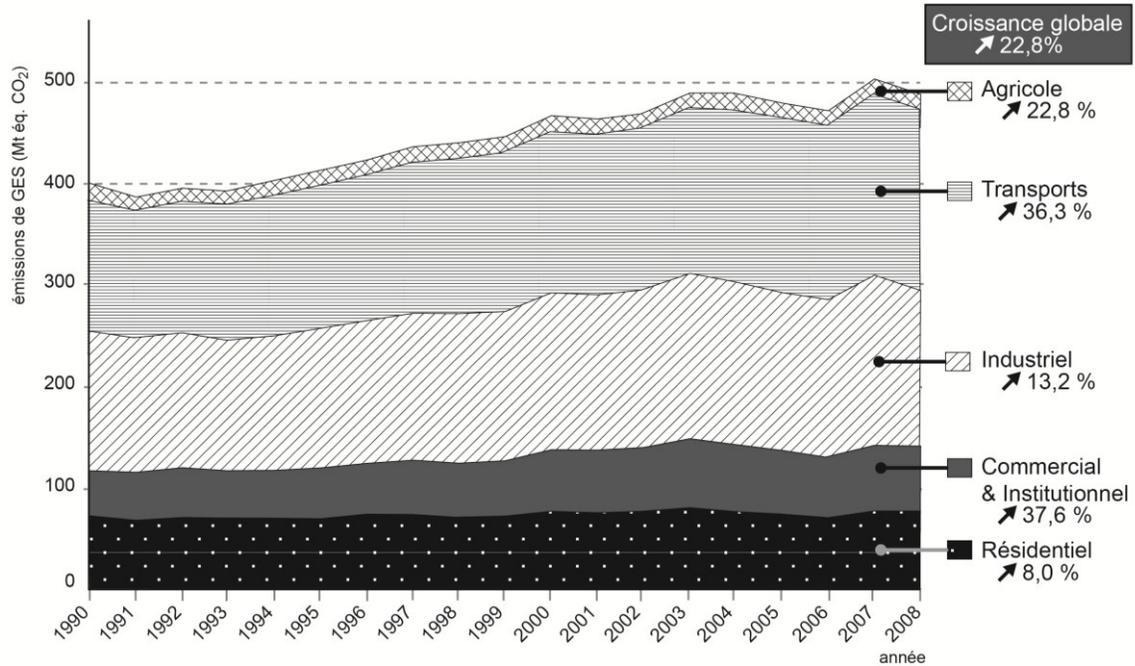


Figure 2: Croissance des émissions canadiennes de GES entre 1990 et 2008, par secteur d'activité (graphique de l'auteure d'après les données tirées de l'Office de l'efficacité énergétique, 2009b)

Autant au Canada qu'au sein de l'Union européenne, les différentes stratégies mises en place pour lutter contre les changements climatiques comprennent un volet sur l'efficacité énergétique des bâtiments. Sachant que le secteur du bâtiment utilise plus de 40 % de l'énergie primaire totale mondiale et qu'il est responsable de 24 % des émissions de GES (International Energy Agency, 2008), il est évident que la conception de bâtiments plus efficaces sur le plan énergétique, combinée à l'utilisation d'énergies renouvelables, contribuerait à réduire de façon considérable les effets néfastes liés à la combustion des énergies fossiles (International Energy Agency, 2009).

Au niveau européen, la *Directive sur l'efficacité énergétique des bâtiments* est le principal instrument législatif pour atteindre la performance énergétique des bâtiments. Elle exige que les États membres appliquent des exigences minimales en ce qui concerne la performance énergétique des bâtiments neufs et existants, qu'ils assurent la certification de leurs performances énergétiques et qu'ils imposent l'inspection régulière des chaudières et des systèmes de climatisation des bâtiments (Parlement européen et Conseil de l'Union européenne, 2002). Au Canada, un nouveau code national de l'énergie pour les bâtiments a été publié en novembre 2011. Ce code présente des exigences minimales pour améliorer globalement de 25 % l'efficacité énergétique des grands bâtiments, tels que les écoles, les hôpitaux et les immeubles locatifs (Gouvernement du Canada, 2011b). Ce type de mesure a aussi mis sur pied dans d'autres pays tels que l'Australie ou la Corée du Sud (Council of Australian Governments (COAG), 2010; Enerdata, 2011).

L'énergie solaire et les bâtiments

Une des sources d'énergie les plus abondantes et écologiques, c'est-à-dire sans conséquence majeure sur le climat et les écosystèmes, est sans contredit le soleil (Hasting et Wall, 2007b). Il est maintenant prouvé et reconnu que l'énergie solaire atteignant la surface terrestre chaque année excède amplement notre consommation énergétique annuelle mondiale actuelle. En effet, selon le European Renewable Energy Council (EREC) (2010), le flux constant d'énergie en provenance du Soleil, au cours d'une seule année, correspond à plus de 2000 fois l'énergie totale consommée par les humains depuis le début de leur histoire. Philibert (2005) ajoute que l'énergie solaire, correctement exploitée, suffirait amplement à combler l'utilisation énergétique des humains dont l'activité économique et la survie sur terre dépendent. D'après le Réseau de recherche sur les

bâtiments solaires (SBRN) (2011), l'énergie solaire incidente sur l'enveloppe d'un bâtiment type au Canada excède amplement ses besoins énergétiques.

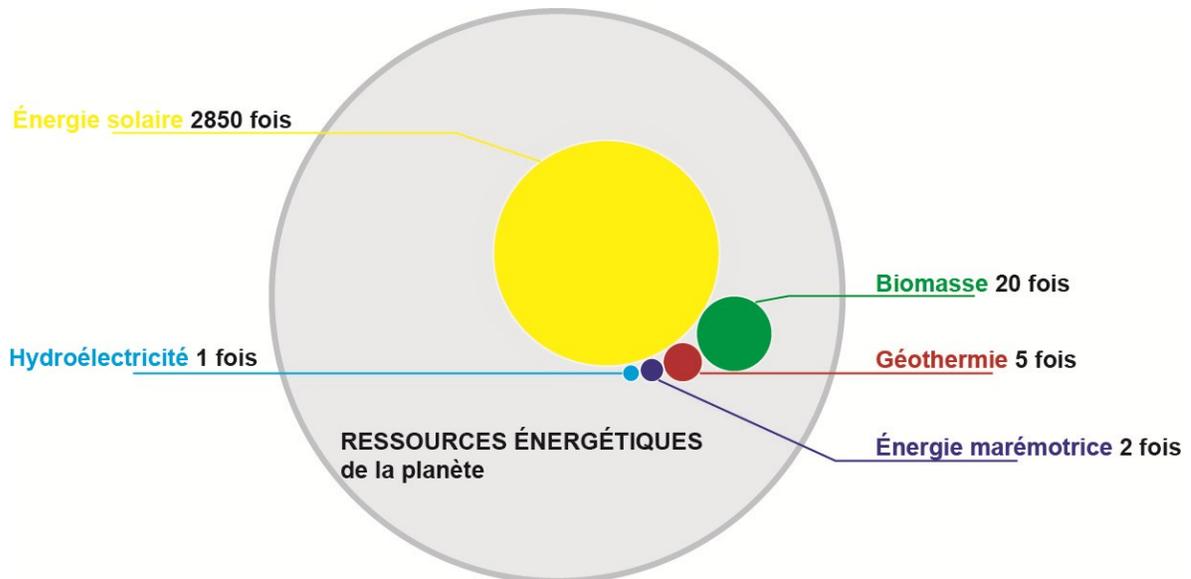


Figure 3 : Potentiel énergétique théorique des différentes sources d'énergies renouvelables pour combler la demande énergétique globale annuelle, (inspiré de EREC, 2010, p. 16)

Sur le territoire canadien en 2008, 56 % de la consommation énergétique des bâtiments des secteurs résidentiel, commercial et industriel était destinée au chauffage des espaces, 13 % à la production de l'eau chaude et 7 % à l'éclairage (Office de l'efficacité énergétique, 2009a). D'après d'autres données de l'Office de l'efficacité énergétique (2009b), le chauffage des espaces génère ainsi 55 % des émissions de GES du secteur du bâtiment, alors que le chauffage de l'eau est responsable de 13 % des GES et l'éclairage à 8 %.

Il est intéressant de noter que le chauffage des espaces et de l'eau, les deux principaux postes énergétiques des édifices, peuvent partiellement être comblés par la mise en fonction de dispositifs solaires intégrés à l'architecture. En effet, le territoire canadien bénéficie d'un potentiel solaire très intéressant, variant entre 1000 et 1500 KWh/m²an, selon la localisation (UNEP/GRIP-Arendal, 2008). Cela correspond, pour plusieurs régions canadiennes, à 130% du rayonnement solaire reçu par certaines grandes villes scandinaves qui ont un climat froid sensiblement équivalent au nôtre.

Il est donc évident que l'exploitation de l'énergie solaire en architecture présente plusieurs avantages parallèlement au potentiel énorme du Canada dans ce domaine. Toutefois, il

demeure que les systèmes utilisant l'énergie solaire ne sont pas encore suffisamment utilisés ni exploités par les architectes pour accroître l'efficacité énergétique et la qualité architecturale des bâtiments (International Energy Agency, 2009).

Il est désormais démontré que l'exploitation juste de l'énergie solaire peut contribuer de façon significative à la réduction du coût énergétique des bâtiments pendant leur opération et ce, surtout si les composantes solaires font partie intégrante du design architectural de l'édifice. Certains pays sont certainement en avance dans ce domaine. Par exemple, l'Allemagne, à elle seule, représentait, en 2004, 80 % du marché européen des modules photovoltaïques connectés au réseau électrique (European Photovoltaic Industry Association, 2005). Selon la même source, cet essor impressionnant de la production d'énergie photovoltaïque en Allemagne est, sans contredit, dû aux généreux incitatifs financiers de l'État. Du côté de l'Autriche, on pouvait compter, en 2009, plus d'un million de mètres carrés de modules solaires thermiques installés uniquement dans la région de la Haute-Autriche (Brandstätter et al., 2010).

Outre les facteurs économiques et politiques pouvant favoriser le développement de l'industrie solaire, la compétence des architectes en la matière constitue un paramètre important (International Energy Agency, 2009). De plus, pour que l'exploitation de l'énergie solaire devienne une préoccupation quotidienne de l'architecte, une demande plus grande pour ce type d'architecture doit être exigée par les grands donneurs d'ouvrage ainsi que par les clients individuels. Enfin, sachant que l'esthétique de l'architecture influence beaucoup l'opinion publique (International Energy Agency, 2009), le développement d'une architecture solaire de haute qualité permettrait de sensibiliser davantage la population aux qualités et avantages de l'exploitation de l'énergie solaire.

La qualité de l'architecture solaire réside en grande partie dans sa réalisation : son efficacité et son esthétique en dépendent. Selon Cofaigh et al. (1996), l'architecture solaire nécessite que l'architecte se concentre sur la qualité de sa conception et ce, de l'élaboration du plan masse jusqu'à la réalisation des détails. Cela demande de la rigueur technique et une attention particulière lors de la conception des détails d'ouvertures d'enveloppe, par exemple, des dispositifs d'ombrage et de l'installation des panneaux solaires.

Force est de constater cependant que l'on comprend mal les facteurs qui font en sorte que les architectes n'intègrent toujours pas les notions de conception solaire dans leur pratique quotidienne, et ce, malgré le large éventail des technologies disponibles et l'apport significatif en énergie de ces technologies. Certes, les enjeux économiques sont cruciaux, mais certains pays européens, l'Allemagne par exemple, ont démontré clairement qu'ils étaient surmontables (European Photovoltaic Industry Association, 2005).

Task 41 : Solar Energy and Architecture

Afin d'accélérer le développement du solaire en architecture, un projet de l'*International Energy Agency* (IEA) a été mis sur pied en 2009. Ce projet de recherche intitulé « Task 41 : Solar Energy and Architecture » s'inscrit dans le cadre du *Solar Heating and Cooling Programme* (SHC) de l'IEA. L'équipe de chercheurs impliqués dans ce projet inclut des experts de quatorze pays : l'Allemagne, l'Australie, l'Autriche, la Belgique, le Canada, la Corée du Sud, le Danemark, l'Espagne, la France, l'Italie, la Norvège, le Portugal, la Suède et la Suisse. Deux principaux objectifs sont poursuivis par cette tâche. Le premier consiste à soutenir le développement de bâtiments de haute qualité architecturale intégrant des systèmes solaires. Le second est d'améliorer la qualification des architectes dans ce domaine, ainsi que leur capacité de communication avec les ingénieurs, fabricants et clients.

Afin de répondre à ces objectifs, trois sous-tâches ont été élaborées (International Energy Agency, 2009). La première, la sous tâche A, se concentre sur l'élaboration de critères définissant une architecture solaire de haute qualité. Elle vise, de plus, à émettre des recommandations pour soutenir les manufacturiers dans le perfectionnement des composantes et systèmes solaires existants et dans le développement de nouveaux produits. La sous-tâche B, quant à elle, concerne les outils et méthodes utilisés par les architectes, particulièrement pour la phase de conception initiale. Elle vise, dans un premier temps, à décrire les outils et méthodes actuellement disponibles pour les architectes et, dans un deuxième temps, à étudier et analyser les limites de ces outils ainsi que les améliorations souhaitées par les architectes. Enfin, la sous-tâche C travaille au développement des concepts et lignes directrices assurant une architecture solaire de haute qualité par le biais d'études de cas. Elle vise à fournir de bons exemples d'intégration architecturale sous la forme d'analyse de projets existants et de propositions ingénieuses pour des constructions futures. De plus, la sous-tâche C doit également

assurer la communication des résultats de la Tâche 41 de manière plus générale. Le présent mémoire s'inscrit principalement dans le plan de travail de la sous-tâche B

À ce jour, les travaux de la sous-tâche B ont permis, en premier lieu, de décrire les outils informatiques actuellement disponibles et couramment utilisés par les architectes (Dubois et Horvat, 2010). Dans ce travail, une attention particulière a été portée à la capacité des outils à soutenir la conception solaire dès le début du processus de conception architecturale.

Dans un deuxième temps, la réalisation d'une enquête internet internationale, auprès de 350 professionnels du bâtiment provenant de 14 pays, a permis d'évaluer les connaissances des professionnels en matière d'énergie solaire ainsi que de dresser un bilan de leurs méthodes de travail et des outils qu'ils utilisent (Horvat et al., 2011). Grâce aux commentaires émis par les répondants, les obstacles limitant l'utilisation de l'énergie solaire en architecture et les critères favorisant le développement d'outils plus performants ont été identifiés.

Une analyse complémentaire

Le présent mémoire, réalisé dans le cadre de la sous-tâche B, partage donc les objectifs généraux de la Tâche 41 « Solar Energy and Architecture » qui consistent à soutenir le développement d'une architecture solaire de haute qualité architecturale et à contribuer à l'amélioration des compétences des architectes dans ce domaine. À ces objectifs s'ajoute celui de décrire et comprendre les différents facteurs architecturaux pouvant favoriser ou nuire au développement d'une architecture solaire de qualité. Trois principaux facteurs architecturaux ont été identifiés :

1. la capacité du modèle actuel de la pratique de l'architecture (méthodes et outils) à être utilisé dans un contexte de conception solaire;
2. la diffusion des connaissances fondamentales à la réalisation d'une architecture solaire de qualité;
3. l'intérêt général porté à l'architecture solaire et la volonté à adapter la pratique courante (méthodes et outils) à cette transformation de l'architecture.

En voulant décrire ces facteurs et comprendre leur influence sur le développement d'une architecture solaire de qualité, un regard complémentaire a pu être apporté aux données

recueillies par la Tâche 41. Dans cette optique, le mémoire poursuit les objectifs spécifiques suivants :

- étudier et décrire, par une recension des écrits dans le domaine, en quoi consiste le travail de l'architecte, à quoi réfère le terme « conception architecturale » et quelles sont les caractéristiques du développement d'un projet d'architecture;
- définir, en s'appuyant sur la littérature, les éléments caractérisant une architecture solaire de haute qualité;
- établir les besoins spécifiques de l'architecte permettant de soutenir et favoriser la conception architecturale solaire;
- analyser l'inventaire d'outils informatiques actuellement disponibles et évaluer leur capacité à soutenir la conception solaire et l'intégration architecturale des technologies solaires;
- identifier les lacunes des outils et des fonctionnalités informatiques actuellement disponibles ou de leurs fonctionnalités, en relation avec la conception solaire;
- analyser les résultats de l'enquête internationale en relation aux connaissances acquises par la recension des écrits et l'inventaire des outils;
- comparer les résultats de cette enquête à ceux de recherches similaires réalisées antérieurement visant à mieux comprendre l'utilisation des outils de création et de simulation par les équipes de conception dans le but de favoriser l'utilisation de outils et d'établir des critères pour leur développement;
- offrir des pistes d'actions pour accélérer le développement de l'architecture solaire, ce qui constitue un des objectifs principaux de la Tâche 41 de l'IEA.

De manière générale, cette recherche s'appuie donc sur l'étude et la description des trois principaux facteurs architecturaux identifiés précédemment pour interpréter, analyser et discuter les données recueillies par l'enquête internationale réalisée dans le cadre de la Tâche 41 de l'IEA.

D'abord, le premier chapitre analyse la pratique architecturale traditionnelle et vise à définir, en s'appuyant sur une littérature spécifique à ce sujet, ce qu'est un architecte et en quoi son travail consiste. Ce chapitre présente aussi le développement d'un projet d'architecture en mettant en valeur son caractère multidisciplinaire. De plus, le premier chapitre présente aussi les différents types d'outils utilisés par les architectes en expliquant comment ces outils peuvent soutenir les architectes dans leurs différentes tâches professionnelles.

Le second chapitre aborde le thème de l'énergie solaire en architecture en présentant d'abord ses caractéristiques physiques ainsi que son potentiel énergétique. Il définit ensuite les différentes stratégies permettant de tirer profit de l'architecture solaire par la conception architecturale. Ce chapitre discute également du rôle unique de l'architecte en conception architecturale solaire et établit les besoins spécifiques nécessaires pour soutenir et accomplir les tâches essentielles à la réalisation d'une architecture solaire de qualité.

Le troisième chapitre recense et analyse trente-neuf études publiées entre 1993 et 2011 qui visent toutes à décrire et analyser l'utilisation des logiciels de création et de simulation par les équipes de conception. Ce chapitre présente une analyse de l'utilisation des outils informatiques par les architectes, la nature de l'utilisation de ces logiciels pendant le processus de conception, les caractéristiques essentielles de l'utilisation de ces outils ainsi que l'impact de ces derniers sur le processus de conception.

Le quatrième chapitre décrit la méthode employée pour chacune des deux parties de la recherche, soit l'inventaire des outils informatiques pour l'architecture et l'enquête internet. Dans le premier cas, il s'agit de présenter l'élaboration de la revue de 56 outils informatiques potentiellement utilisés par les architectes et de définir les critères permettant l'évaluation de leur potentiel à soutenir la conception architecturale solaire. Dans le deuxième cas, le chapitre présentera une mise en contexte générale de l'enquête internationale est présentée et l'élaboration de l'enquête, par le biais de la collaboration avec les experts internationaux, est décrite. La méthode d'analyse et les différentes stratégies d'analyse sont ensuite développées.

Le chapitre 5 présente les résultats de la première partie de la recherche, soit l'inventaire des outils informatiques utilisés par les architectes. Il prend la forme d'un article rédigé en anglais et présenté dans le cadre de l'*International Eurosun Conference* qui a eu lieu du 28 septembre au 1er octobre 2010 à Graz en Autriche¹.

Le sixième chapitre présente les résultats de la deuxième partie de la recherche, soit l'analyse complémentaire des données recueillies par l'enquête internet internationale. Il vise à analyser le portrait des professionnels ayant répondu à l'enquête en relation avec

¹ Les auteurs possèdent tous les droits sur cet article (voir correspondance avec les éditeurs à l'annexe A).

les connaissances acquises dans les trois premiers chapitres, et avec les résultats de la première partie de la recherche.

Enfin, la conclusion fait un retour sur les conclusions de l'inventaire des outils informatiques ainsi que sur l'analyse complémentaire de l'enquête internet. De plus, en recoupant les résultats de ces deux parties de la recherche, la conclusion propose une série d'actions potentielles pour poursuivre l'adaptation du modèle actuel de la pratique architecturale, et la diffusion des connaissances, vers une architecture solaire de qualité.

Cadre théorique

1 La pratique architecturale

Ce premier chapitre vise à décrire la profession d'architecte dans le but d'identifier les principales caractéristiques des outils appropriés pour cette profession. Avant d'évaluer spécifiquement les outils disponibles et de discuter des obstacles liés à leur utilisation, il convient évidemment d'analyser les différentes tâches de l'architecte et d'en faire ressortir les caractéristiques essentielles.

En s'appuyant sur une recension des écrits spécifique à ce sujet, il s'agira, dans un premier temps, de définir ce qu'est un architecte et en quoi consiste son travail. Pour y arriver, le développement d'un projet d'architecture sera étudié, en définissant le processus poursuivi, en constatant son aspect multidisciplinaire ainsi que les méthodes contractuelles régissant les différentes interactions entre les intervenants. Dans un deuxième temps, ce chapitre décrira les différents types d'outils à la disposition des architectes et mettra en évidence la façon dont ces outils peuvent les appuyer dans leurs différentes tâches professionnelles.

1.1 La profession d'architecte

L'Institut royal d'architecture du Canada (2009) définit l'architecture comme l'une des professions dont le but principal consiste à concevoir l'environnement construit par les humains. Il s'agit d'une discipline qui touche à la fois les sciences et l'art et qui doit définir et prendre en compte les besoins de la société en matière d'environnement bâti tout en servant l'intérêt de la communauté. Plus précisément, l'architecture c'est concevoir et construire des bâtiments et des paysages pour l'habitat humain (Wasserman et al., 2000). Les architectes, bien qu'ils soient appelés à travailler en collaboration avec plusieurs autres disciplines, sont des professionnels formés précisément pour « concevoir l'environnement bâti et fournir des conseils d'ordre technique ou esthétique à son égard » (Institut royal d'architecture du Canada, 2009, Chapitre 1.1.2, p.3).

Comme toute autre profession, l'architecture est une occupation unique qui implique des connaissances et des aptitudes reliées à des tâches utiles et estimées par la société (Cuff, 1991). L'architecte est un professionnel, ce qui implique qu'il a une expertise unique

acquise au cours de ses études et par son expérience. De plus, son statut implique qu'il peut fournir des services d'expert de manière indépendante, qu'il est pleinement engagé envers ses clients et la société, et qu'il est responsable des effets de ses travaux sur la société et l'environnement (Institut royal d'architecture du Canada, 2009).

L'architecte étant un des joueurs important du processus de conception architecturale, il doit posséder des connaissances dans plusieurs domaines. En plus d'être créatif, il doit connaître une grande variété de disciplines impliquées dans la construction, l'entretien et modification des bâtiments, tels que l'ingénierie et les processus constructifs. Il doit aussi être en mesure de coordonner le travail de différents intervenants dans un contexte multidisciplinaire. Enfin, il doit connaître les lois et les règlements et maîtriser l'administration d'un bureau (Cuff, 1991; Institut royal d'architecture du Canada, 2009).

1.1.1 La pratique de l'architecture

Une pratique est l'exercice concret d'une activité ou d'un métier. Il s'agit d'appliquer des connaissances ou des principes acquis lors d'une formation académique ou des stages professionnels (Larousse, 2009; Robert et al., 2008). Par définition, la pratique implique aussi une méthode, un savoir-faire, acquis par une certaine routine ou répétition au quotidien (Cuff, 1991).

La pratique de l'architecture est donc l'exercice journalier des tâches relatives à la conception de l'environnement bâti. L'Union internationale des architectes (UIA) définit plus précisément la pratique architecturale par l'action de « fournir des services professionnels en relation avec l'urbanisme, le design, la construction, l'agrandissement, la conservation, la restauration ou la démolition d'une construction ou d'un groupe de constructions » (Union internationale des architectes (UIA), 1999, p.15).

La pratique architecturale est souvent associée et limitée à la conception des bâtiments. Cependant, l'architecte est aussi, et de manière variable, un homme ou une femme d'affaires, un coordonnateur ou un entrepreneur (Cuff, 1991). L'architecte est donc formé pour devenir un concepteur qui possède à la fois des aptitudes artistiques, techniques et pour les affaires (Symes et al., 1995).

La formation en architecture recoupe plusieurs disciplines. Il s'agit d'une formation généraliste qui peut être utile dans plusieurs sphères d'activité. Un architecte peut, par

exemple, choisir d'exercer sa profession dans le secteur public, en travaillant pour le gouvernement ou une municipalité. Certains choisissent d'enseigner et/ou de faire de la recherche, et d'autres d'œuvrer en construction ou en immobilier comme promoteur par exemple (Institut royal d'architecture du Canada, 2009; Wasserman et al., 2000). Ces types de pratiques sont souvent méconnus ou mal perçus par les praticiens traditionnels de l'architecture.

De manière traditionnelle, l'architecte exerce une pratique privée, en étant son propre patron ou en tant qu'employé d'une firme ou d'une autre institution non reliée à l'architecture (Institut royal d'architecture du Canada, 2009). La conception architecturale devient alors sa compétence principale (Tapie, 2000). La présente recherche s'intéresse tout particulièrement à ce dernier type de pratique.

1.2 La conception architecturale

La conception architecturale est le travail itératif² menant à la création d'une œuvre architecturale. On parle alors « d'un travail de perception, d'élaboration, de formalisation et de concrétisation d'idées qui définissent une manière de transformer un lieu, dans le but de l'adapter aux activités auxquelles on le destine » (White, 1998, p.3). Il s'agit donc d'un mécanisme de production, d'une série d'actions posées par le concepteur. Ces actions sont caractérisées par la pensée du concepteur, ses perceptions ou ses valeurs (Tapie, 2000; White, 1998). Le plus souvent, l'architecte se réfère à ses expériences antérieures et à des précédents architecturaux pour appuyer ses décisions conceptuelles (De Wilde et al., 1999; De Wilde et al., 2001; Donn, 1997; Meniru et al., 2003; Reinhart et Fitz, 2006).

Au début des années 1990, Holm (1993) a constaté que les architectes³ travaillent de manière très désorganisée. Ceux qu'il a observés avaient une démarche de conception très personnelle et passaient d'un concept à un autre, d'une manière apparaissant peu prévisible ou structurée. Cette observation tend à confirmer le caractère complexe, itératif et subjectif de la conception. Bien que chacun procède généralement du tout vers le détail, le cheminement dans la création architecturale est très différent d'un architecte à l'autre.

² Un processus itératif consiste en une série d'action qu'on répète autant de fois qu'on en a besoin pour atteindre son objectif.

³ L'auteur ne spécifie pas le nombre d'observations effectuées dans son étude.

La comparaison des résultats de différentes hypothèses de design est un critère qui revient dans les conclusions de trois études consultées. Les observations de Meniru et al. (2003) révèlent que les huit concepteurs nord-américains qui ont participé à leur étude avaient une méthode de conception empruntant différents parcours pour explorer différentes solutions conceptuelles. En d'autres mots, ils travaillaient par bifurcations. Ainsi, à partir d'un certain niveau d'avancement dans leur conception, les concepteurs créent deux options ou plus qu'ils comparent entre elles et évaluent pour choisir la plus satisfaisante en regards des besoins à satisfaire. L'alternative choisie à ce niveau devient alors la référence pour un prochain embranchement.

L'architecte communique principalement de manière graphique. Il est clair que son métier repose sur sa capacité à représenter visuellement ses idées, car son but principal est de communiquer une conception de l'espace en fournissant des documents graphiques (plans, coupes, élévations, perspectives, etc.) nécessaires à la construction du bâtiment. Toutefois, il s'agit aussi d'une méthode de travail. L'architecte fait des croquis, dessine des plans, construit des maquettes ou modélise en 3D de manière à concrétiser et représenter ses propres idées. De plus, une fois les idées représentées, l'architecte est aussi en mesure de les évaluer (Zeisel, 1984). Considérant que la représentation graphique est l'une des compétences principales que l'architecte doit acquérir, il s'agit aussi souvent, pour lui, du moyen le plus efficace pour présenter et expliquer ses idées à ses clients ou collaborateurs (Cuff, 1991).

La conception architecturale, définie en termes d'actions de concevoir, de dessiner, de représenter des idées, est donc généralement perçue comme une action individuelle (Cuff, 1991; Tapie, 2000). Toutefois, le travail de conception se présente sous forme de plusieurs tâches impliquées dans l'entièreté de son processus de conception, qui se caractérise par un travail de la synergie avec des collègues et des mandats à réaliser en collaboration avec plusieurs intervenants possédant des formations diverses.

1.2.1 Le processus de conception

Le processus de conception constitue la série de tâches ou d'actions menant à la réalisation éventuelle d'un bâtiment. Le processus de conception débute donc dès la première rencontre avec un client alors que le projet d'architecture s'échelonne souvent sur plusieurs mois et parfois même plusieurs années. Bien que tous les projets soient différents, leur développement est fondé sur une procédure similaire d'un projet à un autre

qui peut être subdivisée en plusieurs étapes. Dans la littérature, on observe cependant que chaque auteur segmente et organise le développement d'un projet d'architecture de manière différente.

Selon une étude de Meniru et al. (2003) qui ont réalisé des entrevues et des séances de conception avec huit architectes (six canadiens et deux américains⁴), on compterait quatre phases distinctes dans le processus de conception : la préparation du dossier de conception, la préparation du site, la définition des espaces et la conception des éléments du bâtiment.

Le *Royal Institute of British Architects* (RIBA) (1995) identifie trois principales phases de conception : la phase schématique, le projet et le détail. Chacune de ces phases a des objectifs spécifiques. Au cours de la phase schématique, on élabore un concept en se basant sur les études de faisabilité. Une fois cette proposition approuvée par le client, le concepteur la développe au cours des autres phases à un niveau de plus en plus détaillé.

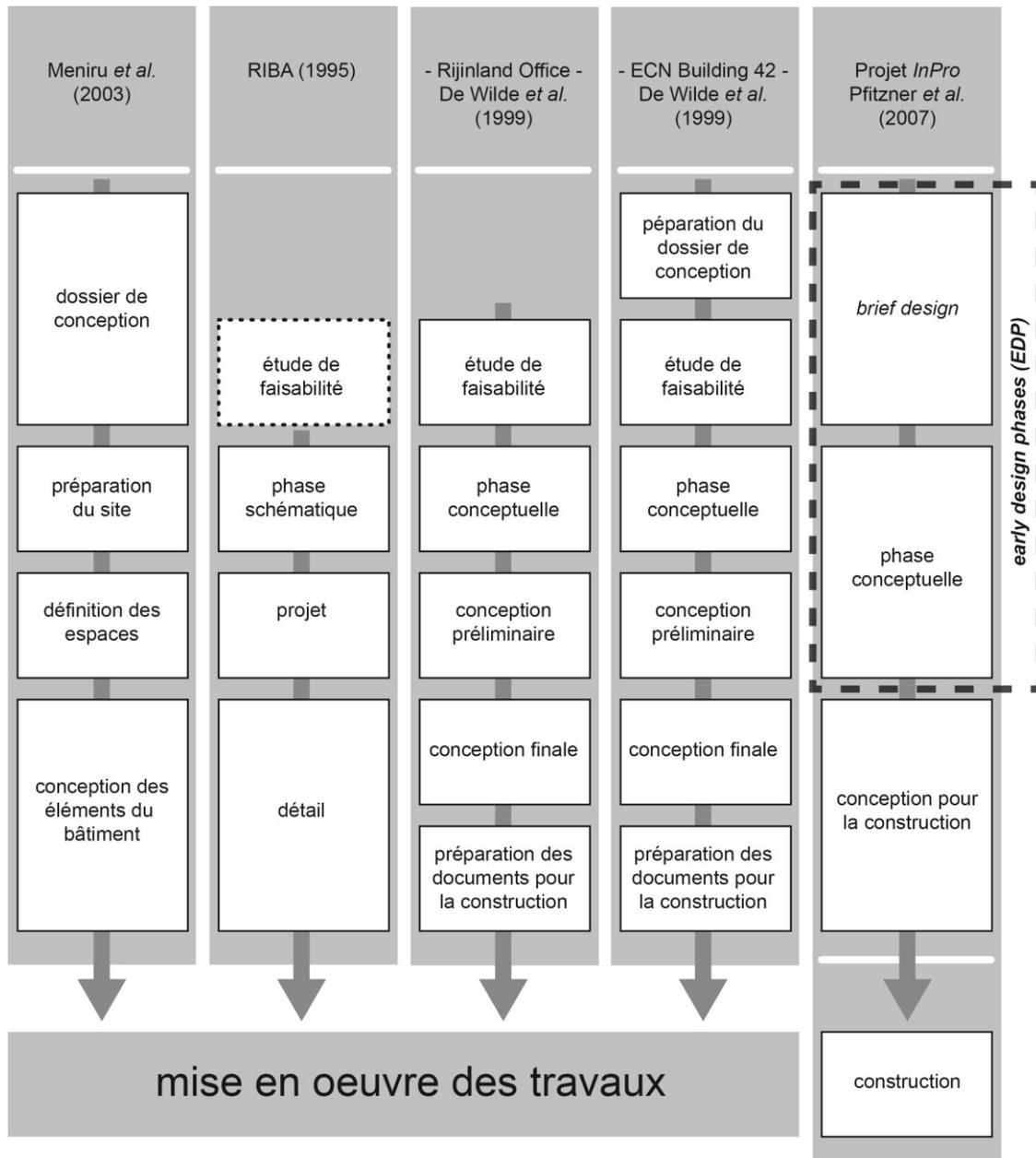
Dans leurs études de cas, De Wilde et al. (1999) comptent cinq phases pour le projet Rijnland Office et six pour le ECN Building 42. Le projet Rijnland Office comprend l'étude de faisabilité, la phase conceptuelle, la phase de conception préliminaire, la conception finale et la préparation des documents pour la construction, alors que dans le ECN Building 42, ces mêmes phases sont précédées par une phase de préparation du dossier de conception, réalisée par le client lui-même. En effet, la Netherlands Energy Research Foundation (ECN) est un institut de recherche indépendant sur les énergies renouvelables dont la structure administrative possède plusieurs divisions. Généralement, ce sont certaines de ces divisions qui ont la tâche de concevoir les édifices du ECN. Toutefois, dans le cas du Building 42, la réalisation des premières démarches à l'interne a permis aux clients de bien définir leurs besoins et ainsi d'avoir recours à une firme d'architecture externe pour la conception du bâtiment.

Par ailleurs, le projet de recherche InPro (Pfitzner et al., 2007), mené par un regroupement de 20 entreprises européennes, s'est intéressé particulièrement au développement d'un travail collaboratif entre les acteurs pendant les premières étapes de conception du projet architectural, qu'ils appellent *Early Design Phase*. Selon leur propre définition, le processus total de construction d'un édifice compte quatre étapes : la préparation du

⁴ Les auteurs ne précisent pas le mode de sélection des participants.

dossier de conception (*brief design*), la phase conceptuelle, la phase de conception pour la construction (*Construction design*) et la construction. La phase appelée *Early Design Phase* regroupe les deux premières étapes. Elle débute donc avec le premier contact avec le client, et se termine avec l'approbation finale du client, basée sur des dessins représentatifs du projet ainsi qu'une évaluation des coûts. Cette approbation correspond, dans ce cas, à la fin de la phase conceptuelle.

Tableau 1 : Tableau comparatif des définitions du processus de conception selon les auteurs retenus



En somme, les différentes études présentées s'accordent, de façon plus générale, sur l'identification de quatre étapes essentielles soit l'étude de faisabilité, la phase conceptuelle, la phase de conception préliminaire, la phase de conception détaillée et la production des dessins de construction. L'étude de faisabilité, telle que définie par De Wilde et al. (1999), est similaire à la préparation du dossier de conception dont parlent Meniru et al. (2003). Il s'agit du moment pendant lequel les clients et les concepteurs développent le programme du projet, le budget, les attentes des différents intervenants, les besoins des usagers, etc. Considérant que cette phase correspond plutôt à une étape de mise en place des données nécessaires au projet, elle sera, pour les besoins de cette recherche, considérée comme une phase de pré-projet, non incluse dans le processus de conception proprement dit puisque dans plusieurs cas, le contrat n'est attribué qu'après l'étude de faisabilité. De plus, certaines firmes se spécialisent uniquement dans la réalisation de ces études de pré-projet. Toutefois, dans le cadre d'un projet d'architecture pour lequel on privilégie une approche orientée sur l'efficacité et la production énergétique, l'étude de faisabilité est essentielle pour établir des objectifs clairs et réaliser une série d'études et d'analyses spécifiques au projet et au site (De Wilde et al., 1999; Société canadienne d'hypothèques et de logement, 2006).

Une fois l'étude de faisabilité complétée, les concepteurs amorcent les premières étapes de conception. La phase conceptuelle est la première phase pendant laquelle l'architecte développe le concept architectural d'ensemble (Meniru et al., 2003; Pfitzner et al., 2007). Cette étape correspond aussi à la phase schématique du RIBA (1995). Les architectes nomment couramment cette étape l'« esquisse ». La deuxième étape est la phase préliminaire pendant laquelle les solutions architecturales sont explorées, sur la base du concept préalablement approuvé par le client. Les espaces et la configuration du projet en coupes sont définis plus clairement au cours de cette deuxième étape.

Le projet, ainsi développé et retenu, est alors enrichi et détaillé au cours de la phase de conception détaillée, phase pendant laquelle les éléments constructifs du projet sont développés. La dernière étape correspond à la production des dessins d'exécution nécessaires à la construction. Il s'agit de l'étape la plus précise et la plus concrète dans l'ensemble du processus de conception du projet.

C'est cette dernière manière de définir le processus de conception qui est retenue dans cette recherche, en tenant compte des étapes qui ont été précédemment discutées.

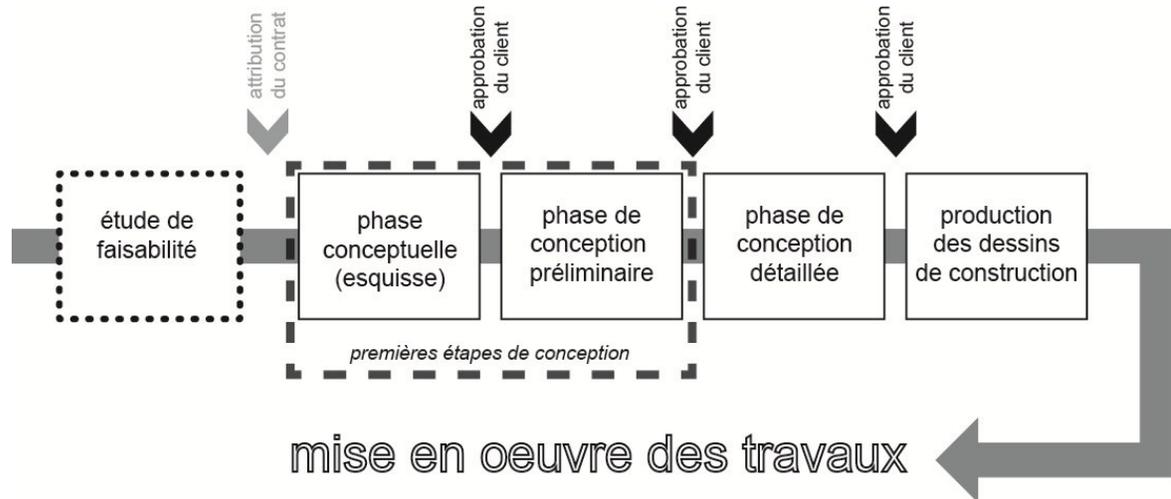


Figure 4 : Schéma du processus de conception retenu.

Bien que divisé en différentes phases, le processus de conception demeure ambigu. La transition entre deux phases n'est pas nette, et surtout en début de projet. De plus, il n'est pas rare de voir des projets mis en chantier avant que tous les documents préliminaires et d'exécution des différentes portions du bâtiment soient bien terminés. Souvent, c'est l'approbation du travail par le client qui détermine si l'architecte peut entamer l'étape suivante (Cuff, 1991). On peut aussi décrire le processus comme une séquence linéaire, dans laquelle les décisions prises dans les premières étapes de conception ont des conséquences directes sur les décisions prises dans les phases ultérieures (Bleiberg et Shaviv, 2007). Cependant, il s'agit également d'un processus hautement itératif où les étapes subséquentes viennent influencer, par rétroaction, les étapes précédentes, forçant ainsi un retour et une révision de ce qui a été décidé préalablement.

1.2.1.1 Multidisciplinarité du processus de conception

Le développement d'un projet d'architecture requiert la collaboration et l'intervention de différents intervenants. Tel que mentionné précédemment, le travail de conception est, en soi, un processus associé à l'architecte qui imagine, dessine et évalue ses idées (Cuff, 1991; Zeisel, 1984). Cette tâche est souvent confiée à l'architecte principal qui en a la responsabilité. Toutefois, au cours de ses observations dans quatre firmes d'architecture, Cuff (1991) a relevé que tous les projets étaient réalisés en collaboration avec les autres architectes du bureau et les dessinateurs, bien que la responsabilité du design final soit celle de l'architecte principal. Cela suggère un premier niveau de collaboration, alors qu'un individu, l'architecte principal, dirige l'équipe de conception.

L'architecte a aussi le devoir de coordonner les différents intervenants au cours du processus de conception (Cuff, 1991; Meniru et al., 2003). En plus des autres architectes, dessinateurs et techniciens, un projet d'architecture peut aussi nécessiter l'intervention d'ingénieurs et de consultants, d'architectes paysagistes, de designers d'intérieurs et d'un entrepreneur général (Cuff, 1991).

Selon Meniru et al. (2003), l'architecte principal est celui qui, dans un processus de conception traditionnel, détermine l'étendue de la construction, c'est-à-dire toutes les caractéristiques et les lignes directrices du futur bâtiment, en établissant les paramètres de base pendant les premières phases de conception. Au cours des phases subséquentes, d'autres intervenants vont se joindre à l'architecte principal pour compléter et enrichir la conception initiale à partir de ces paramètres prédéfinis. Ces acteurs sont des consultants, experts dans un domaine précis, par exemple en efficacité énergétique ou en génie (ingénieurs électriques, mécaniques ou en structure).

Par ailleurs, Kalay (2006) constate que si la collaboration s'amorce tôt dans le cadre d'un projet, tel que dans un processus de conception intégrée (PCI), le rôle traditionnel de l'architecte devient moins dominant par rapport à celui des autres intervenants. De plus dans le PCI, selon la Société canadienne d'hypothèque et de logement (SCHL) (2006), l'architecte-concepteur agit plutôt comme le chef d'une équipe agrandie dont tous les membres, du propriétaire à l'opérateur du futur bâtiment, jouent un rôle plus actif et plus tôt dans le processus de conception. Dans un processus de conception de ce type, la phase esquisse se voit donc étirée pour inclure d'une série de tâches et d'interventions multidisciplinaires visant notamment l'élaboration d'objectifs de performance énergétique clairs et mesurables ainsi que la réalisation d'une analyse environnementale complète et détaillée (Société canadienne d'hypothèques et de logement, 2006).

De plus, le PCI repose sur le postulat que les changements et améliorations au projet, réalisés dans les premières étapes de conception, sont beaucoup plus faciles et bénéfiques au projet (Larsson et Poel, 2009). En effet, lorsque des changements doivent être apportés alors que l'équipe en est à la production des dessins d'exécution, par exemple, ils s'avèrent beaucoup plus coûteux et perturbants de modifier le concept. Le PCI s'appuie donc sur une approche holistique pour concevoir les bâtiments (Société canadienne d'hypothèques et de logement, 2006). De fait, par une collaboration accrue de plusieurs intervenants et un échange exemplaire des connaissances entre les disciplines,

et ce, dès les premières étapes de conception, le PCI assure une prise de décision plus éclairée en début de projet et permet ainsi de réduire de 30 % à 70 % le temps accordé par l'architecte aux phases de conception ultérieures (Miller, 1993).

1.2.1.2 Les méthodes contractuelles

La gestion d'un projet d'architecture peut se réaliser sous différentes formes. La méthode choisie établit principalement le type de relations qu'auront le client, l'entrepreneur général et les concepteurs sur le plan contractuel, mais aussi au niveau des communications et de leur coordination (Bilec et Ries, 2007). Chaque type de gestion de projet implique que la performance et les risques liés au développement et à la réalisation du projet ne reposent pas sur le client ou le propriétaire, mais plutôt sur un autre intervenant ou groupe d'intervenants (Mahdi et Alreshaid, 2005). De manière générale, trois principales options contractuelles s'offrent au client : la méthode traditionnelle, le *Design-build* ou le *Construction Management* (Bilec et Ries, 2007; Mahdi et Alreshaid, 2005).

La méthode traditionnelle implique trois phases distinctes : la conception, les appels d'offres et la construction (Bilec et Ries, 2007; Mahdi et Alreshaid, 2005; Wasserman et al., 2000). Elle implique que le client engage les concepteurs et le constructeur de manière indépendante. Le choix s'effectue généralement en fonction de la qualité des services et du prix le plus bas (Bilec et Ries, 2007; Mahdi et Alreshaid, 2005). L'architecte est alors responsable de la conception et agit généralement à titre de représentant du client lors de la construction en surveillant la réalisation des travaux (Mahdi et Alreshaid, 2005). Dans un tel cas, l'architecte ne possède aucun lien contractuel avec l'entrepreneur général (Bilec et Ries, 2007). L'entrepreneur est responsable de construire le projet tel que conçu en plus d'assurer la gestion du chantier (Mahdi et Alreshaid, 2005). La méthode traditionnelle est dans son ensemble plutôt linéaire : le client choisit un architecte; l'architecte conçoit le projet; le client lance un appel d'offres et choisit un entrepreneur qui réalise le projet tel que conçu (Bilec et Ries, 2007). Dans ce dernier cas, l'entrepreneur n'a donc, dans ce cas, aucune responsabilité relative à la conception du projet (Thomas, 2006).

Dans l'option *Design-build*, le client engage une organisation qui prend en charge à la fois la conception et la réalisation du projet d'architecture (Bilec et Ries, 2007; Mahdi et Alreshaid, 2005). De manière générale, l'organisation choisie est dirigée par l'entrepreneur général, qui engage un architecte afin de concevoir le projet (Thomas, 2006). L'objectif de

cette méthode est de favoriser la collaboration entre les différents intervenants lors de la conception et la réalisation du projet (Bilec et Ries, 2007). Dans ce type de gestion de projet, on remarque que l'entrepreneur intervient lors du processus de conception ce qui serait impensable avec la méthode précédente de gestion traditionnelle.

La méthode *Construction Management* implique que le client engage à la fois une équipe de concepteurs multidisciplinaire (architectes et ingénieurs) et une firme responsable de la gestion de la construction (Mahdi et Alreshaid, 2005). Cette dernière est engagée à un prix forfaitaire et est responsable de planifier la réalisation des travaux et d'en évaluer les coûts (Bilec et Ries, 2007). Au cours de la conception, elle joue le rôle de consultant dans le but de faciliter la réalisation des travaux et d'en optimiser les coûts (Mahdi et Alreshaid, 2005).

Selon Mahdi et Alreshaid (2005), chacune de ces méthodes de gestion de projet d'architecture présentent des avantages et inconvénients. Il revient au client de choisir l'option qui lui convient le mieux, en fonction du type de projet, mais aussi du niveau d'implication qu'il veut avoir dans le développement de son projet d'architecture.

1.3 Les outils d'aide à la conception

Les architectes ont recours à différents outils lors de la conception de leurs projets. On peut penser, entre autres, aux dessins, maquettes et outils numériques (CAO, visualisation et simulation). Les guides et codes du bâtiment sont aussi considérés comme des outils. Tous ces supports de travail peuvent être décrits selon quatre caractéristiques : perceptuel, conceptuel, statique et dynamique.

Selon Lawrence (1993), au niveau de la représentation, les outils sont soit perceptuels ou conceptuels. Un outil perceptuel est indissociable du caractère expérientiel de l'utilisateur alors qu'un outil conceptuel offre une représentation concrète d'une idée tout en laissant place à l'interprétation du concepteur. Sur le plan du traitement des données, ils sont soit statiques ou dynamiques. Un outil dynamique est en mesure d'offrir une certaine interaction avec l'utilisateur (Lawrence, 1993). Par exemple, un logiciel de simulation peut être considéré comme un outil dynamique parce qu'il génère un résultat à partir des données que l'utilisateur lui fournit. Un outil statique ne possède pas cette propriété. Par exemple, un logiciel de conception architecturale ne fait que représenter ce que le concepteur imagine.

On utilise par contre aussi le terme « outil de simulation dynamique » pour référer aux calculs de simulation réalisés de manière dynamique et itérative, c.-à-d. que le programme calcule les résultats pour une heure donnée en fonction des conditions (thermiques) de l'heure précédente. De tels logiciels sont très avancés et présentement rarement utilisés par les architectes.

Tableau 2 : Typologies des outils d'aide à la conception (inspiré de Lawrence, 1993)

	perceptuel	conceptuel
statique	croquis photographie dessin	plans cartes
dynamique	simulateur	logiciels de simulation ordinateur connecté à internet

Les tâches varient beaucoup au cours du processus de conception et une grande variété d'outils traditionnels (*physical tools*) et numériques sont à la disposition des architectes et de leurs collaborateurs pour les soutenir dans leur travail. Les outils traditionnels incluent, entre autres, le dessin et la maquette. Les outils numériques sont aussi très présents dans le domaine du bâtiment, et pas seulement pour la conception. Déjà en 2000, une étude canadienne avançait que toutes les firmes d'architecture possédaient au moins un ordinateur par employé (Rivard, 2000).

En 1999, Shaviv proposait une classification bipartite des outils numériques : les outils génératifs et les outils évaluatifs. Comme leurs noms l'indiquent, les outils génératifs guident les concepteurs afin de définir la meilleure géométrie pour chacun des projets et les solutions conceptuelles qui lui sont liées. Ces logiciels assistent donc l'architecte dans son processus de création et le mènent à un résultat plus ou moins défini. Au contraire, les outils évaluatifs exigent que l'utilisateur fournisse une description complète du projet pour pouvoir procéder à leur évaluations. Les outils génératifs sont plus adaptés pour les phases conceptuelle et préliminaire alors que les outils évaluatifs, auxquels on associe les

logiciels de simulation, sont plus appropriés pour la phase de conception détaillée. Toutefois, cette classification des outils numériques est plutôt sommaire considérant que plusieurs logiciels intègrent maintenant ces deux caractéristiques. Un outil à la fois génératif et évaluatif est en mesure, par exemple, de concevoir et d'étudier, dès la phase esquisse, l'effet de plusieurs paramètres de base sur la performance énergétique du projet.

1.3.1 Les types d'outils numériques

Divers logiciels sont utilisés pour différentes tâches. Certains soutiennent et facilitent le processus de conception, que ce soit en deux ou trois dimensions. D'autres types de logiciels sont utilisés pour faciliter la collaboration entre les différents intervenants d'un même projet, quelle que soit leur position géographique individuelle, ou la réalisation des tâches administratives (comptabilité, administration, facturation, etc.) (Kalay, 2006; Rivard, 2000). Les tâches administratives sont toutefois souvent réalisées de façon indépendante par des applications séparées. On fait alors principalement référence à la grande variété d'applications permettant d'envoyer des courriels, de rédiger des documents ou de comptabiliser des données.

Les logiciels de conception assistée par ordinateur (CAO) aident à produire, à l'écran, plusieurs types de dessins pour les diverses étapes de la conception architecturale qui pourront ensuite être imprimés ou utilisés dans des présentations visuelles. Ils permettent de concevoir et représenter des formes en deux dimensions (2D) ainsi que de construire des maquettes virtuelles en trois dimensions (3D) à partir d'éléments de dessin numérique de base (lignes, polygones, surfaces, etc.) (Woodward et Howes, 1997). Tous ces éléments possèdent plusieurs attributs spécifiés par le concepteur comme, par exemple, une couleur, une épaisseur de trait ou une position. Ce type d'application utilise généralement un ensemble de données graphiques, par exemple des points, des lignes, des surfaces 3D ou des formes prédéfinies qui ne possèdent aucune autre information que géométrique (Krygiel et Nies, 2008). Les outils CAO sont utilisés dans plusieurs domaines, tels que l'automobile, l'aérospatiale, l'architecture navale et l'architecture de bâtiments (Cornick, 1996; Kolarevic, 2003).

Les logiciels de conception architecturale assistée par ordinateur (CAAO) se distinguent des outils CAO, entre autres, par leurs fonctionnalités spécifiques au secteur du bâtiment. Par exemple, ils peuvent offrir généralement une banque d'objets pré-modélisés

représentant des composantes architecturales ou des matériaux (Cornick, 1996; Dubois et Horvat, 2010; Kolarevic, 2003). Avec certains CAAO, chaque vue d'un projet doit être créée séparément, comme lorsqu'on dessine à la main (Krygiel et Nies, 2008). Les logiciels CAAO permettent donc de soutenir les architectes pendant le processus de conception et d'améliorer leurs habiletés à représenter et valider leurs idées (Parthenios, 2005). Ce type de logiciel semble très utilisé dans la grande majorité des firmes d'architectes et d'ingénieurs, et ce dès les premières phases de conception (Edwards, 2005; Rivard, 2000).

Le *Building Information Modelling* (BIM) est un modèle de gestion, de représentation globale et aussi une méthode permettant de concevoir et de documenter entièrement un projet numériquement tout en favorisant la communication de cette information entre les différents intervenants, et ce tout au long de la durée de vie d'un bâtiment (Krygiel et Nies, 2008; Lee et al., 2006). Avec le BIM, chaque catégorie d'intervenant a accès au projet par une fenêtre conçue spécifiquement pour leurs besoins spécialisés et leurs tâches. Ce système d'information est soutenu par un ensemble d'applications informatiques appelé logiciels BIM. Ces derniers permettent généralement de modéliser en trois dimensions tout en assurant l'intégration de l'information associée aux géométries représentées. Le processus produit un modèle numérique qui se veut complet, aussi appelé BIM, qui comprend à la fois la géométrie du bâtiment, les données géographiques, les quantités ainsi que les propriétés des différentes composantes du futur édifice (Krygiel et Nies, 2008; Smith et Tardif, 2009). Le modèle est donc relié à une base de données orientée objet contenant toutes les informations sur le bâtiment (Lee et al., 2006). Tel que défini par Eastman et ses collègues (2011), tout BIM doit inclure les caractéristiques suivantes : des objets paramétrés représentant chacune des composantes du bâtiment, des données cohérentes et non répétitives mises à jour automatiquement ainsi que des données coordonnées de telle sorte que toutes les vues du modèle sont présentées de manière cohérente. Actuellement, tous les intervenants d'un projet doivent travailler avec le même logiciel BIM pour que le processus soit efficace.

La création d'images à des fins de présentation est généralement assurée par des logiciels de visualisation et des moteurs de rendus (Rivard, 2000). Ce type d'outils offre la possibilité de spécifier plusieurs paramètres des objets à visualiser ainsi que leur environnement tels que la couleur ou la texture des surfaces, la lumière et les points de vue souhaités, etc. (Woodward et Howes, 1997). Ce type de logiciels permet donc de

présenter les projets, avec un réalisme avancé, de manière plus rapide et avec plus de facilité que les moyens traditionnels (Tweed, 2001).

Les outils de simulation permettent de soutenir, valider et comparer les choix de conception. Ils utilisent un modèle, une représentation simplifiée ou complète du projet, pour analyser et prédire le comportement futur des systèmes complexes qui entrent dans la composition d'un bâtiment et ce, avant sa mise en œuvre (Hensen, 1994). Les outils de simulation ont donc pour objectif d'assister les concepteurs et les consultants dans la conception ou leurs choix par l'évaluation des différents systèmes du bâtiment, tel que la structure, l'enveloppe, la mécanique et l'aménagement intérieur par exemple.

1.3.2 Les spécificités des outils numériques en architecture

Les différents types d'outils numériques présentés précédemment présentent chacun des caractéristiques spécifiques relatives aux tâches qu'ils assistent à réaliser. Toutefois, il est aussi important que les logiciels soient adaptés à la phase de conception architecturale pendant laquelle ils sont utilisés ainsi qu'aux différentes catégories d'acteurs qui les emploient.

Le niveau d'abstraction d'un projet d'architecture se modifie au cours du processus de conception. Pendant les premières étapes de conception, les paramètres généraux du projet sont déterminés, mais sans grande précision, pour ensuite être détaillés dans les phases subséquentes. Il semble donc primordial que les outils utilisés pour soutenir ces tâches puissent s'adapter au niveau de détail souhaité. Par exemple, pendant la phase conceptuelle, des outils approximatifs et flexibles sont préférés aux outils de précision (Crawley et al., 2008). Par exemple, un logiciel de dessin comme AutoCAD, qui exige une grande précision de représentation, s'il est utilisé en phase conceptuelle, alors qu'on en est seulement à déterminer les lignes générales du projet, peut porter le concepteur à prendre de mauvaises décisions trop tôt dans le processus (Kalay, 2006).

De plus, différents types de professionnels participent au développement d'un projet d'architecture. Architectes, ingénieurs, dessinateurs ou urbanistes possèdent tous une formation académique, des expériences, et des tâches différentes (Bleiberg et Shaviv, 2007; Morbitzer et al., 2001; Pfitzner et al., 2007). Les valeurs, croyances et aptitudes varient aussi d'une personne à l'autre, même si elles sont grandement influencées par la communauté, ou la profession, auxquelles ces acteurs appartiennent (Tweed, 2001).

Chacun de ces groupes possède son propre langage, sa propre approche et son propre point de vue sur le projet (Bleiberg et Shaviv, 2007). Par exemple, l'architecte crée et communique principalement de manière graphique (Cuff, 1991). Cette aptitude le différencie des autres professionnels. On peut donc supposer que chaque personne participant au processus de conception architecturale fait une utilisation différente des outils disponibles. Il semble donc primordial que les logiciels soient conçus spécifiquement pour chaque type d'intervenant, ou alors qu'ils soient adaptés et adaptable au type d'utilisation qu'on souhaite en faire.

De plus, afin d'assurer une bonne collaboration entre tous ces professionnels, il est essentiel que les logiciels utilisés par chacun possèdent une bonne interopérabilité. L'interopérabilité est la capacité à échanger des données identiques entre différents logiciels sans perte d'information. Ainsi, il devient possible de transférer des données entre les logiciels, ce qui permet de les utiliser à des fins différentes.

1.4 Conclusion

Dans ce premier chapitre, il a été établi que le métier d'architecte est une profession généraliste, axée sur la conception de projets d'architecture. L'architecte a généralement la tâche principale de définir la configuration de l'ensemble du projet d'architecture, d'établir l'étendue de la construction et de la conception du bâtiment. Dans le souci de créer un bâtiment tel un tout, dont chaque partie vient servir et appuyer le concept initial, l'architecte procède habituellement du général au particulier. Dans les premières étapes de conception, il établit les paramètres d'ensemble du projet, telles la volumétrie, l'orientation et la distribution des espaces. Dans les phases ultérieures, il raffine chaque élément jusqu'à en définir la réalisation. Tout au long du processus, il doit aussi collaborer avec les autres professionnels impliqués pour que les efforts de tous les intervenants servent le même objectif.

Plusieurs types d'outils d'aide à la conception, qu'ils soient traditionnels ou numériques, sont conçus spécifiquement pour informer ou soutenir les différentes tâches reliées au développement d'un projet d'architecture. Les logiciels de CAAO assistent les concepteurs et dessinateurs dans la représentation des projets, les outils de visualisation permettent d'améliorer la représentation graphique des idées et les logiciels de simulation permettent d'évaluer le comportement structural ou le bilan énergétique du bâtiment projeté. Avec le

BIM, où tous les intervenants travaillent avec le même modèle virtuel, toutes les tâches sont alors réalisables via ce modèle virtuel unique, accessible par tous les intervenants par différents logiciels spécifiques à leur profession, éliminant ainsi plusieurs problèmes liés à la coordination des différents intervenants.

Finalement, il est primordial que les outils soient adaptés à la phase de conception architecturale pendant laquelle ils sont utilisés. La conception architecturale étant un processus itératif, il semble aussi important que ces logiciels puissent permettre aux architectes d'évaluer et de comparer différentes solutions ou options architecturales. De plus, considérant que le processus de conception architecturale est un effort multidisciplinaire, il est essentiel que ces outils puissent s'adapter à l'utilisation que chaque intervenant désire réaliser.

2 L'énergie solaire et l'architecture

L'énergie solaire est une énergie émise par le soleil sous forme de rayonnement électromagnétique. Ce terme utilisé dans le contexte de l'architecture réfère aussi aux autres formes d'énergie obtenues en captant ou en transformant le rayonnement solaire, par exemple en électricité (Roditi, 2011). Il est aujourd'hui prouvé et reconnu que le rayonnement solaire parvient sur Terre en quantité suffisante pour combler, ou du moins réduire considérablement la consommation énergétique humaine provenant de ressources non renouvelables (International Energy Agency, 2009; Philibert, 2005). Ce chapitre vise à définir le rôle de l'architecte en relation à l'architecture solaire et à en démontrer l'importance. Il sera question d'établir les principes fondamentaux déterminant une architecture solaire de qualité. Dans un premier temps, les caractéristiques physiques de l'énergie solaire et de son potentiel énergétique seront décrites. La deuxième partie consistera à définir la manière dont on peut tirer profit de cette énergie gratuite lors de la conception architecturale. Finalement, il s'agira d'établir les besoins spécifiques pour soutenir et favoriser la conception architecturale solaire.

Pour débiter, il est important de préciser que le potentiel solaire, c'est-à-dire la quantité d'énergie solaire exploitable à la surface terrestre, varie considérablement selon la position géographique et le moment de l'année et de la journée. Ce phénomène est causé par la géométrie de la Terre, mais surtout par son inclinaison par rapport à son axe de rotation autour du soleil et son mouvement de rotation sur elle-même et sa révolution autour du soleil. Ces facteurs impliquent que les rayons solaires, émis de manière unidirectionnelle, atteignent la surface terrestre avec des angles d'incidence variables. L'intensité (I_{θ}) des rayons solaires dépend de leur angle d'incidence (θ) par rapport à la normale (ou la perpendiculaire), à la surface exposée au rayonnement. Donc, puisque le rayonnement solaire arrive sur la terre sous forme de faisceaux parallèles, une surface perpendiculaire à ces rayons interceptera une densité maximale d'énergie (Dubois, 2000; Lam, 1986). Il s'agit de l'intensité directe normale (I_{DN}) (Dubois, 2000). La figure 5 présente la démonstration mathématique de ce phénomène optique.

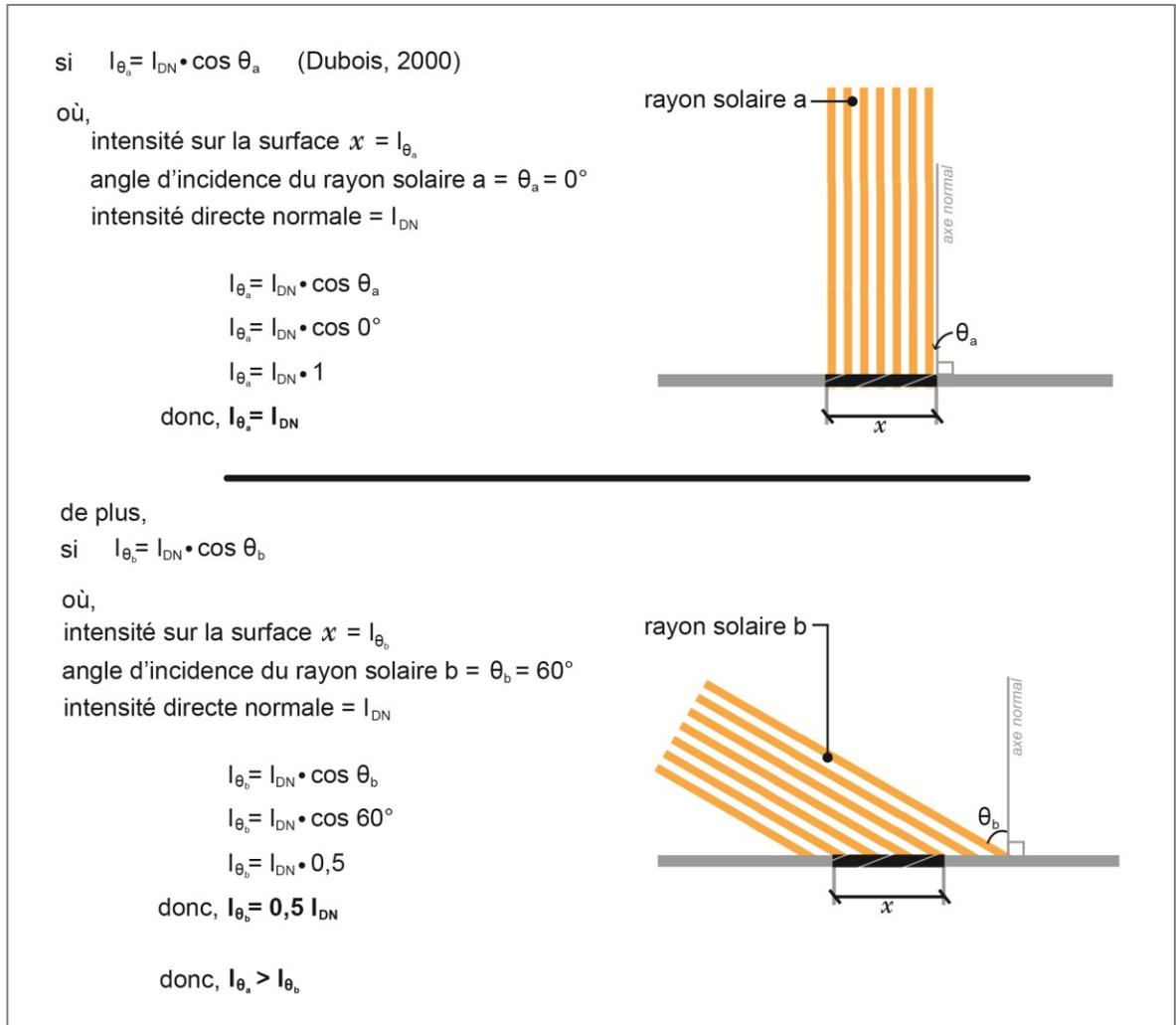


Figure 5 : Démonstration mathématique de la relation entre l'angle d'incidence d'un rayon solaire et son intensité sur une surface donnée (inspiré de Dubois, 2000).

La figure 5 montre que plus les rayons du soleil frappent une surface avec un angle d'incidence élevé, donc s'éloignant de la normale à la surface donnée, plus l'intensité de l'énergie reçue par la surface est faible. La relation entre l'intensité du rayonnement reçu et son angle d'incidence n'est pas linéaire, mais dépend d'une relation cosinusoidale. Ceci doit être pris en compte dans l'élaboration de tout projet.

Le rayonnement solaire global horizontal, soit l'intensité des rayons solaires sur une surface horizontale donnée (kWh/m^2) permet donc de comparer le potentiel solaire entre différents lieux sur la Terre. Toutefois, la forme, l'inclinaison et les mouvements de notre planète ne suffisent pas à expliquer les différences de potentiel solaire entre différents pays. En effet, l'atmosphère modifie considérablement la quantité d'énergie solaire

atteignant la surface de la Terre. La couverture nuageuse, les gaz, la poussière et autres molécules absorbent et diffusent une partie du rayonnement solaire avant qu'il n'atteigne le sol (Lynn, 2010). Par exemple, la composition de l'atmosphère et la couverture nuageuse peuvent varier en fonction de l'activité des villes, de la pollution, du climat, etc.

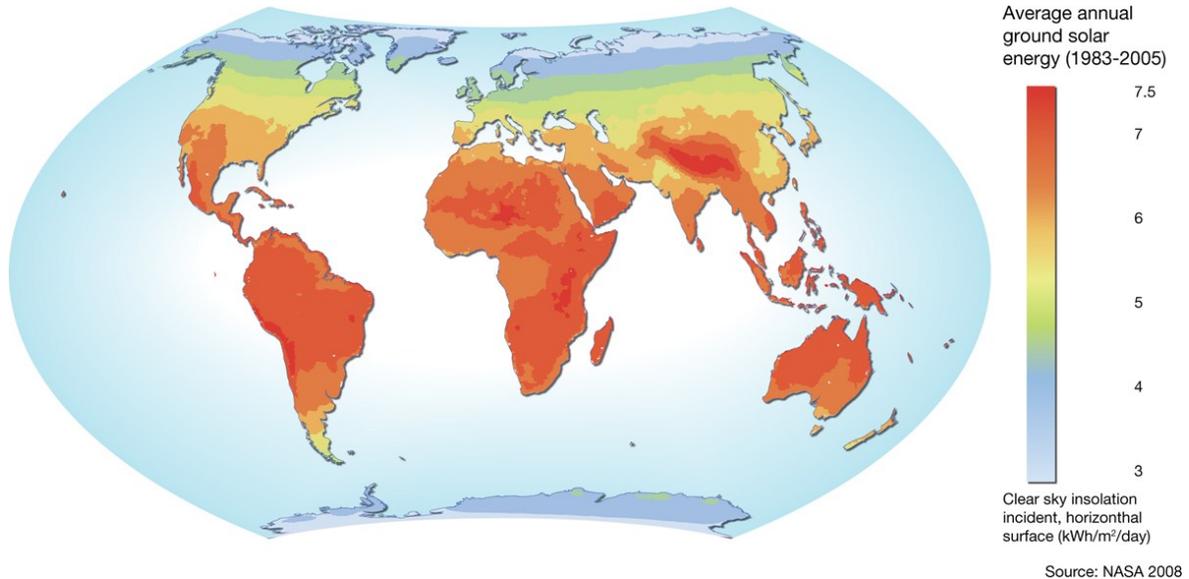


Figure 6 : Moyenne annuelle de l'énergie solaire à la surface de la Terre (kWh/m²/jour), source NASA, 2008 (UNEP/GRIP-Arendal, 2008)

La figure 6 montre le rayonnement solaire global horizontal moyen pour tous points sur notre planète sous un ciel clair. Cette carte n'illustre pas les fluctuations de l'énergie solaire disponible en fonction des saisons. On peut toutefois y constater que les pays les plus près de l'équateur possèdent le plus grand potentiel solaire. Les pays situés un peu plus au nord, tel que le Canada, la France ou l'Allemagne, reçoivent toutefois un important rayonnement solaire annuel, soit entre 1000 et 1500 kWh/m²/an selon la latitude. Les pays scandinaves ont un climat très similaire à celui du Québec par exemple, mais bénéficient de beaucoup moins d'énergie solaire annuellement (moins de 1000 kWh/m²/an). Cependant, à des latitudes supérieures aux tropiques (23° 26' 16" nord/sud), on constate que le potentiel solaire diminue moins rapidement que les besoins en chauffage augmentent (Porteous, 2005). Cette observation justifie l'optimisation du solaire et ce, même en climat nordique.

Trois formes de rayonnement solaire peuvent être utilisées à la surface de la Terre : le rayonnement direct, diffus et réfléchi. Le rayonnement direct provient des rayons solaires directs, par exemple sous ciel clair. L'intensité des rayons solaires, leur inclinaison et

direction varient en fonction de la position géographique et du moment du jour et de l'année. Le rayonnement solaire diffus désigne les rayons qui ont été dispersés en traversant l'atmosphère et les nuages. Cette composante est toujours présente, car le rayonnement traverse toujours l'atmosphère quelque soit les conditions atmosphériques, mais son intensité varie en fonction de la couverture nuageuse (Lynn, 2010). Par temps nuageux, les rayons du Soleil sont dispersés par les nuages et tout le ciel devient une source lumineuse (Lam, 1986). Le rayonnement diffus est surtout utile pour l'éclairage naturel des bâtiments. Sous ciel clair, le ciel bleu a la plus haute efficacité lumineuse et le soleil direct est à éviter. Finalement, la dernière composante est définie par les rayons réfléchis par l'environnement. Cette composante se distingue du rayonnement diffus par sa dépendance à l'environnement naturel ou bâti. Plusieurs éléments peuvent réfléchir les rayons solaires, comme le sol, les surfaces enneigées ou les bâtiments (Lam, 1986; Lynn, 2010). L'albédo de chaque élément, c'est-à-dire la fraction de l'énergie lumineuse que le corps éclairé réfléchit, varie en fonction de sa couleur, car les surfaces claires réfléchissent davantage la lumière que les surfaces sombres. Toutes ces composantes doivent être prises en considération lorsqu'on souhaite tirer profit de l'énergie solaire, et de la lumière naturelle.

2.1 L'architecture solaire

L'architecture solaire consiste à utiliser la conception architecturale pour tirer profit de l'énergie solaire dans le but de réduire la consommation d'énergie produite hors site, tout ceci sans compromettre la qualité architecturale. D'après les ingénieurs Michael Kuehn et Dirk Mattner (2003), le but principal de l'architecture solaire est de concevoir des bâtiments offrant un confort optimal, à la fois en été et en hiver, en consommant le moins d'énergie possible. De plus, selon les mêmes auteurs, l'énergie consommée doit préférentiellement provenir de ressources naturelles et renouvelables.

L'architecture solaire comporte trois approches distinctes : le solaire passif, l'utilisation de la lumière naturelle et le solaire actif. Idéalement, ces différentes approches d'exploitation de l'énergie solaire devraient être indissociables les unes des autres. Tel qu'avancé par l'architecte et journaliste Christian Schittich (2003), l'architecture solaire ne peut se résumer à l'installation de modules photovoltaïques sur le toit. Afin de réaliser une architecture combinant confort, efficacité énergétique et esthétisme, le bâtiment doit être

perçu comme un système complet et optimal tirant profit de l'énergie solaire sous toutes ses formes.

2.1.1 Le solaire passif

L'utilisation directe du rayonnement solaire en architecture comme source de chaleur, communément appelée « solaire passif », est probablement la forme d'architecture solaire la plus simple et la plus efficace (Hegger, 2003). On parle de simplicité et d'efficacité puisque ce type d'exploitation de l'énergie solaire ne nécessite pas de système mécanique ni de conversion d'énergie supplémentaire. Le solaire passif consiste à profiter directement du rayonnement solaire en optimisant la volumétrie du bâtiment, son orientation et les matériaux utilisés. Les gains solaires obtenus contribuent ainsi au chauffage des espaces (Goetzberger et Schmid, 1985; International Energy Agency, 2009). Bien que les gains thermiques soient recherchés en saison froide, il faut aussi que le bâtiment soit en mesure de les minimiser en saison chaude sans avoir recours aux systèmes mécaniques du bâtiment.

Pour pouvoir utiliser le plein potentiel solaire d'un lieu à construire, il est primordial de connaître parfaitement les caractéristiques climatiques du site. Une analyse approfondie du site permet au concepteur de déterminer quelles sont les ressources disponibles localement et de quelle façon elles pourront interagir avec le bâtiment au cours d'une journée et de l'année (Brown, 2001a). Par ressources, on entend le potentiel solaire énergétique et lumineux, la végétation, le facteur éolien, etc. L'analyse climatique du site permet, entre autres, de distinguer les portions du site qui reçoivent le plus de rayonnement solaire, de celles les plus ombragées au cours de l'année. Donc, une bonne compréhension du site permet d'adapter le bâtiment au potentiel énergétique du lieu, ce qui est nécessaire pour utiliser efficacement le solaire passif (Hegger, 2003).

Toujours selon Hegger (2003), les facteurs les plus importants de la conception solaire passive, en plus du choix du site et de l'implantation du bâtiment, sont son orientation, sa volumétrie, la position des ouvertures, le choix des matériaux ainsi que la composition des murs. En effet, le bâtiment lui-même influence ses besoins énergétiques. Son orientation, sa relation au site, sa forme et sa construction influencent grandement la manière dont le climat dans lequel il se situe peut induire un besoin énergétique en chauffage ou en climatisation (Brown, 2001a; Morrissey et al., 2011). Par exemple, la figure 7 montre comment la volumétrie peut être adaptée pour capter plus d'énergie solaire ou l'éviter.

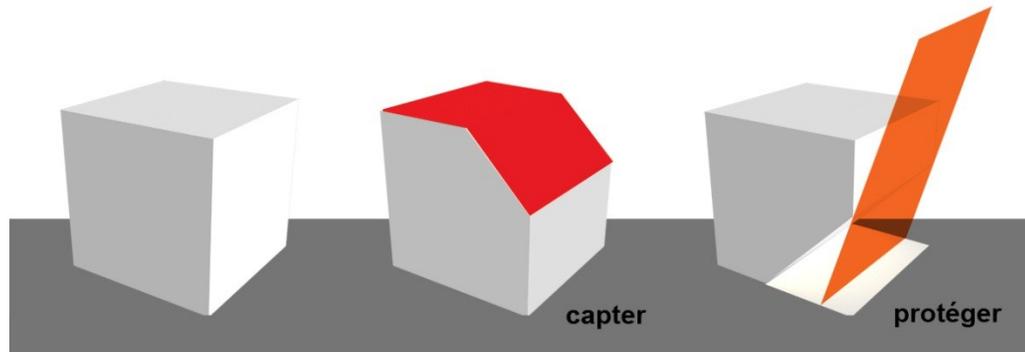


Figure 7 : Adaptation volumétrique d'un module simple pour une utilisation optimale de l'énergie solaire en fonction des besoins, source : Light'n books, l'hélio-morphologie d'une librairie urbaine, projet de fin d'études (M. Arch.) (Gagnon, 2011)

Le chauffage solaire passif repose sur quatre principes fondamentaux : capter l'énergie solaire, l'accumuler, la distribuer et la conserver. Ces principes touchent donc autant la conception formelle que technique du bâtiment.



Figure 8 : Représentation schématique des quatre principes du chauffage solaire passif (inspiré de Cofaigh et al., 1996)

Des gains solaires passifs surviennent lorsque les rayons entrants excèdent les pertes de chaleur du bâtiment. L'énergie pénètre dans un bâtiment par le biais des ouvertures. Bien qu'indispensables pour le solaire passif, elles représentent aussi des risques de pertes thermiques en hiver, surtout la nuit ou pour les orientations non exposées au rayonnement, et de surchauffe en été (Hegger, 2003). Selon Hegger, le concepteur doit donc contrôler parfaitement leurs dimensions, leur organisation, leur orientation et leur exécution. En été, lorsque les gains solaires sont à éviter, un mécanisme de protection doit être envisagé. Tel que mentionné précédemment, le bâtiment peut éviter les gains solaires par sa volumétrie. Par ailleurs, des systèmes de brise-soleil intégrés à l'enveloppe doivent aussi être envisagés. L'important est que les gains passifs soient maximaux en hiver et minimaux en été, sans devoir apporter de modifications majeures au bâtiment.

Par contre, ceci dépend du type de bâtiment. Dans un bâtiment commercial, les gains internes dus aux occupants, à l'éclairage électrique et aux équipements sont si élevés que la saison de chauffe se limite aux nuits hivernales et le bâtiment doit même être climatisé, ou mieux être ventilé, de jour l'hiver. Dans ce cas, les gains solaires thermiques ne sont jamais souhaitables le jour. Ils doivent soit être convertis en électricité directement utilisable ou en chaleur stockée pour répondre à la demande en chauffage nocturne.

L'accumulation de l'énergie à l'intérieur du bâtiment fait plutôt référence aux choix des matériaux et des finis intérieurs. L'utilisation de matériaux avec une masse thermique élevée est à privilégier, car ils ont une bonne capacité à capter et à emmagasiner la chaleur. Un matériau capable d'emmagasiner une bonne quantité d'énergie la diffusera plus tard. Puisque les gains directs ne sont possibles que le jour, il est intéressant de pouvoir accumuler la chaleur le jour qui sera ensuite utilisée la nuit, lorsque la température extérieure est plus basse.

La distribution de la chaleur dans le bâtiment nécessite des mouvements d'air. La ventilation, qu'elle soit naturelle ou mécanique, assure la répartition de la chaleur dans et entre les espaces. La composition de l'enveloppe, quant à elle, assure la conservation de l'énergie (Hasting et Wall, 2007b). La continuité de l'isolation de l'enveloppe permet de réduire les déperditions thermiques de l'intérieur vers l'extérieur et vice versa. Cette stratégie de conservation réduit aussi les gains thermiques estivaux.

Les principes généraux présentés précédemment définissent la nature même du bâtiment et les raisons de le construire (Schittich, 2003). Il est donc clair que le solaire passif est intimement lié au design du bâtiment, à sa qualité et par le fait même, au travail des architectes. Pour pouvoir utiliser efficacement l'énergie produite par le soleil, il faut adapter le bâtiment pour gérer cette énergie (Hegger, 2003). En effet, les stratégies passives sont essentielles à une utilisation optimale du solaire (Krippner, 2003). Il est donc important que le concepteur comprenne bien les caractéristiques du rayonnement solaire et qu'il maîtrise les différents principes architecturaux lui permettant d'en tirer profit au maximum tout au long de l'année.

2.1.2 La lumière naturelle

Contrairement à l'éclairage électrique, la lumière provenant naturellement du soleil ne consomme pas d'électricité et est gratuite (Müller et Schuster, 2003). Elle est indissociable

des gains thermiques passifs puisque l'éclairage naturel est évidemment possible que lorsque le rayonnement solaire et lumineux traverse l'enveloppe par les ouvertures. Son utilisation est donc une autre forme d'exploitation directe du rayonnement solaire. Alors que les gains solaires passifs contribuent au chauffage des espaces, l'éclairage naturel permet de réduire considérablement la consommation d'électricité destinée à l'éclairage (Goetzberger et Schmid, 1985; International Energy Agency, 2009)

L'être humain est influencé physiologiquement et psychologiquement par les conditions lumineuses (Hegger, 2003). En effet, il est maintenant reconnu que le rythme circadien, le rythme biologique régularisant notre état de veille et de sommeil, repose sur la durée, l'intensité et la distribution spectrale de la lumière en provenance du soleil et du ciel (Müller et Schuster, 2003). Certaines études ont même démontré que l'utilisation de la lumière naturelle dans les bâtiments augmentait, par exemple, la productivité des travailleurs (Heschong, 2002). Contrairement à la lumière du soleil, l'éclairage électrique ne rend qu'une partie du spectre lumineux, ce qui réduit considérablement la qualité de la lumière et altère l'apparence des couleurs (De Carli et De Giuli, 2009; Müller et Schuster, 2003). La lumière naturelle est donc beaucoup plus confortable et intéressante pour l'homme que l'éclairage électrique (Hegger, 2003). L'éclairage électrique a été développé pour le système visuel alors que la réponse biologique à la lumière va bien au-delà des besoins visuels. L'éclairage naturel répond à la fois aux exigences visuelles et non visuelles.

Tel que mentionné précédemment, le potentiel solaire, et par conséquent le spectre lumineux, varie considérablement en fonction du couvert nuageux, de la localisation du site et du moment du jour et de l'année. La lumière directe est très franche, mais elle varie constamment. Elle est très concentrée lorsqu'elle est perpendiculaire à une surface, mais son intensité diminue lorsqu'elle se déplace (voir figure 5) (Müller et Schuster, 2003). De plus, elle procure d'importants gains thermiques qui ne sont pas toujours souhaités. D'autre part, le rayonnement solaire, en traversant l'atmosphère et les nuages, procure au ciel une grande luminosité. Cette lumière, qu'il est possible de capter tout au long de l'année en ayant une vue sur le ciel ou par des ouvertures au nord, est plus douce et constante (American Institute of Architects, 1982). La luminosité du ciel est, sous certaines conditions, près de trois fois plus grande lorsqu'elle provient du zénith que de l'horizon (Hasting et Wall, 2007a). Enfin, sa composante réfléchiée par d'autres surfaces est très intéressante pour l'éclairage des espaces intérieurs.

En architecture, l'utilisation de la lumière naturelle repose généralement sur des ouvertures fixes, alors que le soleil se déplace dans le ciel en permanence (American Institute of Architects, 1982). Plusieurs facteurs peuvent être pris en considération afin d'utiliser de manière optimale la lumière naturelle à l'intérieur des bâtiments. Ils peuvent être regroupés selon quatre catégories : la quantité des ouvertures, leur type et leur emplacement, le traitement des surfaces intérieures ainsi que le détail de l'ouverture (Hasting et Wall, 2007a; Müller et Schuster, 2003).

La quantité d'ouvertures est le premier facteur influençant la quantité de lumière naturelle qui entre dans une pièce. Logiquement, plus la surface des fenêtres est grande, plus il y aura de lumière (Hasting et Wall, 2007a). Toutefois, il faut garder à l'esprit que les ouvertures sont aussi le véhicule de transferts de chaleur entre l'intérieur et l'extérieur. La proportion d'ouvertures sur la façade est donc un facteur sensible qui doit être étudié avec soin pour réaliser un juste équilibre entre l'apport de lumière et l'apport thermique. De plus, des simulations numériques indiquent qu'au-delà d'une superficie d'ouverture supérieure à 40 % de celle du mur, l'agrandissement des ouvertures n'augmente plus nécessairement la quantité de lumière naturelle dans une pièce située en périphérie du bâtiment, et ce pour toutes les orientations et climats (Dubois et Flodberg, 2012).

La dimension des surfaces vitrées a aussi un impact sur l'effet d'éblouissement. L'œil s'adapte continuellement à la quantité de lumière qui lui parvient par la dilatation de la pupille. Plus il y a de lumière, plus la pupille est petite, et vice versa. Par conséquent, des contrastes extrêmes à l'intérieur du champ de vision sont très inconfortables parce que l'œil tente de s'adapter simultanément aux surfaces claires et sombres (Müller et Schuster, 2003). Il s'agit d'une forme d'éblouissement inconfortable, c'est-à-dire qui crée un inconfort visuel sans toutefois engendrer de perte d'information dans l'image regardée. Pour éviter ces situations visuelles inconfortables, il est préférable que la lumière soit répartie plutôt uniformément dans les espaces intérieurs. Un éclairage trop uniforme, tel que produit par l'éclairage général des fluorescents, n'est pas non plus souhaitable. L'éclairage naturel, bien dosé, permet d'atteindre un degré de variabilité optimal.

La position des ouvertures est cruciale pour l'optimisation de la lumière naturelle et le confort des occupants dans une pièce. La position des fenêtres détermine la distribution de la lumière naturelle dans l'espace (Guzowski, 2000). Par exemple, une fenêtre située près du plafond a une efficacité d'éclairement supérieure à une ouverture située près du

sol (von Meiss, 2003). Une ouverture en hauteur permet donc à la lumière de pénétrer plus en profondeur dans la pièce, et une fenêtre basse offre un éclairage localisé plus près de l'ouverture. Cependant, l'avantage que possède une fenêtre basse et située à la hauteur des yeux des occupants, contrairement à une fenêtre en hauteur, est la vue sur l'extérieur (Hasting et Wall, 2007a). En effet, il est maintenant reconnu que le contact visuel avec l'extérieur est très important pour les occupants (Müller et Schuster, 2003). Souvent, on constate que le confort de l'occupant est plus faible lorsqu'il n'a pas de vue sur l'extérieur, bien que la luminosité de la pièce soit plus grande. La vue sur l'extérieur doit donc devenir un facteur important pour le concepteur, sans toutefois négliger l'apport en lumière ou la composition architecturale du projet. En effet, il ne faut pas omettre que la fenêtre, en plus de procurer lumière et vues au projet, détermine aussi son articulation entre l'intérieur et l'extérieur (von Meiss, 2003).

Tout comme l'architecture ne peut être perçue sans lumière, la forme architecturale influence la qualité de la lumière (Guzowski, 2000). Les caractéristiques architecturales de la pièce deviennent alors un facteur important pour favoriser la distribution de la lumière. La création de cours intérieures, en augmentant le périmètre sur l'extérieur, peut par exemple permettre d'apporter la lumière plus en profondeur dans le bâtiment (American Institute of Architects, 1982). Les surfaces d'une pièce peuvent être formées pour capter, réfléchir ou même filtrer la lumière naturelle (Guzowski, 2000). Par exemple, un plafond de forme courbe et convexe adjacent à une ouverture permet de capter la lumière et la redistribuer dans l'espace en dessous. Le traitement des surfaces est aussi un facteur primordial (American Institute of Architects, 1982; Hasting et Wall, 2007a; Müller et Schuster, 2003). Des couleurs neutres et claires réfléchissent mieux la lumière. Selon les besoins, les planchers, murs ou plafonds peuvent être utilisés pour réfléchir et distribuer la lumière.

Bien que le traitement des murs adjacents aux ouvertures soit primordial, les caractéristiques de la fenêtre ainsi que la composition du mur dans lequel elle se situe déterminent aussi la qualité de la lumière et sa distribution. La profondeur de la fenêtre, ou l'épaisseur du mur a un impact sur la perception de la limite entre intérieur et extérieur. Plus la fenêtre est profonde, plus la distinction entre l'extérieur et l'intérieur est grande (Guzowski, 2000). Par ailleurs, la qualité de la lumière naturelle ainsi que son intensité et sa distribution dans l'espace peut se jouer à l'intérieur de l'épaisseur de l'ouverture.

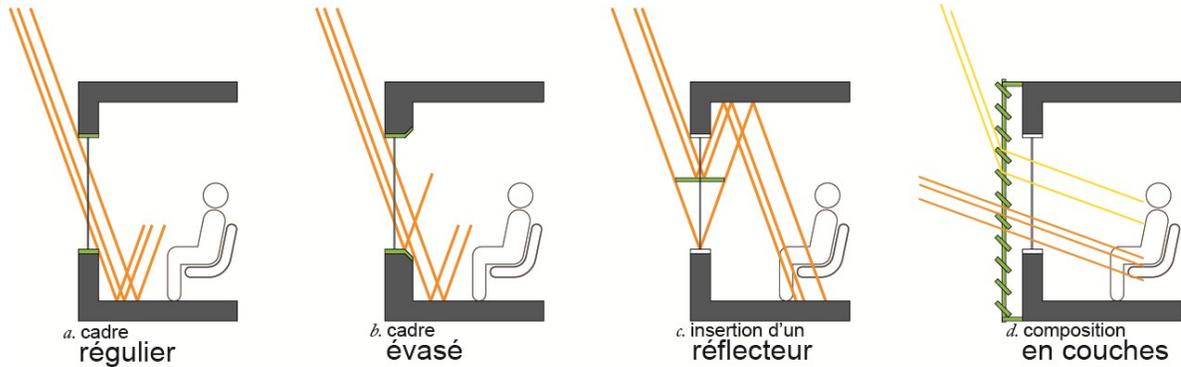


Figure 9 : Schémas représentant différentes compositions d'ouvertures vues en coupe.

Par exemple, une ouverture évasée vers l'intérieur et de couleur claire, tel qu'illustré à la figure 9.b, permet d'augmenter jusqu'à 10 % la luminosité dans le coin opposé de la pièce (Hasting et Wall, 2007a). Selon les simulations réalisées par les mêmes auteurs, l'éblouissement dû au contraste entre le mur et la fenêtre est ainsi considérablement réduit ce qui accroît le confort visuel de l'occupant. L'intégration d'un réflecteur horizontal dans le profil de la fenêtre permet aussi d'apporter plus de lumière en profondeur dans l'espace (American Institute of Architects, 1982). Ce type de système réfléchit la lumière sur le plafond qui réoriente ensuite les rayons lumineux vers le fond de la pièce. Tel qu'illustré à la figure 9.c, un réflecteur judicieusement conçu peut aussi servir de brise-soleil en saison chaude. Une composition en couches, montrée à la figure 9.d, peut aussi être envisagée (Guzowski, 2000). Un dispositif d'ombrage peut, par exemple, être inclus dans la composition de la fenêtre afin d'éliminer la surchauffe en été. Finalement, un matériau translucide peut être utilisé de manière à filtrer le rayonnement solaire et ainsi obtenir une lumière diffuse et douce.

Chose certaine, l'utilisation de la lumière naturelle comporte des avantages certains, mais aussi des risques non négligeables. D'un côté, elle apporte une qualité lumineuse essentielle au confort des occupants et de l'autre côté, une utilisation non contrôlée provoque de l'inconfort dû à l'éblouissement ou à la surchauffe (De Carli et De Giuli, 2009). Il s'agit d'un point particulièrement sensible pour les utilisateurs d'ordinateurs contraints à une position de travail fixe. La conception des ouvertures et des espaces doit donc permettre l'apport de lumière en tout temps, tout en évitant les gains thermiques excessifs en saison estivale. Les systèmes d'ombrage, qu'ils soient construits ou d'origine végétale, sont donc indispensables.

2.1.3 Le solaire actif

Les systèmes solaires actifs captent le rayonnement solaire et le transforment pour l'utiliser sous une autre forme ou dans un autre endroit. On compte deux types d'utilisation indirecte de l'énergie solaire : le solaire thermique et photovoltaïque (Hasting et Wall, 2007a). Dans le premier cas, des collecteurs transforment le rayonnement en chaleur et dans le second cas, ils l'utilisent pour générer de l'électricité. Tout comme pour l'utilisation directe, l'efficacité des systèmes actifs varie considérablement en fonction de la localisation du site ainsi que de leur orientation et inclinaison propres (Krippner, 2003; Roberts et Guariento, 2009). L'utilisation de systèmes solaires actifs permet d'améliorer le bilan énergétique de l'édifice et ainsi réduire la dépendance aux sources d'énergie non renouvelable.

Les systèmes thermiques actifs utilisent la chaleur du rayonnement solaire pour préchauffer l'air ou chauffer l'eau. L'air est utilisé pour le chauffage des espaces intérieurs et permet ainsi de réduire la consommation énergétique des systèmes de ventilation de l'édifice. L'eau est quant à elle utilisée pour le chauffage de l'eau chaude domestique, via un échangeur de chaleur, ou comme liquide caloporteur mélangé à du glycol et circulant dans un serpentin relié au système de chauffage des locaux. Dans les deux cas, la matière circule dans un collecteur situé du côté extérieur du bâtiment et exposé de manière optimale au rayonnement solaire. On retrouve deux principaux types de collecteurs solaires thermiques : les collecteurs plats et les collecteurs à tubes sous vide. Il existe aussi des systèmes à base de concentrateurs. Ces derniers sont caractérisés par le fait que la surface de récupération de l'énergie solaire est considérablement plus petite que celle par laquelle ils interceptent le rayonnement solaire (Pronovost, 2010). Toutefois, ces systèmes sont plus complexes et moins appropriés à une utilisation architecturale.

Les collecteurs plats, généralement de forme rectangulaire, sont composés d'un cadre rigide dont le fond est recouvert d'un isolant thermique. La surface supérieure du cadre est en verre. Sur l'isolant, on retrouve un long tube continu, composé d'un matériau absorbant la chaleur, dans lequel circule l'air, l'eau ou tout autre médium de transfert de chaleur (Krippner, 2003). En climat froid, puisque l'eau risque de geler dans le collecteur, on utilise plutôt une solution au glycol qui transférera ensuite la chaleur absorbée à l'eau dans le réservoir. Le glycol empêche l'eau de geler. Le fluide caloporteur réchauffé par le rayonnement solaire est donc acheminé vers un échangeur de chaleur à l'intérieur et la

chaleur ainsi récupérée est ensuite utilisée par les différents systèmes mécaniques du bâtiment. Ce type de collecteur requiert une bonne superficie et est généralement installé sur les toits bien qu'il puisse être installé en façade dans les latitudes nordiques.

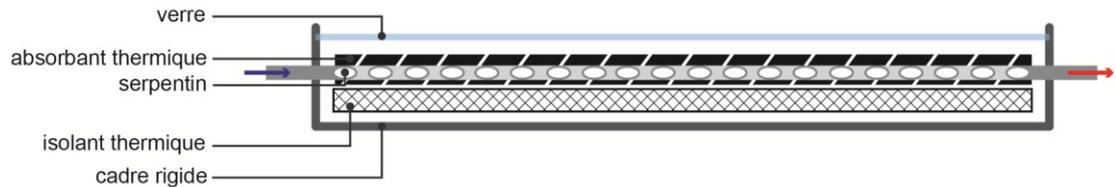


Figure 10 : Représentation schématique d'un collecteur plat

Les collecteurs à tubes sous vide sont formés d'un tube composé d'un matériau conducteur de chaleur, dans lequel circule un liquide utilisé seulement pour le transfert de chaleur. Ce tube conducteur est situé à l'intérieur d'un autre tube, celui-ci en verre. Le système est sous vide, c'est-à-dire qu'il n'y a pas d'air entre les deux tubes, ce qui favorise l'absorption de la chaleur du rayonnement solaire (Krippner, 2003) et réduit les déperditions thermiques par conduction et convection. L'énergie solaire, concentrée par le tube de verre, est absorbée par le liquide situé dans le deuxième tube. Le liquide s'évapore et le gaz remonte jusqu'au bout du tube où il se condense en transférant sa chaleur à l'eau domestique. Ce type de système, plus approprié pour chauffer l'eau, est plus coûteux, car il est conçu de plusieurs éléments individuels, mais ces modules plus petits peuvent être intégrés plus facilement à l'enveloppe d'un bâtiment (Krippner, 2003).

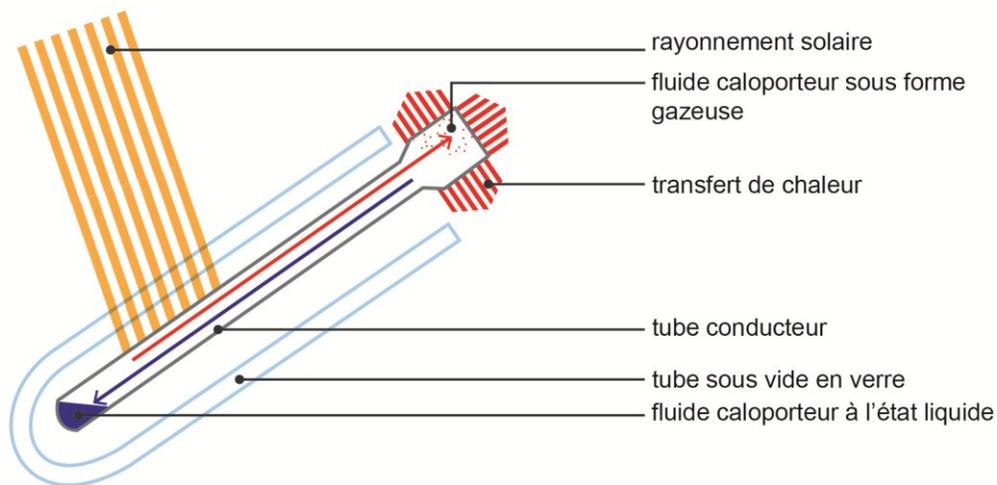


Figure 11 : Représentation schématique de la composition et du fonctionnement d'un collecteur à tubes sous vide

Un système photovoltaïque transforme directement le rayonnement solaire en électricité. Ce processus s'effectue à l'intérieur d'une cellule photoélectrique composée d'un matériau semi-conducteur. Ce dernier absorbe les photons du rayonnement solaire, ce qui libère des électrons qui circulent maintenant dans la matière. En raison de la composition particulière des cellules photovoltaïques, les électrons ne peuvent se déplacer que dans une seule direction, ce qui génère un courant électrique. À ce jour, l'efficacité des cellules photovoltaïques est d'environ 20 % (Roberts et Guariento, 2009). Cela signifie que 20 % de l'énergie du soleil absorbée par les cellules est transformée en électricité et 80 % en chaleur qui est dégagée par le système.

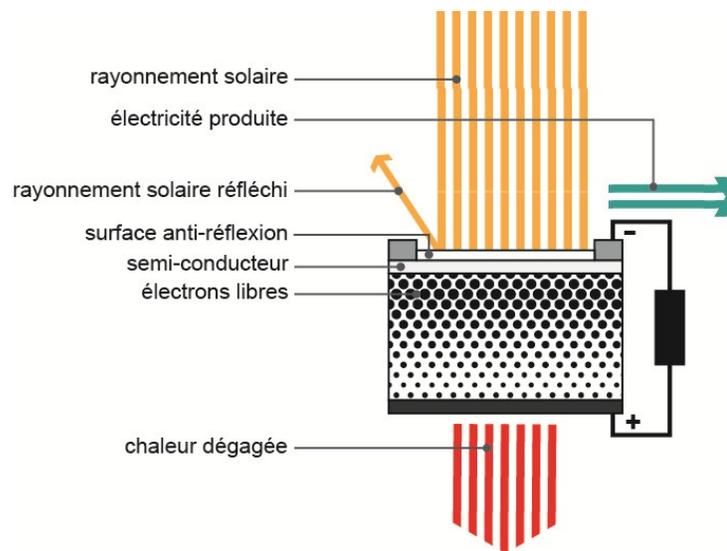


Figure 12 : Représentation schématique de la composition d'une cellule photovoltaïque ainsi que des différents flux énergétiques (inspiré de Roberts et Guariento, 2009)

Considérant l'importante quantité de chaleur dégagée par les modules photovoltaïques, des systèmes hybrides ont été conçus. Ce type de système combine un module photovoltaïque et un collecteur thermique (Hasting et Wall, 2007b). Les cellules photovoltaïques, exposées au soleil, transforment cette énergie en électricité et en chaleur. La chaleur est ensuite absorbée par le collecteur thermique qui l'utilise, par exemple, pour réchauffer l'eau ou l'air utilisé dans le bâtiment. Le collecteur thermique joue ainsi le rôle de refroidisseur pour le module photovoltaïque, ce qui en accroît la productivité (Hasting et Wall, 2007b).

Selon la technologie utilisée, les cellules photovoltaïques peuvent prendre différentes formes. Elles peuvent être rigides ou souples ou présenter différentes couleurs ou textures. Elles peuvent aussi être semi-transparentes ou translucides et être ainsi posée

sur du verre pour pouvoir bénéficier de la lumière naturelle à l'intérieur des espaces tout en produisant de l'électricité (Krippner, 2003; Roberts et Guariento, 2009). Les modules peuvent, bien sûr, être installés de manière indépendante au bâtiment, mais il est clair que toutes ces options permettent d'adapter cette technologie aux besoins spécifiques du bâtiment.

2.1.3.1 Intégration architecturale

L'installation des systèmes solaires actifs est un enjeu important. Dans un premier temps, il est possible d'utiliser une structure secondaire, et indépendante du bâtiment, pour soutenir les modules, peu importe qu'il s'agisse de panneaux photovoltaïques ou de chauffe-eau solaire. Ces structures additionnelles peuvent être installées sur le toit, ou en façade telle une deuxième peau (Roberts et Guariento, 2009). Leur seul et unique rôle est alors de transformer le rayonnement solaire en énergie. D'un autre côté, les systèmes solaires actifs peuvent être intégrés à l'enveloppe du bâtiment (Krippner, 2003; Roberts et Guariento, 2009; Schittich, 2003). Dans ce cas, les modules deviennent une partie intégrante de l'enveloppe du bâtiment. En plus de produire de l'énergie, ils peuvent aussi devenir parement, garde-corps, toiture, dispositif d'ombrage et plus encore.

Selon Krippner (2003) l'intégration architecturale des systèmes solaires actifs, consiste à atteindre une certaine harmonie entre les besoins et caractéristiques de la structure physique du bâtiment et les critères esthétiques et fonctionnels des systèmes actifs. Les modules solaires participent ainsi à la composition visuelle d'ensemble du bâtiment, améliorant l'esthétisme de l'architecture solaire. De plus, l'intégration architecturale évite le dédoublement des matériaux (Schittich, 2003). Au lieu de se retrouver en présence d'une enveloppe complète, isolée et étanche, ainsi que d'une installation solaire active supplémentaire par-dessus, on compte simplement une enveloppe, isolée, étanche, et produisant de l'énergie.

2.2 La conception solaire

Dans ce chapitre, il a été démontré que le potentiel énergétique du soleil était immense et qu'il était possible de tirer profit de cette énergie en architecture de manière directe et indirecte. La méthode directe inclut les gains solaires passifs et l'utilisation de la lumière naturelle alors que la méthode indirecte comprend l'utilisation de la chaleur ainsi que la production d'électricité. Dans tous les cas, il est indispensable que le bâtiment soit conçu

spécifiquement pour pouvoir utiliser efficacement cette énergie (Yeang et Spector, 2011). Considérant que l'architecte est au centre du processus de conception du bâtiment et que son rôle consiste à définir le projet et à en gérer le développement, il semble indispensable qu'il soit en mesure d'intégrer correctement les principes solaires et architecturaux à son travail de conception. Trois éléments jouent un rôle décisif dans le succès de la conception solaire. Il s'agit de l'attention portée au solaire lors des premières étapes de conception, des connaissances du concepteur ainsi que des outils et méthodes de travail.

2.2.1 Les premières étapes de conception

Tel que mentionné précédemment, l'architecte détermine, lors des premières étapes de conception, l'orientation du bâtiment, sa volumétrie et les principales ouvertures. Ces décisions générales sont celles qui ont le plus grand impact sur la performance énergétique de l'édifice (Shaviv, 1999; Sozer, 2010). L'utilisation passive de l'énergie solaire repose fondamentalement sur ces premières décisions conceptuelles. Le concepteur, lors des premières esquisses, doit donc être en mesure d'évaluer et de comprendre comment ces choix influenceront le comportement énergétique du futur bâtiment.

L'analyse du site est impérative. Le contexte environnemental du projet influence grandement l'énergie qu'un bâtiment utilise (Brown, 2001a). L'étude climatique du site permet de déterminer quelles zones du terrain sont les plus exposées au rayonnement solaire et à quelles périodes. La compréhension du contexte paysager, bâti et climatique permet au concepteur de bien orienter le futur édifice et d'adapter sa volumétrie aux besoins fonctionnels et énergétiques du projet. De plus, l'analyse du site permet aussi de déterminer sommairement quelles surfaces du projet seront les plus adaptées à recevoir des systèmes solaires actifs. En les prévoyant dès le début de la conception, l'intégration architecturale de ces systèmes est favorisée. Il est alors plus facile pour les architectes de les concevoir comme une partie intégrante de l'enveloppe et de la composition visuelle du bâtiment.

2.2.2 Les connaissances du concepteur

Les connaissances du comportement du rayonnement solaire est essentielle pour réaliser une architecture solaire efficace, intégrée et de qualité. Un concepteur comprenant bien

les caractéristiques du rayonnement solaire est en mesure de créer un bâtiment qui tire judicieusement profit de cette énergie. Considérant qu'il s'agit d'une énergie dont le potentiel est variable, il est possible de l'exploiter sous plusieurs formes. De plus, les besoins énergétiques d'un édifice variant en fonction des saisons, le concepteur doit avoir une perception à la fois globale et spécifique des systèmes et de la ressource solaire. Il doit prévoir les gains solaires en hiver, adapter le bâtiment pour les éviter en été, utiliser la lumière naturelle, et savoir transformer le rayonnement pour produire de l'électricité et/ou de l'eau chaude tout au long de l'année.

Par exemple, sachant que le rayonnement solaire est plus concentré lorsqu'il a un angle d'incidence perpendiculaire à un plan, les surfaces absorbantes doivent être plutôt verticales pour l'hiver et horizontales l'été. En effet, comme le montre la figure 13, le rayonnement solaire estival tend à être zénithal, comparativement à l'hiver.



Figure 13 : Représentations schématiques d'une surface absorbante perpendiculaire au rayonnement solaire, en été et en hiver pour la latitude $46^{\circ} 48''$ N.

De plus, la volumétrie du bâtiment peut être adaptée au parcours du soleil et aux besoins de l'édifice en permettant les gains en hiver et en s'en protégeant en été. La figure 14 présente un projet de fin d'étude en architecture qui vise à démontrer qu'un volume architectural peut être sculpté de manière à exploiter de manière optimale le rayonnement solaire tout au long de l'année (Gagnon, 2011). Le projet est une librairie en contexte urbain, dans le quartier Limoilou de la ville de Québec (Québec, Canada). La figure 14 présente, en coupe, comment le projet architectural interagit avec le rayonnement solaire en présentant la même coupe longitudinale nord-sud sous trois situations différentes : l'équinoxe, le solstice d'été et le solstice d'hiver. Dans ce projet, la volumétrie a été adaptée au rayonnement solaire afin d'optimiser l'utilisation de gains solaires directs en hiver et de les éviter en période estivale. De plus, l'utilisation de la composante réfléchie

du rayonnement solaire permet d'exploiter la lumière naturelle dans les espaces, en évitant les gains thermiques.

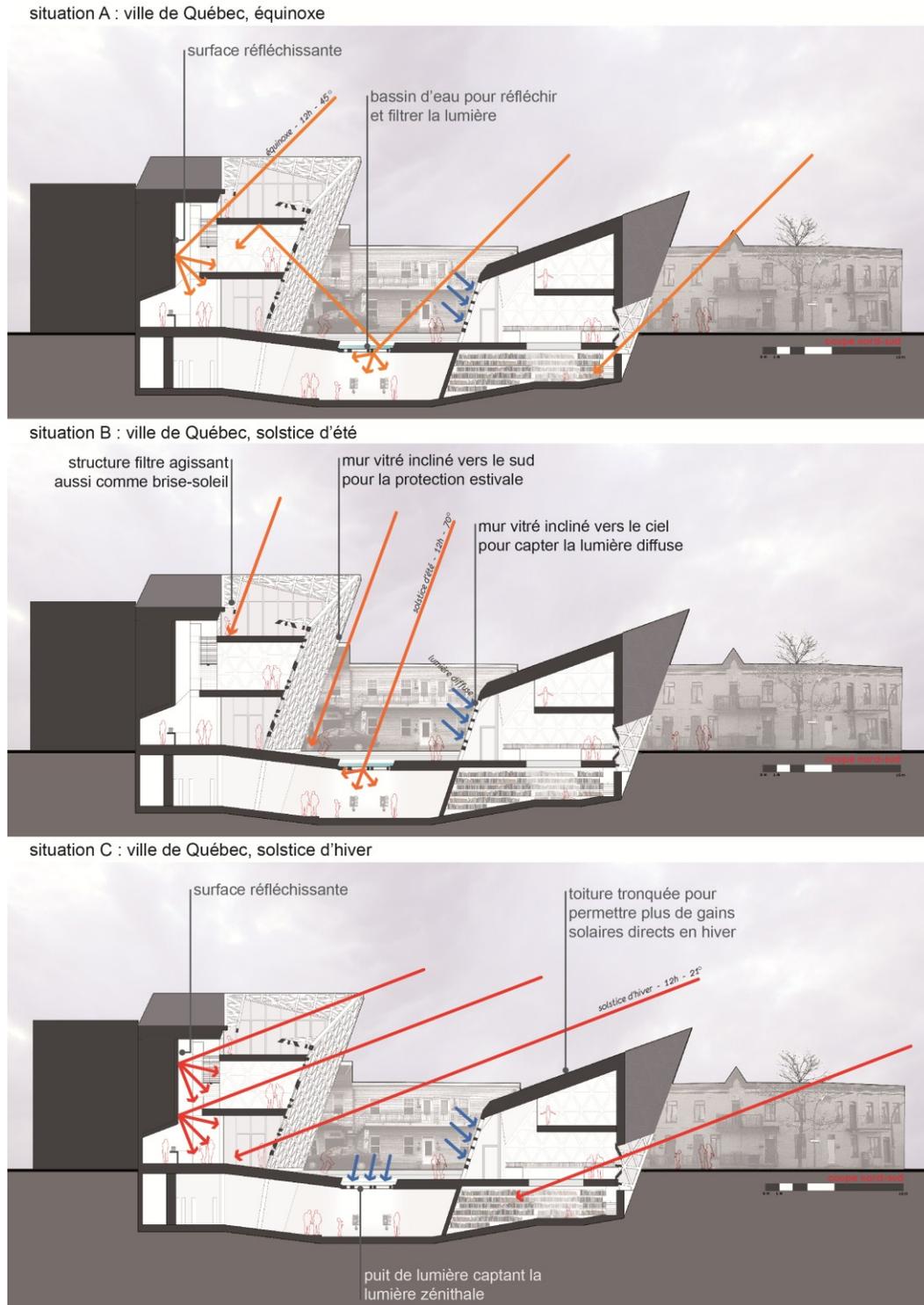


Figure 14 : Coupe longitudinale nord-sud du projet *Light'n books : l'hélio-morphologie d'une librairie urbaine* (Gagnon, 2011).

Considérant les besoins en énergie variables des bâtiments au cours de l'année, il est probable qu'il soit difficile d'utiliser une ouverture à la fois pour l'éclairage, la ventilation, la vue et les gains thermiques. Pour optimiser l'exploitation de chacune de ces ressources, il est parfois préférable de les séparer (American Institute of Architects, 1982). Il s'agit alors, pour le concepteur, de prévoir différents types d'ouvertures pour différents besoins, ou alors de diviser une ouverture en plusieurs sections. Il semble évident que plus l'architecte connaît les effets et les caractéristiques du rayonnement solaire, les moyens de l'exploiter et les technologies disponibles, plus il est en mesure d'œuvrer avec originalité, efficacité et justesse lors du développement des solutions architecturales.

2.2.3 Les outils et méthodes de conception

Afin de réaliser une architecture solaire de qualité, il est indispensable que les outils et méthodes de travail des architectes soient adaptés aux nouvelles données à considérer. En plus d'appuyer la prise de décision, un outil adapté à la conception solaire peut permettre d'en démontrer la pertinence aux clients, d'accélérer le processus et de soutenir la collaboration entre les différents intervenants.

Au niveau des méthodes de travail, il est clair que les considérations énergétiques doivent être prises en compte dès les premières esquisses. Au niveau du solaire passif, il revient aux architectes de bien évaluer le potentiel solaire du site et d'user de créativité pour en tirer profit. Ce travail peut toutefois être soutenu par l'utilisation d'outils adéquats. Bien qu'à première vue, les règles du pouce, outil général et peu précis, semblent idéales pour les toutes premières ébauches du projet, il convient de pouvoir évaluer très rapidement le comportement énergétique du futur bâtiment. Selon Morbitzer et al. (2001), un outil de simulation pour les premières phases de conception doit être simple, convivial et présenter les données de manière structurée. L'interactivité avec les logiciels CAAO est aussi très importante puisqu'à ce stade, le concepteur doit pouvoir visualiser les résultats rapidement.

L'utilisation de la technologie solaire active exige que la communication entre architectes et ingénieurs s'amorce dès les premières phases de conception. Les systèmes actifs, qu'ils produisent de l'électricité ou de la chaleur, sont en grande partie reliés aux systèmes mécaniques et électriques du bâtiment. Leur utilisation est donc le résultat d'un travail de collaboration entre architectes et ingénieurs. La conception des systèmes mécanique et électrique du bâtiment relève de ces derniers. De son côté, l'architecte a la responsabilité

de les intégrer à l'architecture. Il est donc essentiel que les outils de conception lui permettent de visualiser correctement les différents systèmes au même titre qu'un matériau ou qu'un élément architectural. Les outils de travail doivent donc être en mesure de soutenir la communication entre les différents intervenants. De plus, ils peuvent aider à inclure les systèmes passifs à la composition architecturale des projets en facilitant leur représentation. Pour les clients, le travail multidisciplinaire peut aussi être très bénéfique, car les décisions prises en collaboration avec les ingénieurs plus tôt dans le processus de conception permettent d'épargner, au final, du temps et de l'argent (Novitski, 2009).

2.3 Conclusion

Dans ce chapitre, il a été démontré que l'exploitation de l'énergie solaire en architecture pouvait grandement réduire la consommation énergétique des bâtiments (International Energy Agency, 2009; Philibert, 2005). Cependant, la réalisation d'une architecture solaire assurant un juste équilibre de l'utilisation passive et active du rayonnement solaire repose principalement sur le travail et les compétences de l'architecte. En effet, compte tenu du mouvement apparent du soleil dans le ciel, le potentiel solaire est constamment variable en plus d'être dépendant de la position géographique. Le concepteur doit bien comprendre les caractéristiques du rayonnement solaire, en ce qui a trait, par exemple, au parcours solaire et à la distribution du rayonnement selon toutes les approches (passive, active et lumière naturelle) pour être en mesure d'en tirer profit judicieusement.

Dans un bâtiment, il est possible d'exploiter le rayonnement solaire de manière passive et active. Une utilisation passive consiste à accumuler des gains solaires directs et diffus lorsque nécessaire, donc l'hiver, et à utiliser la lumière naturelle pour éclairer les espaces intérieurs, plutôt qu'un éclairage électrique. L'utilisation active repose, quant à elle, sur la transformation du rayonnement solaire en chaleur ou en électricité. Ces deux approches stratégiques sont intimement liées à la conception des bâtiments, et donc au travail de l'architecte. En effet, l'exploitation passive du rayonnement solaire est définie par la volumétrie de l'édifice, son orientation et ses ouvertures. Tous ces facteurs relèvent clairement du travail de l'architecte tel qu'exposé dans le premier chapitre. Par ailleurs, l'intégration architecturale des systèmes actifs, tels que les modules photovoltaïques ou les panneaux solaires thermiques, est aussi sous la responsabilité de l'architecte. Il est le principal responsable de leur intégration à la composition visuelle d'ensemble, mais aussi de leur utilisation en tant que composante intégrante de l'enveloppe.

Dans tous les cas, les premières étapes de conception sont cruciales, car elles définissent les différentes caractéristiques du projet qui ont le plus de potentiel pour l'architecture solaire. Il est donc essentiel que le travail de l'architecte soit soutenu par des outils de conception solaire dès les premières esquisses. D'un autre côté, il est aussi essentiel que les concepteurs soient au moins au courant que ce type d'outils existe et qu'ils soient en mesure de les utiliser correctement. Pour faire une utilisation judicieuse des outils numériques pour l'architecture solaire, il convient de comprendre ce que les praticiens recherchent comme fonctionnalités ou caractéristiques. Le prochain chapitre s'intéressera principalement à l'analyse de l'utilisation courante ces outils de conception par les architectes, par une recension des écrits sur ce sujet.

3 Les outils numériques de conception architecturale

L'utilisation d'outils numériques en architecture et dans les domaines connexes est, depuis plusieurs années, incontournable et fortement répandue à travers le monde (Lee et al., 2010; Mahdavi et al., 2003; Şenyapılı et Bozdağ, 2011; Weytjens et Verbeeck, 2010). Il y a une dizaine d'années, l'enquête de Rivard (2000) indiquait déjà que le taux d'utilisation des outils de conception assistée par ordinateur (CAO) au Canada était similaire et bien établi autant chez les architectes que chez les ingénieurs (92,9 % de 74 architectes et 91,2 % de 95 ingénieurs). Tel que mentionné dans le premier chapitre, plusieurs types d'outils informatisés sont à la disposition des concepteurs. Les logiciels de CAO permettent de soutenir les architectes pendant le processus de conception et d'améliorer leurs habiletés (Parthenios, 2005) alors que les logiciels de simulation ont pour objectif d'assister les concepteurs et consultants, de valider leur conception, de faciliter les choix et permettre l'évaluation de systèmes énergétiques.

Afin de réaliser une architecture solaire de qualité, il a été démontré dans le deuxième chapitre qu'en plus de posséder des connaissances de base sur l'exploitation de l'énergie solaire en architecture, les concepteurs devaient travailler, très tôt dans le processus de conception, à intégrer les notions énergétiques et solaires en collaboration avec les ingénieurs et consultants. Cette méthode de travail doit impérativement être soutenue par des outils adéquats. Les logiciels de simulation ont théoriquement la capacité d'accomplir cette tâche, mais en pratique, il semble que peu d'architectes les utilisent (Weytjens et Verbeeck, 2010). Les principaux facteurs limitant l'utilisation des outils de simulation par les architectes sont :

1. un manque de savoir-faire de leur part;
2. des courbes d'apprentissage trop importantes;
3. une intégration déficiente de ce type de logiciel au processus de conception traditionnel et à la CAAO.

La littérature comporte un certain nombre d'études analysant les différents outils et l'utilisation des logiciels de création et de simulation par les équipes de conception architecturales. Les objectifs communs à ces études consistent à analyser l'utilisation d'outils numériques pour l'architecture et établir des critères de réalisation pour de futurs logiciels. Trente-neuf de ces études publiées entre 1993 et 2011 sont ici recensées et

analysées. Les recoupements entre les différents travaux sont présentés selon quatre thèmes :

- l'utilisation des outils informatiques par les architectes;
- l'utilisation de ces logiciels pendant le processus de conception;
- les caractéristiques essentielles à l'utilisation de ces outils, et
- l'impact de ces outils sur le processus de conception.

3.1 L'utilisation des logiciels de simulation par les architectes

Dans le second chapitre, il a été démontré qu'il était nécessaire que les architectes possèdent des outils adéquats pour soutenir la conception architecturale solaire dès les premières étapes de conception. Cependant, puisque le développement d'un projet d'architecture est un processus multidisciplinaire, les études antérieures tendent plutôt à associer l'utilisation de logiciels de simulation à d'autres catégories d'intervenants.

Une première étude de Lam (1999), visant à comprendre comment les logiciels de simulation sont utilisés par les différents acteurs de la conception de bâtiment à Singapour, révèle que la centaine de firmes d'architecture participant à l'enquête n'est pas en contact avec ce genre de logiciels. À leur avis, l'utilisation de ce type d'outils ne fait pas partie de leurs tâches de concepteur, mais est plutôt destinée à des spécialistes. En 2001, aux Pays-Bas, une enquête de De Wilde et ses collègues montrait que 67 %, des 34 architectes participant à l'étude, n'utilisaient pas d'outils précis pour soutenir l'intégration de composants liés à l'efficacité énergétique des édifices. De plus, une enquête autrichienne auprès de 198 architectes indique que 165 répondants (83 %) n'utilisent pas de logiciels de simulation pour évaluer la performance des bâtiments (Mahdavi et al., 2003). Au total, 24 % de ces 165 répondants ne ressentaient simplement pas le besoin d'utiliser ce type de logiciel, alors que 16 % disaient ne pas posséder les compétences requises. Les autres motifs soulevés étaient le manque de motivation (4,8 %), que ce ne relevait pas de la compétence des architectes (11 %), que ça n'accélère pas le processus de conception (15 %), les coûts élevés des logiciels (4 %), la surcharge de travail (7,9 %) et l'impossibilité d'importer des fichiers CAO (4 %). Parmi les 33 répondants (17 %) qui utilisent les logiciels de simulations, tous les répondants s'en servaient pour effectuer des études de chauffage et climatisation, tandis que 15 % y avaient recours plutôt pour des évaluations acoustiques, 3 % pour la lumière naturelle et la ventilation respectivement.

Plus récemment, une enquête auprès de 629 architectes flamands, réalisée entre décembre 2008 et janvier 2009, révèle que 31 % des répondants n'utilisent pas d'outils de simulation énergétique dans leur pratique courante (Weytjens et Verbeeck, 2010). Outre le manque de temps, la majorité de ces répondants indiquaient qu'ils n'utilisaient pas ce type de logiciels, car cela ne relevait pas de la compétence des architectes.

Tel que spécifié dans le premier chapitre, les architectes se réfèreraient plutôt à leurs expériences antérieures et à des précédents architecturaux pour appuyer leurs décisions conceptuelles (De Wilde et al., 1999; De Wilde et al., 2001; Donn, 1997; Meniru et al., 2003; Reinhart et al., 2007; Reinhart et Fitz, 2006). Parmi les 629 répondants de l'étude récente de Weytjens et Verbeeck (2010), 23 % d'entre eux avaient déjà réalisé au moins un projet à faible consommation énergétique. Bien que de manière générale, ces mêmes architectes faisaient confiance à leurs expériences antérieures à 85 %, seulement 50 % des architectes concernés y avaient recours dans le cadre de projets énergétiquement efficaces.

L'étude de Weytjens et Verbeeck (2010) indique aussi que 38 % des 629 répondants ont préféré faire appel à des spécialistes⁵ pour appuyer leurs choix lors de la conception des édifices à faible consommation d'énergie. Plus de dix ans auparavant, la situation était similaire : des consultants viennent soutenir les concepteurs dans leur travail. Une recherche de De Wilde et al., (1999) comparant le processus de conception de deux bâtiments construits, et efficaces sur le plan énergétique, révèle que les consultants impliqués dans ces deux projets jouaient beaucoup plus le rôle d'informateurs que de concepteurs. Dans les deux cas étudiés, l'utilisation de logiciels de simulation était à la discrétion des consultants. Ils les utilisaient principalement pour dimensionner les systèmes et ainsi valider leur apport au projet. En aucun cas, la simulation n'était utilisée pour choisir un système. De même, dans l'étude de Lam (1999), on dénote aussi que le tiers des consultants de Singapour ayant participé à l'enquête utilisent un outil informatique comparativement aux 67 % des architectes, participant à la même étude, qui n'en utilisent pas, tel que mentionné précédemment.

De manière générale, il semble que les architectes ont moins recours aux outils informatiques que les consultants et ingénieurs engagés dans les mêmes projets.

⁵ Les auteurs ne spécifient pas la nature professionnelle de ces spécialistes en efficacité énergétique.

Cependant, ce sont les architectes qui conçoivent la plus grande portion des bâtiments, qui coordonnent le projet et prennent les décisions finales (Meniru et al., 2003). Les logiciels devraient être en mesure de les assister dans leur travail. Malgré le fait que de nombreux logiciels de divers types (CAAO, visualisation, simulation) soient disponibles pour le domaine du bâtiment, les chercheurs constatent qu'ils sont généralement peu ou mal utilisés par les architectes.

3.2 Les logiciels et les tâches architecturales à réaliser

Dans les deux premiers chapitres, il a été démontré qu'il était primordial que les outils utilisés par les concepteurs de bâtiments soient adaptés aux tâches qu'ils devaient réaliser ainsi qu'au stade de développement des projets. Puisque les choix faits pendant les premières phases de la conception ont le plus grand impact sur la performance énergétique des édifices (Shaviv, 1999), les logiciels de simulation permettant leur évaluation doivent y être adaptés.

À la suite d'une enquête auprès des entreprises formant le groupe InPro, et à laquelle 22 professionnels du secteur de la construction⁶ ont participé, Pfitzner et al. (2007) concluent, entre autres, qu'il y a un manque flagrant d'outils informatiques adaptés aux premières étapes de conception. En effet, cette enquête montre que les répondants travaillant dans les départements engagés pour les premières étapes de la conception utilisent des outils numériques pour seulement 25 % de leurs tâches. D'un autre côté, les répondants provenant des unités de conception et des salles à dessins indiquent que 100 % de leurs tâches sont informatisées. Les auteurs en concluent que les logiciels sont majoritairement développés pour les phases avancées de la conception.

Une enquête de De Wilde et ses collègues (2001) auprès de 34 architectes et 18 consultants aux Pays-Bas révèle que les trois quarts des systèmes et composantes participant à l'efficacité énergétique des édifices sont déjà déterminés lorsque la phase conceptuelle se termine. Cependant, les logiciels de simulation, dont l'objet est de soutenir et valider le choix de ces composants, sont utilisés pendant les phases avancées de conception, c'est-à-dire pendant la conception détaillée et la production des dessins de construction (Bambardekar et Poerschke, 2009; De Wilde et al., 1999; De Wilde et al., 2001; Donn, 1999; Mahdavi et al., 2003; Reinhart et al., 2007; Reinhart et Fitz, 2006;

⁶ Les auteurs ne spécifient pas les professions des répondants.

Struck et Hensen, 2007; Weytjens et Verbeeck, 2010). Donn (1999) avance aussi que l'utilisation des logiciels à ce stade avancé ne permet pas d'améliorer la performance du bâtiment. Ils sont donc plus utilisés pour confirmer des décisions conceptuelles (De Wilde et al., 2001) ou bien pour valider la conformité à un règlement ou un code du bâtiment (De Wilde et al., 1999; Mahdavi et al., 2003; Pilgrim et al., 2003; Struck et Hensen, 2007; Weytjens et Verbeeck, 2010).

Bien qu'il semble que les outils informatiques aient davantage un rôle de confirmation et/ou de validation dans le but de correspondre à certaines normes par exemple, certains les utilisent aussi comme outil de conception pour mieux comprendre l'impact du design sur la performance de l'édifice (Lam et al., 1999; Pilgrim et al., 2003). Parmi les 163 organisations architecturales, d'ingénierie et gouvernementales interrogées à Singapour par Lam et al. (1999), 15 % utilisaient des logiciels de simulation lors de la conception. De ce 15 %, 69 % indiquaient que la simulation permettait d'accélérer la conception et 59 % mentionnaient avoir davantage confiance en leurs choix grâce à l'emploi de ces outils. Les participants à l'étude de De Wilde et al. (2001) mentionnent, quant à eux, qu'ils utilisent ces outils informatiques pour optimiser les systèmes, mais aussi pour soutenir la prise de décision. Une étude de cas menée par Hobbs et ses collègues (2003) a démontré que, dans le projet étudié, l'utilisation de la simulation dans les premières étapes de conception a permis un processus de conception mieux documenté. De plus, une enquête internet menée auprès de 134 utilisateurs de logiciels de simulation de la lumière naturelle montre que les résultats de simulation sont présentés aux clients et dans des rapports, entre autres, pour justifier les choix de conceptuels (Reinhart et Fitz, 2006).

Il y a donc différentes raisons motivant l'utilisation des outils informatiques spécialisés en architecture. Dans le cadre de projet à faible consommation énergétique, comme les bâtiments *Net-Zero*⁷, l'utilisation des logiciels de simulation est indispensable pour comparer différentes stratégies et estimer leur performance (Utzinger et Bradley, 2009). Deux études récentes, une enquête internet d'Attia et al. (2009) et des observations faites dans le cadre d'un atelier universitaire américain où onze étudiants en architecture et en génie devaient travailler en collaboration (Charles et Thomas, 2009), soulèvent que la capacité d'un logiciel à comparer plusieurs alternatives de conception, et même de

⁷ Selon les auteurs, pour qu'un bâtiment soit qualifié de « *NET-ZERO* » il doit présenter un bilan énergétique annuel nul. Cela signifie que l'équivalent de l'énergie qu'il consomme dans une année doit être généré sur le site, préférablement en utilisant des ressources renouvelables.

conserver la trace des options évaluées précédemment, est très importante pour les concepteurs. L'étude de Donn (1999) commençait déjà à mettre en évidence cette observation. Cette étude comportait cinq volets, chacun s'intéressant à un groupe d'utilisateurs différents. Un des volets a été réalisé auprès de 46 architectes, sur 130, participants à des ateliers sur l'intégration du solaire passif dans les résidences. Ces 46 architectes ont souligné un intérêt pour qu'un même logiciel puisse analyser et comparer deux options différentes. Des séances de travail avec 12 ingénieurs et chercheurs néerlandais ont aussi révélé que les outils de simulation devaient permettre d'évaluer la qualité de différentes solutions (Maassen et al., 2003). De plus, on constate dans l'étude de Reinhart et Fitz (2006) que les logiciels semblent plus utilisés pour soutenir la conception que dans les autres. Cette dernière étude souligne que 94 % de ceux qui utilisent les outils visés y ont recours pour comparer deux options de design.

Un logiciel pouvant archiver les simulations effectuées pour des comparaisons ultérieures (Donn, 1999) viendrait soutenir cette méthode de conception. Il devrait aussi permettre de retourner facilement en arrière, car il est établi que les concepteurs ressentent le besoin de réviser plusieurs fois leur design (Parthenios, 2005). À la lumière des informations apportées par ces études, il semble qu'un logiciel de simulation possédant ces caractéristiques pourrait soutenir le travail de conception architecturale, contrairement à ce qu'on observe actuellement.

3.3 Les facteurs essentielles à l'utilisation des outils numériques

L'étude et l'analyse des méthodes de création et du travail des équipes de conception permettent de définir certains critères d'utilisation des outils numériques, incluant les remarques des utilisateurs, les difficultés qu'ils éprouvent et leurs besoins. Les études recensées ici relèvent cinq facteurs majeurs à considérer pour faciliter l'utilisation des outils numériques : l'interopérabilité des logiciels, les perceptions et connaissances des utilisateurs, leur facilité d'utilisation, leur adaptabilité et leur capacité de représentation graphique.

L'interopérabilité

L'étude de Yeomans et al. (2006) soulève que la faible interopérabilité actuelle des logiciels est l'obstacle le plus important à leur utilisation, car elle nuit à la collaboration

entre les différents acteurs dans le domaine de la construction. Les cinq entrevues réalisées au cours de cette étude, auprès de différents professionnels œuvrant dans des compagnies liées au secteur de la construction et utilisant des méthodes collaboratives, montrent que de manière générale, une firme acquière une série de logiciels provenant d'un même développeur, de manière à optimiser le transfert de fichier au sein de l'entreprise. Cependant, ces mêmes répondants soulignent qu'ils rencontrent souvent des problèmes de compatibilité lorsqu'ils doivent échanger des fichiers avec des collaborateurs externes. En effet, il existe un grand nombre de logiciels qui effectuent des tâches similaires (Doherty, 1997). Ces firmes ont donc le choix entre plusieurs systèmes dont le format de fichier natifs⁸ n'est pas nécessairement compatible. Une interopérabilité accrue permettrait aussi d'exporter des modèles 3D vers les logiciels de simulations de structure ou énergétiques (Bazjanac, 2003; Lam et al., 2004b; Maassen et al., 2003; Moum, 2010). Plus récemment, une étude turque combinant une enquête auprès de 112 étudiants en architecture d'intérieur et des entrevues avec 20 professionnels dont onze architectes d'intérieur, cinq architectes et quatre non-designers, rapporte aussi que l'interopérabilité est un attribut important des outils informatiques, car elle permet le partage et le développement d'idées à l'intérieur des équipes de conception tout au long du processus de conception (Şenyapılı et Bozdağ, 2011).

Dans le même ordre d'idées, 32 % des 22 répondants à l'enquête de InPro estiment que les fonctionnalités d'importation et d'exportation des fichiers représentent les principales lacunes des logiciels qu'ils utilisent (Pfitzner et al., 2007). Les outils informatiques devraient donc être compatibles avec les formats standards, communs à toute l'industrie de la construction (Rivard, 2000). Cependant, selon les outils utilisés chez les partenaires de InPro, 68 % des logiciels utilisés ne supportent pas ces formats standards ou, du moins, cette caractéristique n'est pas connue des utilisateurs (Pfitzner et al., 2007). En 2008, les auteurs d'une étude comparant 20 programmes de simulations énergétiques concluent que, selon les outils étudiés, il serait plus productif pour les utilisateurs d'avoir recours à plusieurs logiciels distincts plutôt qu'à un seul (Crawley et al., 2008). Cette constatation indique dans un premier temps qu'aucun logiciel ne peut soutenir et informer la totalité des tâches à réaliser par les concepteurs, ni l'ensemble du processus de

⁸ Le format natif est un format de fichier créé et développé spécifiquement pour le logiciel utilisé. Par exemple, pour le logiciel AutoCAD, le format de fichier natif est le DWG, contrairement au DXF, qui est un format de transfert.

développement d'un projet d'architecture. De plus, elle implique l'apprentissage de plusieurs logiciels.

La perception et connaissances des utilisateurs

Une perception informée ainsi que des connaissances et un savoir-faire particuliers sont nécessaires pour faire une utilisation optimale des logiciels de simulation. En effet, un deuxième volet de l'étude de Donn (1999) comporte 20 entrevues auprès d'utilisateurs américains de logiciels de simulation. Ces 20 répondants considèrent que des connaissances de base sont essentielles pour réaliser des simulations. Ainsi, les utilisateurs qui ne comprennent pas les calculs réalisés lors des simulations ont, selon eux, plus de difficultés à interpréter les résultats pour enrichir la conception. Il est aussi très important que les utilisateurs de logiciels 3D aient une très bonne connaissance du secteur de la construction pour accroître leur efficacité (Yeomans et al., 2006). Par ailleurs, il semble aussi que les capacités et fonctionnalités particulières des logiciels ne soient pas bien connues des utilisateurs, ce qui limite aussi leur utilisation adéquate (Hobbs et al., 2003; Mahdavi et al., 2003; Pfitzner et al., 2007; Reinhart et al., 2007). Plus spécifiquement, les erreurs le plus souvent rencontrées en simulation sont liées à un manque de compréhension ou à une mauvaise utilisation du logiciel, tels qu'une mauvaise définition des paramètres au départ, des erreurs de saisie ou des oublis (Pilgrim et al., 2003; Reinhart et al., 2007). De plus, 58 % des 198 architectes⁹ autrichiens selon une enquête de Mahdavi et de ses collègues (2003), ont des connaissances insuffisantes en matière d'outils de simulation semblent insuffisantes. Selon la forte majorité d'entre eux (79 % des 33 utilisateurs et 90 % des 65 non-utilisateurs), le rôle du parcours universitaire pour l'apprentissage et la perception des outils de simulation de la performance des bâtiments sont des éléments importants (Mahdavi et al., 2003).

La facilité d'apprentissage des logiciels est aussi un facteur d'utilisation important des logiciels (Mahdavi et al., 2003; Weytjens et Verbeeck, 2010). Ainsi, 70 % des 87 ingénieurs mécaniques et en structure ayant répondu au questionnaire internet développé par Pilgrim (2003) avaient appris le fonctionnement des logiciels par eux-mêmes. L'auto-apprentissage semble être une pratique très répandue chez les utilisateurs de programmes informatiques (Donn, 1997; Pilgrim et al., 2003; Reinhart et Fitz, 2006). Dans ce contexte, les sources de documentations deviennent indispensables et peuvent

⁹ Utilisateurs et non-utilisateurs de logiciels de simulation confondus

prendre différentes formes : la documentation d'aide écrite ou en ligne, les tutoriaux interactifs ou sous forme de vidéos etc. (Lam et al., 2004b). Cependant, il est important que toutes les étapes nécessaires à la réalisation d'une tâche soient bien représentées et indiquées clairement (Lee et al., 2010). Toutefois, selon les mêmes auteurs une offre de formations spécifiques dédiées à l'utilisation de ces outils est la solution à promouvoir pour remédier au manque de connaissances des utilisateurs de logiciels.

Il est intéressant de noter que le faible niveau de formation était au cœur des observations et recommandations de Bhavnani et ses collègues et ce dès 1996, alors qu'ils avaient observé et interviewé dix utilisateurs¹⁰ américains du logiciel MicroStation¹¹. Dans l'enquête de Doherty (1997), 67 % des répondants néo-zélandais disant être utilisateurs de logiciels, (70 % de 47) rapportaient qu'ils avaient reçu une formation en dehors des heures de travail au cours des deux années précédentes, et 66 % (de 47) envisageaient en suivre une au cours des deux années suivantes. Malgré le fait que la formation ait été désignée par plusieurs chercheurs comme un facteur clé, Morbitzer et al. (2001) ont souligné qu'à la fois des formations ainsi que de l'assistance en ligne dans les bureaux étaient requises pour favoriser l'intégration de la simulation dans le processus de conception. Sur la scène canadienne, Rivard (2000) souligne que la faible informatisation de certaines tâches¹² (architectes, ingénieurs et entrepreneurs confondus) est, entre autres, due au manque de formation.

La facilité d'utilisation des logiciels

La plupart des études consultées présentent aussi la multitude des commentaires des répondants, usagers d'outils informatiques, concernant l'interface de ces logiciels. Hors, cette interface définit l'utilisation du logiciel et sa qualité influence sa facilité d'utilisation. Plusieurs études soulèvent l'importance d'une interface conviviale, intuitive, facile d'utilisation (Attia et al., 2009; Christakou et Amorium, 2005; Lam et al., 2004a; Maassen et al., 2003; Mahdavi et al., 2003; Prazeres et Hand, 2009; Şenyapılı et Bozdağ, 2011; Weytjens et Verbeeck, 2010). Dans l'enquête autrichienne de Mahdavi et al. (2003), 32 % des 165 architectes n'utilisant pas les logiciels de simulation signalent que la convivialité de l'interface serait le critère le plus important pour l'achat de ce type d'outils

¹⁰ Sept architectes et trois techniciens.

¹¹ MicroStation est un logiciel de conception architecturale supportant le processus de conception intégré et multidisciplinaire BIM.

¹² L'auteur ne spécifie pas les tâches touchées.

informatiques. Par ailleurs, plus du tiers des 33 utilisateurs considèrent aussi qu'il s'agit du critère le plus important. De plus, bien que 30 % de ces 33 architectes ne voient aucun problème majeur à l'emploi des logiciels de simulation, 9 % (de 33) signalent que la pauvreté des interfaces est une contrainte importante à leur utilisation. Selon les auteurs, la convivialité de l'interface peut être reliée à sa présentation visuelle, à la manière de l'utiliser ou aux fonctionnalités particulières qu'elle offre et qui facilite l'utilisation du logiciel.

La représentation graphique dans l'environnement de travail est une préoccupation importante des utilisateurs (De Wilde et al., 2001; Parthenios, 2005; Pfitzner et al., 2007; Pilgrim et al., 2003; Şenyapılı et Bozdağ, 2011). En effet, une interface graphique plus développée favoriserait l'utilisation des logiciels dans le contexte de conception (De Wilde et al., 2001; Prazeres et Hand, 2009). Les 64 répondants américains (architectes et ingénieurs confondus) des études de Donn (1997, 1999) étaient très intéressés par une interface graphique (GUI pour l'anglais *Graphic User Interface*). Une GUI est une interface avec laquelle l'utilisateur interagit au lieu de simplement entrer des lignes de commandes en texte par exemple. En 2005, à la suite de quatre études de cas néo-zélandais pour lesquels des logiciels de simulation avaient été utilisés, les auteurs dénotent que l'implantation de GUI dans les logiciels pourrait réduire le temps nécessaire à la création des modèles (Arnold et al., 2005). Selon Attia et ses collègues (2009), les architectes ont besoin de construire leur modèle pour la simulation avec une interface permettant de travailler en 3D. Considérant que la représentation graphique est une des principales aptitudes de l'architecte, qu'il conçoit et communique de cette manière (Cuff, 1991), il semble normal qu'il recherche des outils visuels adaptés pour soutenir sa méthode de travail intrinsèque.

L'interface peut aussi être dynamique et répondre en temps réel aux actions de l'utilisateur pour lui fournir de l'information sur l'état interne du logiciel et du modèle, donc ce qui n'est pas visible par l'utilisateur (Lee et al., 2010). Le logiciel pourrait par exemple réagir instantanément aux modifications faites au design pour des facteurs tels que la performance des systèmes, le solaire passif, l'évaluation des coûts ou alors les surfaces de circulation (Donn, 1999; Meniru et al., 2003; Prazeres et Hand, 2009; Weytjens et Verbeeck, 2010). Elle pourrait même aller jusqu'à proposer une solution plus efficace (Charles et Thomas, 2009). Un tel type de logiciel appuierait un processus de conception itératif (Pfitzner et al., 2007). Un agent dynamique de support pourrait aussi être intégré au logiciel pour aider les utilisateurs en temps réel, tel que proposé et développé par l'équipe

de Bhavnani et al. (1996). Ce type de système surveille et reconnaît les utilisations incorrectes ou non optimales du logiciel, recueille, dans ses propres données, les informations nécessaires pour créer des conseils pour l'utilisateur et les lui transmet. Par exemple, des fenêtres peuvent apparaître pour indiquer comment utiliser la commande sélectionnée (Lee et al., 2010) ou pour signaler des imprécisions dans l'état du modèle. Puisque les erreurs dans les simulations sont principalement associées à des paramètres mal définis au départ, des erreurs de saisie ou des oublis (Pilgrim et al., 2003; Reinhart et al., 2007), il semble plausible qu'un agent dynamique puisse réduire ce type d'erreur dès le départ.

Dans l'étude de Weytjens et Verbeeck (2010), l'enquête et les entrevues réalisées auprès de 638 architectes¹³ flamands, révèlent l'importance d'une utilisation intuitive et rapide des logiciels. Cela implique, pour les auteurs, l'intégration de modules de simulation énergétique aux logiciels de modélisation et de conception. Cette approche, présentement utilisée par certains outils, facilite l'utilisation de la simulation pendant le développement du projet (Christakou et Amorium, 2005). Parmi les 33 architectes autrichiens de l'enquête de Mahdavi et al. (2003) qui utilisent des logiciels de simulation énergétique, 21 % croient que la fusion des outils de conception et de simulation accélérerait le processus de conception. De plus, 9 % soulèvent que ce type de fonctionnalité permettrait l'évaluation des décisions conceptuelles dans les premières phases de conception.

L'interface d'un logiciel définit l'utilisation qu'on en fait et la qualité de cette interface définit sa facilité d'utilisation. Plus elle est conviviale et intuitive, plus il est facile pour l'utilisateur d'exploiter ses fonctionnalités. Cependant, une trop grande simplification de l'interface peut aussi limiter le potentiel de l'outil. Pour la plupart des architectes, il est indispensable de travailler de graphiquement. Puisque le temps est aussi un enjeu important en conception, il semble préférable que les calculs énergétiques puissent s'effectuer directement dans les logiciels CAAO. De plus, des réactions du logiciel en relation à la performance énergétique, ou simplement pour soutenir techniquement l'utilisateur dans son travail, favoriserait l'emploi de ce type d'outils.

¹³ Les entrevues concernent neuf architectes et l'enquête 629.

L'adaptabilité des logiciels

Tel que mentionné dans le premier chapitre, les concepteurs ont tous des manières différentes de développer un projet. De plus, ils se basent beaucoup sur leurs expériences personnelles qui diffèrent d'une personne à l'autre. L'adaptabilité de l'outil est donc un critère très important (Parthenios, 2005). Par adaptabilité, on entend la capacité de l'interface à être personnalisée par l'utilisateur en fonction de ses besoins (Attia et al., 2009; Bhavnani et al., 1996; Lee et al., 2010; Maassen et al., 2003; Meniru et al., 2003). L'outil numérique doit aussi pouvoir représenter le projet selon différentes échelles, mais aussi avec différents niveaux d'abstraction (Meniru et al., 2003), selon les besoins du concepteur. Pour les 20 professionnels d'architecture d'intérieur de l'enquête de Şenyapılı et Bozdağ (2011) l'adaptabilité des logiciels se traduit par le choix de ses fonctionnalités. Ces derniers cherchent à pouvoir créer librement des objets et des formes selon leurs besoins. Il peut aussi s'agir d'offrir différents niveaux de simulation dans un même logiciel pour s'adapter aux besoins des différentes phases de conception (Donn, 1997). Les professionnels interrogés dans ces études sont très sensibles au type d'interface que le logiciel offre, tel que mentionné dans la section précédente. L'adaptabilité ou la flexibilité de l'outil informatique est donc très importante parce que le processus de conception est très personnel.

Par ailleurs, les caractéristiques recherchées pour un outil peuvent différer selon la profession de l'utilisateur et le stade d'avancement de sa conception. Sachant qu'un projet d'architecture prend forme, dans un premier temps, à partir de ses paramètres généraux (orientation, volumétrie, etc.), il n'est pas nécessaire d'avoir accès à des simulations très pointues au début d'un projet (Crawley et al., 2008). Un logiciel offrant des niveaux de précision évolutifs pourraient être utile. Par exemple, un mode d'utilisation présentant une interface simplifiée et dont les fonctionnalités sont prédéfinies pourrait être utilisé dès les premières phases de la conception, alors qu'aux phases subséquentes, un autre mode permettrait d'exploiter la totalité des options disponibles (Bambardekar et Poerschke, 2009; Lam et al., 2004a).

Selon la thèse de doctorat de Parthenios (2005), basée sur quatre études de cas, des entrevues avec les architectes impliqués ainsi que les données provenant de 241 répondants à une enquête internet, il semble que les architectes et ingénieurs préfèrent utiliser des outils distincts selon les tâches à réaliser. Cependant, plusieurs outils singuliers signifient aussi plusieurs logiciels à apprendre. Hors, si on considère les études

évoquées précédemment, on constate que l'apprentissage des logiciels est un obstacle important à leur utilisation. Un outil unique et flexible serait donc, selon les études consultées, une solution mieux adaptée aux besoins des utilisateurs. Les résultats de Parthenios laissent toutefois supposer que très peu d'outils de ce type étaient disponibles en 2005, lors de la publication de la thèse.

La capacité de représentation graphique

Considérant que les architectes communiquent avec leurs clients principalement de manière graphique (Cuff, 1991), il n'est pas étonnant que l'insatisfaction soulevée par les utilisateurs de logiciels soit souvent associée à un manque de capacité de représentation (Pilgrim et al., 2003). Bien que l'aspect graphique puisse aussi être associé à l'interface du programme, cette caractéristique touche aussi la visualisation des résultats. Le format dans lequel le logiciel présente les résultats des calculs est crucial pour leur interprétation ainsi que pour l'évaluation et les choix conceptuels en début de projet (Bambardekar et Poerschke, 2009). Les données présentées de manière visuelle permettent aux architectes d'évaluer plus facilement les résultats (Attia et al., 2009; Prazeres et Hand, 2009). Pilgrim et son équipe (2003) notent que les résultats d'analyse étaient le plus souvent présentés sous forme de tables ou de graphiques. Cependant, les 87 ingénieurs interrogés affirmaient que ces modes de représentation n'offraient pas un aussi grand potentiel de visualisation des analyses que des images et graphiques tridimensionnels. En effet, les logiciels de simulation fournissent des résultats numériques (Donn, 1997), mais il est souvent difficile d'établir une relation entre le design et la performance (Donn, 1999; Pilgrim et al., 2003). Les programmes ne sont pas en mesure de fournir aux architectes les résultats sous une forme utile lors des premières phases de la conception (De Wilde et al., 2001; Donn, 1999).

La clarté de la présentation des résultats est très importante pour améliorer les discussions entre architectes, ingénieurs et consultants. Plus les résultats sont clairs, plus il est facile de comprendre, valider et discuter les résultats et les choix conceptuels (Lam et al., 2004a). Bien qu'il soit important de favoriser les échanges entre les concepteurs (De Wilde et al., 2001), il est aussi essentiel de sensibiliser les clients et donneurs d'ouvrage à la valeur des résultats de simulation en architecture. En effet, huit des dix études analysées soulignent que l'attitude des clients limite l'utilisation des logiciels de simulation. Les clients ne veulent généralement pas payer pour ces analyses (Donn, 1999; Holm, 1993; Reinhart et Fitz, 2006; Tweed, 2001). Les architectes et ingénieurs trouvent aussi

difficile d'expliquer aux clients les coûts épargnés par les changements faits au design à la suite des simulations (Lam et al., 1999). Il est important de souligner que le contexte économique de ces études influence beaucoup ces derniers résultats. En effet, dans les années 1990, le coût de l'énergie n'était pas assez élevé pour qu'il constitue un facteur important pour les clients (Holm, 1993), alors que le contexte actuel est différent étant donné l'intérêt accordé à l'efficacité énergétique des édifices. Actuellement, la simulation permet de présenter aux clients les économies que des stratégies énergétiques leur procurent ainsi que les délais d'amortissement de leurs investissements (Weytjens et Verbeeck, 2010). Il demeure que pour la plupart des clients, les résultats numériques sont difficiles à interpréter et des présentations graphiques simples sont préférables (Arnold et al., 2005; Maassen et al., 2003; Weytjens et Verbeeck, 2010).

La représentation en trois dimensions semble être un moyen efficace pour la compréhension d'un projet d'architecture lors de réunions (Moum, 2010). En effet, il ressort des entrevues réalisées par Yeomans et al. (2006), que les représentations 3D assurent une meilleure compréhension des clients tout en permettant de montrer plusieurs solutions à un niveau de détail plus élevé. L'enquête de Pfitzner et al. (2007) conclut aussi que des représentations 3D, dont le rendu est très réaliste, sont nécessaires pour pouvoir donner au client une bonne impression de son projet et ce, dès les premières phases de la conception. Sans pouvoir justifier de manière claire leurs observations, 85 % des 38 participants à l'enquête internet, liée à l'étude de Yeomans et al. (2006), estiment aussi que l'utilisation de la 3D pour présenter un projet au client a été rentable pour le projet.

3.4 Les impacts sur la conception architecturale

Neuf études recensées soulignent l'impact des outils informatiques sur le processus de conception et le résultat final. En 1993, Lawrence indiquait que les logiciels de CAO avaient le potentiel de remplacer les outils et méthodes traditionnels tout en offrant de grandes possibilités d'innovation. Dans le même ordre d'idée, plus d'une décennie plus tard, une étude souligne que la conception a complètement été transformée par les nouvelles technologies (Kalay, 2006). Les outils informatiques ne font pas qu'assister la conception, ils permettent de réaliser des tâches qu'il est impossible de réaliser sans leur recours. Par ailleurs, 65 % des 241 architectes interrogés par Parthenios (2005) affirment que l'usage des logiciels de conception a eu une influence positive sur leur travail. Par exemple, les avantages qu'ils valorisent le plus sont : une meilleure visualisation, une

meilleure communication, l'aptitude à explorer des formes complexes ainsi que plusieurs alternatives. Cette étude a également montré que le niveau de compétence de l'architecte pour l'utilisation d'un logiciel affecte son degré d'impact sur le projet. Plus récemment, Moum (2010) a constaté qu'en améliorant la compétence des utilisateurs de logiciels de modélisation ainsi des fonctionnalités de ces derniers, l'utilisation de modèles 3D pouvait soutenir et accélérer la conception et les modifications au cours du développement des projets. Ces constatations confirment l'importance de l'utilisation des outils numériques en architecture ainsi que de l'accessibilité à de la documentation et de la formation pertinentes.

Dans l'optique d'optimiser la performance énergétique des édifices, les concepteurs cherchant à concevoir des bâtiments plus efficaces considèrent sérieusement l'utilisation de logiciels de simulation pour parfaire leurs projets (Attia et al., 2009). L'étude de Holm (1993) révélait que les architectes étaient à la recherche de résultats concrets pour appuyer leurs décisions. Ils veulent être en mesure d'identifier quels éléments du bâtiment influencent le comportement thermique et de quelle façon. En Nouvelle-Zélande, 80 professionnels interviewés en personne et par téléphone par Donn (1997) ont affirmé que les logiciels de simulation les aidaient à concevoir des édifices plus efficaces sur le plan énergétique. Cette impression est aussi partagée par les 163 concepteurs de Singapour interrogés par Lam et al. (1999). Bien qu'à la même époque ces derniers utilisaient moins les outils de simulation que les Néo-Zélandais, ils croyaient que l'intégration des logiciels dans leur processus de conception permettrait de mieux comprendre l'impact des décisions conceptuelles sur la performance des édifices (Lam et al., 1999). L'étude de cas réalisé par Hobbs et ses collègues (2003) conclut que l'utilisation de la simulation dès les premières phases de la conception permet aux architectes de mieux comprendre la question architecturale et d'améliorer la conception.

3.5 Conclusion

Les 39 études recensées dans ce chapitre tracent un portrait général de l'utilisation des outils numériques en architecture. Elles soulèvent notamment que les architectes ont une utilisation limitée des outils à leur disposition. Par contre, ceux qui les utilisent soulignent leur potentiel novateur. Par exemple, l'intégration de la simulation énergétique au début du processus de conception semble améliorer les projets et réduire la consommation énergétique des futurs bâtiments. Cependant, ces études montrent aussi que peu de

logiciels soutiennent les tâches de l'architecte dans les premières phases de conception. On peut cependant se demander si ce sont ces outils qui ne sont pas conçus pour répondre aux besoins des architectes, ou plutôt ces derniers qui connaissent mal l'existence et le potentiel des outils.

Tel qu'établi dans le deuxième chapitre, l'architecture solaire doit être une notion intégrée au travail de l'architecte et ce dès les premières esquisses du projet. En plus des connaissances de base sur l'énergie solaire, il est clair que les outils informatiques sont indispensables pour appuyer l'architecte dans cette tâche. Certains logiciels assistent déjà les concepteurs dans leur processus créatif, mais il est souhaitable qu'ils puissent aussi les aider à développer des stratégies et solutions permettant de tirer profit de l'énergie solaire. De plus, les études recensées dans ce chapitre identifient les facteurs généraux indispensables à l'utilisation des outils numériques. De manière générale, les architectes recherchent l'interopérabilité des logiciels pour faciliter le travail multidisciplinaire, en améliorant les transferts de données entre les logiciels de conception et de simulation. Ils souhaitent aussi des interfaces conviviales, intuitives, adaptables et graphiques. Les outils doivent préférablement être adaptables, de manière à effectuer plusieurs tâches tout au long du développement du projet. Ils doivent aussi être en mesure de présenter graphiquement et clairement les résultats afin de convaincre l'équipe de conception et les clients. Finalement, il est préférable que les outils soient faciles à utiliser ou, du moins, que les utilisateurs aient facilement accès à des formations et de la documentation pertinente.

Enfin, la présente recherche vise à tracer un portrait de la pratique par les architectes en relation à l'architecture solaire et aux connaissances acquises sur la pratique de l'architecture, l'énergie solaire et l'utilisation des outils informatiques par les architectes. Dans un premier temps, il conviendra d'évaluer si les logiciels actuellement disponibles sont en mesure de soutenir le travail des architectes pour développer l'architecture solaire. D'autre part, les connaissances des architectes en matière d'énergie solaire ainsi que leurs outils de travail devront être évaluées. Toutefois, une recension des outils informatiques disponibles, ainsi que les fonctionnalités qu'ils offrent pour la conception solaire, devra être réalisée pour faciliter l'interprétation des résultats de l'enquête effectuée auprès des concepteurs.

4 Méthode

4.1 Les deux parties de la recherche

Les données utilisées dans cette recherche ont été recueillies dans le cadre de la sous-tâche B de la Tâche 41 : Énergie solaire et architecture de l'*International Energy Agency* (IEA). L'évolution de la recherche au sein de ce groupe de travail a permis de recevoir un soutien continu de la part de professionnels, de chercheurs et de professeurs internationaux en plus de permettre un plus vaste échantillon de participants. L'objectif principal de la présente recherche est de tracer un portrait de l'utilisation de l'architecture solaire par les architectes, en analysant leur intérêt, leurs connaissances, leurs méthodes et outils de travail dans ce contexte. Pour atteindre cet objectif, la recherche se divise en deux parties distinctes et complémentaires :

- 1) un inventaire des outils informatiques actuellement disponibles pour la pratique de l'architecture en général et solaire en particulier et;
- 2) une enquête internet auprès de concepteurs de bâtiments.

La réalisation de la revue des outils informatiques a pour objectif principal de décrire et analyser les outils numériques actuellement disponibles de manière à identifier lesquels sont les plus appropriés pour soutenir la conception et l'intégration architecturale des technologies solaires et ce tout au long du processus conception. Toutefois, une attention particulière a porté sur leur utilisation au cours des premières phases du processus de conception, puisqu'il est reconnu qu'elles ont un impact très significatif sur la performance énergétique des édifices (Shaviv, 1999; Sozer, 2010). Cette partie de l'étude a aussi pour objectif d'identifier les fonctionnalités, ainsi que les lacunes de ces outils numériques en relation avec la conception solaire. Enfin, elle permet aussi de préciser le contexte technique (logiciels disponibles) du travail des architectes.

La deuxième partie de la recherche a pour objectif d'évaluer les connaissances des architectes en matière d'énergie solaire ainsi que les outils de travail qu'ils utilisent dans leur pratique courante. De plus, elle a pour but d'identifier les principales difficultés à la réalisation des projets d'architecture solaire, en tenant compte des trois facteurs : les méthodes, les outils, et les perceptions et connaissances. L'évaluation repose sur une enquête internet élaborée à partir des connaissances acquises lors de la première partie de la recherche et des études similaires déjà réalisées.

4.2 Inventaire des logiciels en architecture

L'inventaire couvre un total de 56 logiciels¹⁴, sélectionnés sur la base de leur popularité auprès des architectes. Cela signifie que leur utilisation est reconnue pour être vastement répandue dans la pratique architecturale. Les logiciels expérimentaux ou ceux dont l'utilisation demeure marginale n'ont pas été inclus. Les outils sélectionnés ont été classés selon trois catégories : outils de conception architecturale assistée par ordinateur (CAAO), outils de visualisation et outils de simulation. Les applications BIM retenues sont incluses sous la catégorie CAAO. Le tableau 3 présente la liste des 23 logiciels de CAAO, 13 logiciels de visualisation et 20 logiciels de simulation tous actuellement utilisés par les architectes et analysés dans l'inventaire.

Tableau 3 : Liste des logiciels couverts dans l'inventaire

Outils de conception architecturale assistée par ordinateur (CAAO)	Outils de visualisation	Outils de simulation
Allplan*	Artlantis	bSol
ArchiCAD*	Flamingo	DAYSIM
AutoCAD	Kerkythea	DesignBuilder
Blender	LightWave	Design Performance Viewer (DPV)
Bricscad	LuxRender	Ecotect
Caddie	Maxwell Render	Energy Design Guide II
CATIA	Mental Ray	EliteCAD
CINEMA 4D	POV-Ray	BKI ENERGIEplaner
DDS-CAD*	RenderMan	eQUEST
Digital Project	RenderWorks	Green Building Studio
form•Z	RenderZone	IDA ICE
Google SketchUp	V-Ray	IES VE
Houdini	YafaRay	LESOSAI
IntelliPlus Architecturals		Polysun
Lightworks		PVsyst
Maya		PV*SOL
MicroStation*		Radiance
Revit Architecture*		RETScreen
Rhinoceros 3D		T*Sol
SolidWorks		VisualDOE
Spirit		
Vectorworks*		
3ds Max		

*application BIM

¹⁴ Il est à noter que cet inventaire touche les logiciels disponibles sur le marché pour la période comprise entre juin 2009 et juillet 2010. Cette période correspond au début de cette recherche, jusqu'à la date de tombée pour la publication de l'article présenté dans le cadre de l'*International Eurosun Conference* et présenté au chapitre 5.

La liste des logiciels répertoriés a été approuvée par le groupe d'architectes, ingénieurs, consultants et chercheurs participants à la sous-tâche B privée de la Tâche 41 de l'IEA. Ce groupe comprend, entre autres, des architectes en pratique dans des bureaux européens [White architects (Suède), Context AS (Norvège), DARK Arkitekter AS (Norvège), etc.], des consultants de l'industrie du bâtiment [Esbensen consulting engineers (Danemark), IBUS Architekten und Ingenieure GbR (Allemagne)], des chercheurs [Fraunhofer Institut für Solare Energiesysteme (Allemagne), des membres de l'Agence autrichienne pour l'énergie (Autriche), etc.] et des professeurs d'université [Université des Sciences Appliquées et des Arts de Lucerne (Suisse), NTNU (Norvège), École d'Architecture de l'Université Laval (Canada) et de l'Université Ryerson (Canada), Université de Lund (Suède), etc.]. L'inventaire a aussi reçu l'appui de quelques développeurs de logiciels [Vela Solaris (Suisse), Data Design System (Allemagne), e4tech (Suisse), etc.]

4.2.1 La cueillette des données et présentation de l'inventaire

Une fois la sélection préliminaire des logiciels réalisée, la première étape consista à construire une base de données contenant des informations retrouvées, entre autres, sur les sites internet officiels de chaque logiciel. Cette tâche a été réalisée au cours de l'été 2009. Lorsque nécessaire, pour certains logiciels, la base de données a été bonifiée par la consultation d'articles scientifiques. Par la suite, ces informations ont été colligées en de courts textes décrivant chaque outil informatique. Chaque texte descriptif a été rédigé en anglais pour les besoins de la Tâche 41 de l'IEA et comprend les informations suivantes :

- nom du logiciel, concepteur, site internet officiel, personne-contact, dernière version, coût (*Name, supplier, site, contact, last version, cost*);
- principales fonctionnalités (*Functions*);
- principaux utilisateurs et phase de conception visée (*Design Stage, users*);
- capacité de modélisation 3D (*3D modeling capability*);
- capacité de rendu (*Rendering capability*);
- système de coordonnées (type du système de coordonnées utilisé par le logiciel) (*Coordinates*);
- formats compatibles pour l'importation et l'exportation de données (*Import/Export*);
- logiciels complémentaires (*Predecessor software, successor software*);

- compatibilité avec le modèle BIM (si le logiciel supporte le format de fichier IFC (*BIM*));
- capacité de calculs solaires (*Actual solar calculation*).

4.2.2 L'analyse des logiciels

L'analyse comprise dans ces textes descriptifs est fondée sur des critères spécifiques d'évaluation. Des études sur l'utilisation de logiciels en architecture ainsi que la nombreuse documentation consultée pour décrire la profession d'architecte et la pratique de l'architecture solaire ont aussi permis d'établir un ensemble de critères pour évaluer la capacité d'un logiciel à « assister » le processus de conception solaire et ce, dès les premières phases de la conception. Ces critères d'évaluation ont été identifiés à partir de trois aspects de l'architecture solaire, soit le solaire passif, l'utilisation de la lumière naturelle et le solaire actif, et de trois facteurs d'utilisation d'un outil numérique soit : l'adaptabilité, la facilité d'utilisation et l'interopérabilité du logiciel.

Les caractéristiques recherchées ainsi que les critères d'évaluation s'appuient sur des concepts théoriques et des études antérieures. Ainsi, afin d'être adapté aux méthodes de travail des architectes, un logiciel doit soutenir un travail itératif dans un environnement graphique. De plus, la littérature précise qu'une interface intuitive est mieux adaptée aux architectes (Attia et al., 2009; Christakou et Amorium, 2005; Lam et al., 2004a; Maassen et al., 2003; Mahdavi et al., 2003; Prazeres et Hand, 2009; Şenyapılı et Bozdağ, 2011; Weytjens et Verbeeck, 2010). Il est aussi préférable que le concepteur puisse être en mesure de comparer plusieurs options architecturales (Attia et al., 2009; Charles et Thomas, 2009; Donn, 1999; Maassen et al., 2003; Reinhart et Fitz, 2006; Utzinger et Bradley, 2009).

Dans un deuxième temps, sachant que l'architecte détermine les paramètres généraux du projet, tel que la volumétrie, l'orientation et la distribution des espaces dans les premières étapes de conception, un outil facile d'utilisation et permettant des représentation floues ou plus abstraites doit être privilégié (Crawley et al., 2008). De plus, la littérature suggère qu'une interface simplifiée est préférable pour la réalisation de simulations préliminaires au début de la conception (Bambardekar et Poerschke, 2009; Lam et al., 2004a).

Troisièmement, puisque l'échange de données favorise le partage des idées et leur développement à l'intérieur des équipes de conception et ce tout au long du processus de

conception (Şenyapılı et Bozdağ, 2011), l'interopérabilité des logiciels doit être prise en compte. En plus de la capacité à lire les formats standards de l'industrie (Rivard, 2000), deux types d'interopérabilité sont recherchés :

1. l'interopérabilité autorisant l'utilisation de plusieurs logiciels par un même utilisateur (Bazjanac, 2003; Lam et al., 2004a; Maassen et al., 2003; Moum, 2010);
2. l'échange de données permettant une meilleure collaboration entre les différents intervenants.

Afin d'évaluer la capacité des logiciels inventoriés à soutenir la conception solaire tout au long du processus de conception, une certaine fusion entre les logiciels de conception et de simulation peut être désirable (Christakou et Amorium, 2005; Mahdavi et al., 2003). De manière générale, cette connexion entre ces deux types de logiciels sera traduite par la disponibilité de plugiciels¹⁵ (plugin). En ce qui concerne la conception solaire passive, l'évaluation a porté sur la capacité des logiciels à estimer les gains solaires en fonction de la volumétrie et de l'orientation du bâtiment, des ouvertures et du choix des matériaux. Ce sont les facteurs les plus importants pour l'utilisation du solaire passif (Brown, 2001b; Hegger, 2003; Morrissey et al., 2011). Dans le cas de la lumière naturelle, la capacité à évaluer son utilisation de manière quantitative et qualitative est recherchée. L'aspect quantitatif est évalué par la capacité du logiciel à fournir et représenter des données faciles d'interprétation sur la quantité de lumière sur les différentes surfaces intérieures des édifices ou sur un plan de travail virtuel. Par ailleurs, si le calcul de la distribution de la lumière par le moteur de rendu est basé sur le comportement réel de celle-ci, les images produites peuvent permettre une évaluation qualitative de l'utilisation de la lumière naturelle par l'architecte. La capacité de modélisation est donc très importante, car la forme architecturale influence grandement la qualité de la lumière naturelle des espaces intérieurs (Guzowski, 2000). Le logiciel doit permettre de bien représenter les matériaux choisis, car le traitement des surfaces est aussi un facteur important (American Institute of Architects, 1982; Hasting et Wall, 2007a; Müller et Schuster, 2003). De plus, l'analyse de l'utilisation et de l'intégration architecturale des systèmes solaires actifs porte sur le dimensionnement et la visualisation de ces systèmes. Il est préférable que le logiciel accomplisse un dimensionnement préliminaire, voir approximatif, pouvant être utilisé dès

¹⁵ Un plugiciel est une application complémentaire possédant des fonctionnalités spécifiques et qui augmente les capacités du logiciel principal auquel il est associé.

le début du processus de conception. Finalement, l'intégration architecturale des composants solaires actifs est fortement liée à la composition visuelle de l'ensemble du bâtiment (Krippner, 2003). Il est donc primordial que le logiciel permette la visualisation et la modélisation 3D de ces composants. La capacité du logiciel à soutenir un travail multidisciplinaire est aussi à souligner, car il est reconnu que l'intégration architecturale des modules solaires actifs est le résultat d'un travail multidisciplinaire entre architectes et ingénieurs (Novitski, 2009).

Le tableau 4 présente les critères d'évaluation retenus pour chacune des caractéristiques recherchées et classées selon les sections des textes descriptifs qui sont analysées. Il est important de souligner que, bien que définis comme des éléments distincts, tous ces critères doivent être interdépendants les uns des autres dans une perception globale d'une architecture solaire de qualité. Par exemple, un logiciel offrant une estimation dynamique et automatique des gains solaires passifs en fonction des modifications apportées à la volumétrie du bâtiment est considéré comme mieux adapté au travail de l'architecte en phase esquisse qu'un logiciel qui ne permet pas ce type de fonctionnalité dynamique.

Tableau 4 : Grille des critères d'analyse et éléments d'évaluation des logiciels

caractéristiques recherchées	sections analysées	critères d'évaluation
adaptabilité	principales fonctionnalités	<ul style="list-style-type: none"> ▪ conception 2D ▪ conception 3D ▪ caractère intuitif ▪ interface graphique ▪ comparaison d'options conceptuelles ▪ retour en arrière (travail itératif)
	principaux utilisateurs et phase de conception visée	<ul style="list-style-type: none"> ▪ théoriquement conçu pour les architectes ▪ théoriquement conçu pour les dessinateurs ▪ théoriquement conçu pour les techniciens en architecture ▪ théoriquement conçu pour les designers
	capacité de modélisation 3D	<ul style="list-style-type: none"> ▪ conception 3D ▪ intuitif / facile ▪ retour en arrière (travail itératif)
Facilité d'utilisation	principales fonctionnalités	<ul style="list-style-type: none"> ▪ tâches associées à la phase esquisse (volumétrie, croquis, analyse de site, etc.) ▪ dimensionnement préliminaire ▪ interface simplifiée
	principaux utilisateurs et phase de conception visée	<ul style="list-style-type: none"> ▪ théoriquement conçu pour les premières étapes de conception
	logiciels complémentaires	<ul style="list-style-type: none"> ▪ position dans le processus de conception en fonction de la relation avec les autres logiciels compatibles.
interopérabilité	principales fonctionnalités	<ul style="list-style-type: none"> ▪ spécialisation du logiciel ▪ plugiciel
	principaux utilisateurs et phase de conception visée	<ul style="list-style-type: none"> ▪ théoriquement conçu pour plusieurs intervenants différents (par exemple architectes ET ingénieurs) ▪ théoriquement conçu pour soutenir tout le processus de conception
	formats compatibles pour l'importation et l'exportation de données	<ul style="list-style-type: none"> ▪ grande variété de formats compatibles ▪ importation/exportation de modèle 3D
	logiciels complémentaires	<ul style="list-style-type: none"> ▪ transfert de données entre CAAO et outils de simulation ▪ plugiciel
	compatibilité avec le processus BIM	<ul style="list-style-type: none"> ▪ compatibilité avec le format standard .ifc ▪ soutenir tout le processus de conception ▪ soutenir un travail multidisciplinaire
conception solaire passive et évaluation	principales fonctionnalités	<ul style="list-style-type: none"> ▪ estimation des gains solaires en fonction de la volumétrie, de l'orientation du bâtiment, de ses ouvertures et du choix des matériaux ▪ analyse de site
	principaux utilisateurs et phase de conception visée	<ul style="list-style-type: none"> ▪ théoriquement conçu pour les architectes ▪ théoriquement conçu pour les premières phases de conception
	capacité de modélisation 3D	<ul style="list-style-type: none"> ▪ conception 3D ▪ intuitif / facile ▪ retour en arrière (travail itératif)
	logiciels complémentaires	<ul style="list-style-type: none"> ▪ plugiciel ▪ lien avec CAAO
	capacité de calculs solaires	<ul style="list-style-type: none"> ▪ estimation des gains solaires passifs ▪ étude d'ombrage

Utilisation, optimisation et estimation de la lumière naturelle	principales fonctionnalités	<ul style="list-style-type: none"> évaluation quantitative de la distribution de la lumière naturelle dans les espaces intérieurs évaluation qualitative de la distribution de la lumière naturelle dans les espaces intérieurs
	principaux utilisateurs et phase de conception visée	<ul style="list-style-type: none"> théoriquement conçu pour les architectes
	capacité de modélisation 3D	<ul style="list-style-type: none"> conception 3D intuitif/facile qualité de représentation des matériaux (traitement des surfaces, réflexions, etc.)
	capacité de rendu	<ul style="list-style-type: none"> calcul de la distribution lumineuse basé sur le comportement réel de la lumière sélection de la position géographique (ville, latitude, nord) sélection du moment de l'année (date) sélection du moment de la journée (heure)
	formats compatibles pour l'importation et l'exportation de données	<ul style="list-style-type: none"> exportation d'images importation de géométrie 3D
	logiciels complémentaires	<ul style="list-style-type: none"> plugiciel lien avec CAO
	capacité de calculs solaires	<ul style="list-style-type: none"> évaluation quantitative de la distribution de la lumière naturelle dans les espaces intérieurs évaluation qualitative de la distribution de la lumière naturelle dans les espaces intérieurs études lumineuses journalières, saisonnières, annuelles relation avec les gains solaires passifs sélection des dispositifs d'ombrage
Utilisation et intégration architecturale des systèmes solaires actifs	principales fonctionnalités	<ul style="list-style-type: none"> intégration architecturale des systèmes actifs évaluation préliminaire des besoins
	principaux utilisateurs et phase de conception visée	<ul style="list-style-type: none"> théoriquement conçu pour les architectes théoriquement conçu pour les ingénieurs théoriquement conçu pour les premières phases de conception différentes interfaces (pré-dimensionnement)
	capacité de modélisation 3D	<ul style="list-style-type: none"> conception 3D intuitif/facile modules prédessinés
	formats compatibles pour l'importation et l'exportation de données	<ul style="list-style-type: none"> exportation d'images importation/exportation de géométrie 3D
	logiciels complémentaires	<ul style="list-style-type: none"> plugiciel lien avec CAO
	compatibilité avec le processus BIM	<ul style="list-style-type: none"> compatibilité avec le format standard .ifc soutenir tout le processus de conception soutenir un travail multidisciplinaire

4.3 Enquête en ligne

L'inventaire des outils numériques a été complété par une vaste enquête internationale en ligne réalisée dans le cadre de la Tâche 41 de l'IEA. Le rapport final de cette enquête (Horvat et al., 2011) présente en détail les différentes modalités méthodologiques relatives à cette enquête. Cette section présente une mise en contexte générale de l'enquête, son

élaboration réalisée en collaboration avec les experts internationaux ainsi que les caractéristiques de l'analyse complémentaire réalisée.

L'enquête internet était accessible dans 14 pays (Allemagne, Australie, Autriche, Belgique, Canada, Corée du Sud, Danemark, Espagne, France, Italie, Norvège, Portugal, Suède et Suisse) et a été traduite en dix langues. Les pays sélectionnés sont ceux représentés au sein du groupe de travail de la Tâche 41 de l'IEA. Le questionnaire a été initialement élaboré en anglais et des traductions en allemand, coréen, espagnol, français, italien, norvégien, portugais et suédois ont été réalisées par les experts impliqués dans la Tâche 41.

Le choix d'une enquête en ligne sur internet s'est appuyé sur différents facteurs. Dans un premier temps, l'enquête devait se dérouler simultanément dans plusieurs pays sur plusieurs continents et en plusieurs langues en plus d'être gérée et analysée principalement par une seule personne, auteure de ce mémoire. L'hébergement de l'enquête a été assuré par *Questionform*¹⁶. Cet hébergement permettait, avec un seul compte utilisateur, de créer l'enquête (dans ce cas-ci, en anglais), de l'optimiser visuellement et fonctionnellement, pour ensuite la copier et simplement remplacer le texte original par les traductions préalablement réalisées. L'enquête a pu ainsi facilement être distribuée partout dans le monde et à très faible coût (Reinhart et Fitz, 2006). De plus, ce type d'enquête offre l'avantage de recueillir automatiquement les résultats dans une base de données numérique centralisée (Pilgrim et al., 2003; Reinhart et Fitz, 2006).

Pour faciliter la gestion de l'enquête, en collaboration avec le groupe d'experts participant à la Tâche 41, il a été convenu que chaque pays impliqué se verrait attribuer un hyperlien distinct¹⁷. Cette méthode facilita la mise en ligne de l'enquête compte tenu des nombreuses langues utilisées. De plus, elle permet ultérieurement de regrouper les données recueillies par chaque pays participant pour la réalisation éventuelle d'analyses nationales.

¹⁶ Hébergement internet d'enquêtes sur <http://questionform.com/>

¹⁷ Il faut aussi prendre note que les pays multilingues, tels le Canada et la Suisse, comptent des liens distincts pour chacune des langues officielles. Les experts représentant la Belgique au sein de la Tâche 41 ont choisi de n'utiliser que le questionnaire en français.

4.3.1 Le questionnaire

La forme, la présentation et les questions de l'enquête en ligne ont été développées en collaboration avec les experts internationaux impliqués dans la Tâche 41 de l'IEA, principalement lors de rencontres biennuelles. Elles ont ensuite été complétées par des échanges de courriels. L'enquête compte 23 questions de trois catégories : sept questions à choix multiples et sélection unique, 12 questions à choix multiples et sélections multiples et quatre questions ouvertes. Puisque le questionnaire était mis en ligne sur internet et qu'il n'y avait pas de contact direct avec les répondants, les questions devaient être claires et explicites. Dans le cas des questions à choix multiples, il fallait, lors de l'élaboration du questionnaire, prédire un vaste éventail de réponses possibles. De plus, dans plusieurs cas, ces questions offraient la possibilité au répondant d'inscrire une autre réponse que celles figurant dans les choix fournis. Cette méthode permet de réduire considérablement les abandons liés à la frustration du répondant si sa réponse personnelle ne figure pas parmi les choix proposés (Reinhart et Fitz, 2006).

Le questionnaire était structuré en quatre thèmes : général (*Solar energy in general*), méthodes de conception (*The design methods*), outils pour la conception solaire (*Tools for solar design*), et questions informatives et démographiques (*informative and personal factual questions*). Le questionnaire complet en version française est présenté à l'annexe B. La version anglophone du questionnaire, tel qu'apparaissant à l'écran pour les répondants, est disponible à l'annexe C. Le tableau suivant présente la distribution des questions selon les thèmes abordés et les catégories de questions.

Tableau 5 : Distribution des questions par thème et catégorie.

	Choix multiple/sélection unique	Choix multiple/sélection multiple	Questions ouvertes	Total
Général	1	1	0	2
Méthodes de conception	2	3	0	5
Outils pour la conception solaire	0	6	1	7
Questions informatives et démographiques	4	2	3	9
Total	7	12	4	23

4.3.2 Les méthodes de recrutement des répondants

L'enquête a été lancée sur internet par les coordonnateurs nationaux de la Tâche 41 de l'IEA. La collecte des données, pour tous les pays impliqués sauf l'Australie, s'est déroulée du 3 mai 2010 au 22 octobre 2010. Considérant que l'Australie a officiellement rejoint l'équipe de la Tâche 41 seulement au cours du mois de septembre 2010, leur période de collecte de données s'est prolongée jusqu'à la fin du mois de novembre 2010.

L'enquête visait à rejoindre le plus vaste échantillon possible de professionnels engagés dans la conception de bâtiments, mais avec un intérêt particulier pour les architectes. Chacun des coordonnateurs nationaux impliqués dans la Tâche 41 de l'IEA était responsable de construire une banque de courriels de contacts pour son pays et de diffuser le lien vers le questionnaire. Les différentes banques de contacts pouvaient autant contenir des courriels de professionnels praticiens, que d'organismes ou entreprises pouvant à leur tour redistribuer l'enquête. Dans tous les cas, le lien était inclus dans un message de recrutement présentant brièvement le projet de recherche ainsi que l'enquête. La première page de l'enquête reprenait généralement les mêmes informations que dans la lettre de recrutement, mais était personnalisée pour chacun des pays avec les noms et coordonnées des coordonnateurs nationaux. Un formulaire de consentement, approuvé par le Comité d'éthique de la recherche avec des êtres humains de l'Université Laval (CÉRUL)¹⁸, était aussi présenté aux participants canadiens avant qu'ils puissent accéder au questionnaire.

Un recrutement direct et indirect a été réalisé pour cette recherche. En raison de diverses circonstances, chaque coordonnateur a utilisé une approche différente pour rejoindre l'échantillon visé. Dans certains cas, comme le Canada, une base de données a été créée à partir des répertoires téléphoniques publics ainsi que des listes fournies par les différentes organisations professionnelles du secteur du bâtiment. Toutefois, la plupart des associations nationales d'architectes ont des règlements stricts assurant la confidentialité des coordonnées de leurs membres. Dans certains pays, les ordres professionnels ont publié le lien internet vers l'enquête sur leur site internet. Dans d'autres pays, le lancement de l'enquête a été publié dans les revues locales d'architecture, ou sur les sites de ces revues d'architecture ou encore dans des bulletins d'informations. Le mode de

¹⁸ Numéro d'approbation du projet de recherche : 2009-256/14-01-2010

recrutement favorisé pour chacun des pays impliqués est présenté en détail dans le rapport DB2 de la Tâche 41 (Horvat et al., 2011).

4.3.3 Les taux de réponse

Au total, 627 questionnaires ont été enregistrés par le serveur de *Questionform*. Le tableau 6 présente la distribution du nombre de questionnaires complétés et non complétés pour chacun des pays participants en relation avec le mode de recrutement des participants.

Tableau 6 : Distribution du nombre de questionnaires enregistrés par pays et leur taux de réponse respectif

Pays (ordre alphabétique)	Recr. direct	Recr. indirect	Questionnaires complétés	Questionnaires incomplets	Questionnaires rejetés (généralement vides)	Total	Taux de réponse indirect	Taux de réponse direct
Allemagne	776	s.o.	8	10	28	46	s.o.	2.3 %
Australie	0	~ 9000	78	6	49	133	0.9 %	s.o.
Autriche	180	90	17	1	13	31	20.0 %	10.0 %
Belgique	179	s.o.	16	5	9	30	s.o.	11.7 %
Canada	ANG		20	9	15	44		
	FR		11	3	13	27		
	total	1050	n/a	31	12	28	71	s.o.
Corée du Sud	286	n/a	33	3	34	60	s.o.	26.0 %
Danemark	265	s.o.	2	0	2	4	s.o.	0.8 %
Espagne	s.o.	s.o.	7	4	8	19	s.o.	s.o.
France	0	~ 29000	8	0	1	9	0.03 %	s.o.
Italie	100	~ 60000	13	13	34	60	0.04 %	26.0 %
Norvège	244	inconnu	10	12	17	39	s.o.	9.0 %
Portugal	59	s.o.	6	0	19	25	s.o.	10.2 %
Suède	1775	~ 7000	27	11	25	63	0.5 %	2.1 %
Suisse	ALL		7	4	8	19		
	FR		1	0	1	2		
	IT		8	0	9	17		
	total	920	n/a	16	1	27	44	s.o.
Total	5834		272	78	277	627	0.5 %	5.9 %

Sur la base des données présentées du tableau 6, il est possible d'affirmer que le lien vers l'enquête a été envoyé directement à plus de 5 834 professionnels du secteur du bâtiment. De plus, il est possible d'estimer qu'environ 105 000 professionnels ont pu être recrutés indirectement par l'intermédiaire d'annonces sur des sites ou bulletins électroniques. Sur les 627 questionnaires enregistrés, seulement 350 (272+78) ont été analysés, 277 ont été rejetés parce que globalement incomplets. Enfin, 78 des questionnaires incomplets ont été pris en compte dans l'analyse, car ces derniers présentaient des réponses pour la grande majorité des questions.

Il est difficile d'estimer le taux de réponse avec précision, car il est pratiquement impossible de savoir à quel type de recrutement les répondants ont réagi puisqu'il n'y avait

pas de questions à cet effet dans le questionnaire. Le tableau 6 montre également que le taux de réponse varie grandement selon le pays. Les principales explications retenues sont que l'efficacité de la méthode de recrutement favorisée et l'intérêt général pour l'architecture solaire étaient plus importants dans certains pays. Cependant, une estimation du taux de réponse peut être effectuée en regroupant tous les questionnaires valides (350) et en supposant que tous les participants concernés ont été recrutés par contact direct (ce qui semble le plus probable). Ainsi calculé, le taux de réponse estimé sur le plan international est de 5,9 %, ce qui paraît acceptable pour ce type d'enquête.

4.3.4 L'analyse des résultats de l'enquête internet

L'analyse réalisée dans le cadre de ce mémoire vise à évaluer le portrait des professionnels ayant répondu à l'enquête et à avancer une interprétation des données recueillies en relation avec les constatations résultant des trois premiers chapitres. Cette discussion des résultats se veut un regard complémentaire sur le portrait descriptif réalisé dans le cadre des travaux de la sous-tâche B.

Pour atteindre ces objectifs, l'analyse a été divisée en trois sections. Chacune des sections présente les résultats recueillis pour un ensemble de questions permettant de répondre à des sous-objectifs spécifiques, donnés au tableau 7. Le tableau 7 présente les trois sections de l'analyse complémentaire réalisée dans le cadre de cette recherche, les sous-objectifs poursuivis et les questions touchées par chacune des sections.

Tableau 7 : Grille d'analyse complémentaire de l'enquête internet.

Thème d'analyse	Sous-objectifs	Questions
Portrait des répondants	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Établir le profil démographique des répondants à l'enquête. ▪ Déterminer l'étendue de la pratique architecturale des répondants. 	14-15-18-19 à 22
Conception architecturale	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Établir le profil conceptuel des répondants (méthodes et outils). ▪ Évaluer le potentiel des répondants à réaliser une architecture solaire de qualité. 	4-8-9-16-17
Conception architecturale solaire	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Évaluer l'attitude des répondants en relation à l'architecture solaire. ▪ Évaluer le processus de conception architecturale solaire des répondants (méthodes et outils). ▪ Évaluer l'état de l'architecture solaire dans les pays participants à l'étude. ▪ Prendre connaissance des obstacles rencontrés par les répondants lors de leur pratique architecturale solaire. ▪ Prendre connaissance des besoins des répondants pour améliorer leur pratique architecturale solaire. 	1-2-3-5-6-7-10-11-12-13

Différentes stratégies d'analyse sont proposées pour la poursuite de ces objectifs. La première stratégie consiste à faire des liens entre les résultats des différentes questions, de manière à évaluer leur cohérence et leur constance tout au long du questionnaire. La comparaison des données entre les différentes questions permet aussi de valider les résultats et conclusions qui en sont tirées.

La deuxième stratégie repose sur toutes les connaissances acquises dans le cadre de ce mémoire de recherche, autant au niveau de la profession d'architecte que de l'architecture solaire. Ces notions fondamentales forment le cadre théorique qui servira à mieux comprendre la portée des données recueillies par l'enquête. De plus, les résultats de l'enquête sont comparés avec ceux des études similaires et recensées au chapitre 3.

La troisième stratégie d'analyse consiste à utiliser les données de la première partie de la recherche. En effet, considérant que plusieurs questions sont en relation avec les outils de conception, la discussion peut bénéficier de l'intégration des éléments relevés par l'inventaire sur les outils numériques comme, par exemple, leur capacité à soutenir la conception solaire ou alors la réalisation de tâches lors des premières phases de la conception. De plus, l'analyse des résultats de l'enquête permettra aussi de valider les conclusions de la première partie de la recherche.

4.3.5 Les limites et biais possibles

Finalement, il est important de souligner qu'il y a un risque important que les répondants soient ceux déjà intéressés par l'architecture solaire et qu'ils possèdent une certaine expérience dans ce domaine. En effet, le message de recrutement ainsi que la page d'introduction de l'enquête stipulaient clairement que le solaire était le sujet de l'enquête. Par ailleurs, on peut avancer que le faible taux de réponses à l'enquête peut suggérer généralement que les professionnels du secteur du bâtiment, dont les architectes, n'ont peut-être pas un intérêt marqué pour l'architecture solaire, ou qu'ils n'ont simplement pas eu le temps pour participer. Ces dernières constatations mettent aussi en lumière certains obstacles pour le développement futur d'une architecture solaire de qualité.

5 Résultats : High Quality Solar Architecture: Do Architects Have Tools Supporting Early Design Phase Decisions?¹⁹

5.1 Résumé

Cet article présente les résultats d'une revue inventoriant 56 outils numériques (logiciels de CAAO, de visualisation et de simulation) actuellement utilisés par les architectes pendant les premières phases de la conception et au cours des phases subséquentes. Ce travail a été réalisé dans le cadre de la Sous-tâche B de la Tâche 41 : *Énergie solaire et architecture* de l'Agence internationale de l'énergie (IEA). Les résultats de cet inventaire descriptif révèlent, entre autres, les limites des outils solaires pour assister les premières phases de la conception, la sur-spécialisation systémique des logiciels disponibles, l'absence de résultats numériques donnés en rétroaction et facilement interprétables pour appuyer la prise de décision au cours des premières étapes de conception, le manque d'informations données sur les calculs du comportement de la lumière lors de la génération des images de synthèse, et les limites des outils de visualisation représentant l'intégration architecturale (esthétique) des systèmes solaires actifs.

5.2 Abstract

This paper presents the results of a "State-of-the-art" review of 56 computer tools (CAAD, visualisation and simulation software) that architects currently use at early design phase (EDP) or other phases of building projects. This work was carried out as part of Subtask B of the International Energy Agency (IEA) Task 41: Solar Energy and Architecture. The results reveal a lack of advanced solar tools for EDP work, systemic specialization of available software, a lack of clear numerical feedback yielding informed decisions at EDP, a lack of clear information about physically-based rendering, and a lack of tools for architectural integration of active solar systems.

¹⁹ Article présenté dans le cadre de l'*International Eurosun Conference* qui a eu lieu du 28 septembre au 1^{er} octobre 2010 à Graz en Autriche.

Auteurs : Shirley Gagnon (a)*, Marie-Claude Dubois (a) and Miljana Horvat (b)

(a) École d'architecture, Université Laval, 1 Côte de la Fabrique, Québec, QC, G1R 3V6, Canada

(b) Dept. of Architectural Science, Ryerson University, 350 Victoria St., Toronto, ON, M5B 2K3, Canada

* Corresponding Author : shirley.gagnon.1@ulaval.ca

5.3 Introduction

The amount of solar energy reaching the surface of the Earth is so vast that in one year, it is about twice as much as will ever be obtained from all of the Earth's non-renewable resources of coal, oil, natural gas, and mined uranium combined [1]. In spite of this fact, a large portion of the potential to utilize solar energy still remains unused [2]. According to the International Energy Agency [3], this is caused by the following : 1) economical factors, 2) lack of technical knowledge, 3) reluctance to use “new” technologies, and 4) architectural (aesthetic) factors.

The integration of solar energy systems and technologies in existing and new buildings will be greatly facilitated in the future if architects are informed, aware and engaged in the development of solar energy in buildings. Architects should also be aware of the potential, limitations and characteristics of solar energy through the use of passive and active approaches. The goal of high quality solar architecture is to achieve a good balance of passive and active solar utilisation on the building envelope, including daylight optimisation in order to reduce electricity use for electric lights.

5.3.1 Early Design Phase (EDP)

Architects have a significant role to play in the development of solar energy systems and technologies in buildings because EDP decisions (building orientation, shape, openings, etc.) are primarily the responsibility of the architect. These decisions made during the first few weeks of design have an enormous impact on the durability, performance, energy consumption and the lifecycle cost of building projects [4, 5]. Approximately 80% of the design decisions that influence a building's energy performance are made by the architect in the EDP. It is also crucial for the architect to feel s/he has a “free” hand during the design process, i.e. to have the capacity to easily modify a building's overall volume, geometry, orientation, etc. The changes made on these parameters should be connected to a direct, explicit feedback about passive solar gains, daylight utilization and active solar systems' performance. Methods and tools used at EDP should support key energy related decisions and allow further development of the project at the detailed design phase.

5.4 IEA Task 41: Solar Energy and Architecture – Subtask B: Methods and Tools for Solar Design

This review was carried out within the context of Subtask B of the International Energy Agency (IEA) Task 41: Solar Energy and Architecture. The ultimate goal of Task 41 is to support the development of high quality solar architecture, with focus on the architectural profession, as a key factor in the future evolution and implementation of solar energy systems in existing as well as new buildings [6].

To achieve these goals, the work plan of Task 41 is organised according to three main subtasks:

Subtask A: Architectural quality criteria; guidelines for architects and product developers by technology and application for new product development.

Subtask B: Guidelines for the development of methods and tools for solar architecture focusing on EDP and tools for the evaluation of integration quality of various solar technologies.

Subtask C: Integration concepts and examples, and derived guidelines for architects.

Subtask B pursues the goal of examining methods and tools used by architects at EDP in order to: 1) identify obstacles preventing architects from using existing methods and tools for solar building design; 2) identify important needs for new or adapted methods and tools to support architectural design and integration of solar components at EDP; 3) provide clear guidelines for developers of digital tools, with focus on EDP.

5.5 Methods

To reach the goals set, Subtask B of the IEA Task 41 uses two main paths: 1) an exhaustive review (State-of-the-art) of existing methods and tools used by architects is carried out; 2) an international web-based survey is sent to building practitioners in 13²⁰ countries.

²⁰ Au moment de la réalisation de l'inventaire des outils et de la rédaction de cet article, l'Australie n'était pas encore impliqué dans la Tâche 41 de l'IEA.

5.5.1 Objectives and scope of the State-of-the-art review

This paper presents the results of the “State-of-the-art” review of existing computer tools that architects currently use at EDP or other phases of building projects. The aim of this State-of-the-art is to analyse the current software landscape for EDP of building projects, to identify missing software tools and/or missing functionalities required for supporting solar design and the integration of solar systems and technologies.

5.5.2 Method of State-of-the-art

This review focuses on computer tools rather than analytical or graphical tools. The review covers a total of 56 software classified according to three categories: 23 computer-aided architectural design (CAAD) tools, 13 visualization tools and 20 simulation tools. CAAD software include BIM applications, which are, according to the American Institute of Architects, a model-based technology linked to a database of project information [7]. The tools included in the review are listed below:

CAAD tools: Allplan, ArchiCAD, AutoCAD, Blender, Bricscad, Caddie, CATIA, CINEMA 4D, DDS-CAD, Digital Project, form•Z, Google SketchUp, Houdini, IntelliPlus Architecturals, Lightworks, Maya, MicroStation, Revit Architecture, Rhinoceros 3D, SolidWorks, Spirit, Vectorworks, 3ds Max.

Visualization tools: Artlantis, Flamingo, Kerkythea, LightWave, LuxRender, Maxwell Render, Mental Ray, POV-Ray, RenderMan, RenderWorks, RenderZone, V-Ray and YafaRay.

Simulation tools: bSol, DAYSIM, DesignBuilder, Design Performance Viewer (DPV), Ecotect, Energy Design Guide II (EDG II), EliteCAD, BKI ENERGIEplaner, eQUEST, Green Building Studio, IDA ICE, IES VE, LESOSAI, Polysun, PVsyst, PV*SOL, Radiance, RETScreen, T*Sol and VisualDOE.

The programs reviewed were selected by the group of architects – practitioners active in European offices, engineers, consultants, researchers and university professors involved in IEA Task 41. The review has also benefited from the assistance of a few software developers.

Information collected from literature, scientific and professional publications and official software websites was translated into short structured texts describing each program with key features and information regarding the following items:

- Name, supplier, site, contact, last version, cost;
- Functions;
- Design Stage, users;
- 3D modeling capability;
- Rendering capability (relevant to daylighting estimation - physically based or not);
- Import/Export (in order to evaluate the interoperability of the software);
- Coordinates (what type (if any) coordinate system the software uses).
- Predecessor software, successor software (in complement to the Import/Export section (and often based on its results);
- BIM (if the software supports the .ifc file format and is, therefore compatible with BIM applications);
- Actual solar calculation (methods of calculations of passive solar gains, daylight utilization and sizing of active solar systems like PV (photovoltaic) and ST (solar thermal)).

5.6 Results of the State-of-the-art

This section presents an overview of findings of Report DB.1 State-of-the-art of digital tools used by architects for solar design [8]. Detailed descriptions of all reviewed software can be found in the report.

5.6.1 CAAD tools

5.6.1.1 Overview of available CAAD software for the prediction of passive solar gains

There are many CAAD software today which include some form of connection to an energy simulation program (e.g. Green Building Studio, Ecotect, EnergyPlus, and IES VE), thereby allowing passive solar gains predictions. Amongst the CAAD tools reviewed, the following BIM applications offer the most interesting possibilities for energy simulations including passive solar gains predictions: Allplan, ArchiCAD, DDS-CAD Building, MicroStation, Revit and Vectorworks. Google SketchUp, which is not a BIM application,

also integrates many plugins: IES VE-Ware, OpenStudio, and Google SketchUp Demeter, which allow performing thermal simulations based on IES VE, EnergyPlus and Green Building Studio respectively. Google SketchUp is widely recognized for being used at EDP and is often used in the architect's workflow as a predecessor software to another more complex BIM or non-BIM application (e.g. AutoCAD).

None of the other CAAD software examined in this review, including AutoCAD, which is certainly one of the most widely used software in the world, do not directly support the calculation of passive solar gains, either at EDP or at detailed design phase. However, AutoCAD models (.dwg) can be exported to Ecotect or to other simulation software since the .dwg format is a widely accepted file format. A plugin called EnergyPlugged is also available in beta version for running EnergyPlus from AutoCAD.

Apart from perhaps ArchiCAD and Google SketchUp, which are convivial for EDP work, all the programs reviewed are more suited for detailed design than EDP. This review also outlines the fact that a direct explicit feedback about passive solar gains (linked to changes made on architectural parameters) is still lacking in most CAAD programs but that the recent advances in this field in CAAD-BIM applications are promising.

5.6.1.2 Overview of available CAAD software for estimation of daylighting and daylight utilization

This review also indicated that most CAAD software include some features for the prediction or visualization of daylighting. Amongst the CAAD tools, the BIM applications offer many possibilities for daylight analyses. For example, MicroStation via the Bentley Hevacomp and Bentley Tas simulator make it possible to perform daylight analyses; Revit performs daylighting analyses using the IES VE-Ware plugin (which uses Radiance) and Revit is also compatible with Ecotect; Vectorworks is interoperable with IES VE and Ecotect, etc.

Moreover, most of the non-BIM CAAD software reviewed also allow some form of daylight analysis and/or visualization. For example, AutoCAD creates .dwg files which can be read by most lighting and simulation software e.g. Ecotect, Radiance, etc.; Blender allows adding a plugin called b/rad, which is a Blender-based user interface for Radiance; 3ds Max Design 2010 features the Exposure technology to conduct validation studies based

on the Radiance engine; Google SketchUp performs daylighting analyses using the IES VE-Ware or OpenStudio plugin, etc.

Many CAAD software do not provide quantitative daylighting calculations, but perform rendering based on the real behaviour of light. These software (ArchiCAD (VBE), AutoCAD, Blender, Caddie Vio (Lightworks), CINEMA 4D, Digital Project, form•Z (RenderZone), Houdini, Lightworks, Maya (Mental Ray), Rhinoceros 3D (Flamingo, Penguin), Vectorworks (RenderWorks), and 3ds Max) may be used to generate a qualitative, physically-based evaluation of daylighting in a project. However, the estimation of real daylight utilization (energy savings by replacement of electric light by daylight) is not explicit with most CAAD programs reviewed. All software which perform physically-based rendering also include the global illumination algorithm in rendering options that allows performing more realistic lighting results. Note that in most cases, 3D rendering does not support EDP design decisions because it requires a completed model of the building with detailed optical properties.

5.6.1.3 Overview of available CAAD software for sizing PV and ST systems

Amongst the CAAD tools reviewed, Allplan and DDS-CAD are explicitly developed for sizing photovoltaics (PV) and/or solar thermal (ST) systems. Also, since EnergyPlus allows the simulation of active solar components for sizing PV and ST systems, all CAAD programs that are linked with EnergyPlus allow active solar systems calculation, such as ArchiCAD, DesignBuilder, Google SketchUp (OpenStudio plugin), Microstation (via Hevacomp, an interface to EnergyPlus). Note that Energyplus includes a detailed PV and Solar collector library. EnergyPlus also features on-site PV inverter and storage systems in addition to ST hot water systems.

Note that, apart from Google SketchUp, which is often used at EDP, all the CAAD tools listed above are more suited for detailed design than EDP. Even the Google SketchUp active solar calculation environment is used more as a post-design rather than a design tool since the calculations are performed within OpenStudio (EnergyPlus interface).

5.6.2 Visualization tools

This review outlines the fact that none of the visualization tools reviewed include solar calculations in terms of passive solar gains prediction or design of active solar systems.

Most tools reviewed are focused only on visualization of electric light and/or daylight effects, which was an expected result.

5.6.2.1 Overview of available visualization software for estimation of daylighting and daylight utilization

Since the main goal of visualisation software is to provide visualization for light-matter interactions, most of the applications reviewed include advanced or very advanced algorithms for the simulation of light. However, it is not always clear whether the calculations are “cosmetic” or governed by the natural laws of illumination. Only one program (LuxRender) explicitly allows choosing between biased (speed) and unbiased (physically-based) rendering. In many software (Flamingo, Kerkythea, LuxRender, Maxwell Render, RenderZone, V-Ray, YafaRay), the approach to rendering is based on the physical laws of illumination.

Generally, the visualization software do not provide technical solar calculations but most of these programs can be used to study direct and/or diffuse light penetration patterns and shading effects on building facades and inside buildings, at one specific moment or for a sequence in time. Few visualization programs provide numerical output of light intensity results; the focus is clearly on visualization rather than numerical analysis. In most cases, 3D rendering does not support EDP design decisions; rendering is thought of as a post-design rather than a design tool. A few visualization software (LightWave, LuxRender) include detailed algorithms for the simulation of electric lighting effects by using .ies lighting files. Finally, only LuxRender uses full spectral colors, instead of limited color channels (e.g. RGB i.e. red, green, blue), for the prediction of emitted and reflected surface colors which is a promising development for future study of special coating and/or glazing materials widely used in solar architecture.

5.6.2.2 Overview of available visualization software for the visualization of active solar components

Finally, the review indicates that none of the visualization tools reviewed explicitly supports the design of PV and/or ST systems. This is certainly an area which needs much development in the future. However, a company called ISAAC recently developed a parametric and customizable 3D CAD object to facilitate and stimulate the use of BiPV (building integrated photovoltaic) systems by architects and designers and to improve the

architectural quality of BiPV systems. The CAD object, which is still a prototype, can be used with both ArchiCAD and AutoCAD, two widely used modeling tools compatible with most of the visualization tools mentioned in this review.

5.6.3 Simulation tools

5.6.3.1 Overview of available simulation software for the prediction of passive solar gains

This review indicates that there are many simulation software which can be used for the prediction of passive solar gains. In most cases, the estimation of passive solar gains is considered in the calculation of the whole-building thermal balance calculation. Simulation applications which include passive solar gains calculation are: bSol, DesignBuilder, DPV (Design Performance Viewer), Ecotect, EDG II, BKI ENERGIEplaner, eQUEST, IDA ICE, IES VE, LESOSAI, VisualDOE.

bSol, EDG II and LESOSAI do not support a 3D environment and thus offer limited potential for the development of architectural design aspects. A higher understanding of the building is required for these software, because the user has to describe the architectural parameters (shape, orientation, opening, etc.) in terms of data-entry and numerical input. However, LESOSAI 7.0 will have a wizard 3D in September 2010 and allow import of 3D Google SketchUp before the end of 2010.

Among the other software listed above, DPV is probably the most suited for EDP because it is imbedded in the BIM-application Revit. Moreover, note that VisualDOE may also be used at EDP.

5.6.3.2 Overview of available simulation software for estimation of daylight utilization

Although there are many software used for the estimation of daylighting and daylight availability, only a few are really designed for the estimation of daylight which will replace electric lights and provide energy savings. The simulation software with the most interesting physically-based numerical daylight calculations are: DAYSIM, DesignBuilder, Ecotect, eQUEST, IDA ICE, IES VE and Radiance.

Radiance is probably the most accurate and validated light/daylight simulation engine and it is used by many other software: DAYSIM, IES VE, 3ds Max, Blender via b/rad, etc. However, Radiance is not suitable for EDP, when much information about the building is missing. DesignBuilder, Ecotect and IES VE are probably more suitable for EDP work on daylighting aspects.

5.6.3.3 Overview of available simulation software for sizing PV and ST systems

The simulation software with the most interesting active solar systems' features are Ecotect, BKI ENERGIEplaner, eQUEST, IDA ICE, LESOSAI, Polysun, PV*SOL, PVsyst, T*Sol, and VisualDOE. Note that two of them, BKI ENERGIEplaner and LESOSAI, support active solar systems predictions based on the Polysun technology.

Note that PV*SOL, and T*Sol do not support a 3D environment and thus offer limited interest for architects. Since the user has to describe the configuration of the building in terms of data-entry and numerical input, a higher understanding of the building is required for these software.

Among the software listed above, Polysun may be used at EDP for the prediction of systems profit ratio, PVsyst offers a preliminary design level, and T*Sol can be used at any stage. All other applications are more suited for detailed design than EDP. Additionally, the review indicates that simulation software are not really suitable for the architectural integration (development of architectural design) of solar active systems because visualization and 3D environment are not sufficiently developed, even if they provide an EDP design level (e.g. PVsyst).

5.7 Conclusion

As part of the work achieved within IEA Task 41 Solar Energy and Architecture, Subtask B on Methods and Tools for Solar Design, this paper presented a review of computer tools widely used by architects today. The review covered a total of 56 programs in three categories: CAAD, visualization and simulation software. The main conclusions from this review are stated below:

- **Lack of advanced solar tools supporting EDP work.** Few software allow evaluating EDP decisions in relation to solar aspects. EDP is a highly intuitive, iterative process, which requires changes on the building overall volume, geometry,

orientation, etc. An appropriate EDP tool should allow changes on these parameters with a mouse click and the architect should have direct, explicit feedbacks related to solar aspects including passive solar gains, daylight utilization and active solar systems performance. Since, in theory, BIM-applications are created to support the whole design process, they offer the greatest potential to optimize the utilization of passive and active systems, as well as their architectural integration. However, BIM-software are not actually suited for EDP work. Google SketchUp probably offers the greatest potential as a tool for EDP and the recent energy plugins created for Google SketchUp are promising advances in this field.

- **Systemic specialization of available software.** Many software are specialized in one type of system (for example PV or ST). Since the goal of high quality solar architecture is to achieve a good balance of passive and active solar utilization (including daylight utilization) by an adequate design of the building envelope, this is a major hinder.
- **Lack of clear numerical feedback yielding informed decisions.** Solar functions are popular features in software. Generally, this feature investigates and shows the impact of sunlight and shadows on the project. However, an iterative, numeric, and direct feedback showing quantities of solar energy incident on the building is rarely available. Also, most programs only show solar radiation incident on the building rather than solar gains through windows or the amount of natural light usable inside the building.
- **Lack of clear indication about physically based models in rendering options.** In many CAAD and visualisation software, rendering is based on “cosmetic” algorithms rather than physical laws. This may not only yield errors in interpretation from the part of the architect, it does not support development of real solar design as part of an integrated design process. The programs should at least state clearly whether the algorithms are based on physical laws of illumination or not.
- **Lack of CAAD tools supporting architectural integration and sizing of active solar systems.** Active solar systems sizing is mostly supported by specialized simulation software, which generally offer simplistic and limited 3D interface. To achieve an architectural integration of PV or ST to the building envelope, architects need to “see” and customize the active solar components directly in their building model. However, the 3D CAD PV object developed by ISAAC is really promising although its utilisation is currently limited to ArchiCAD and AutoCAD.

Generally, this review indicates that architects do not yet have the tools for feeding an iterative design process including solar aspects with correct figures and prediction algorithms including all aspects of solar energy i.e. passive solar gains, daylight utilisation and energy production through active solar systems. However, the review also outlines that the recent developments in building information models (BIM) have permitted to come closer to this goal and many architectural design software available today actually include some form of energy evaluations, which was unthinkable only ten years ago.

5.8 Limitations and wild cards

The review covers a large number of tools widely known and used by the architectural community. However, a comprehensive review of all available tools in the world is nearly impossible due to the amount of information which must be collected. This review is thus wide but still incomplete.

Most of the information provided in the report has been retrieved from the official websites of each software provider. This information tends to be tendentious and ameliorates the performance, user-friendliness, compatibility or scope of application of the tools that each provider presents. However, information has often been tempered by the knowledge and experience of authors. A further step in the present work could be to test the programs using a reference model and/or ask users if they agree with the facts presented in this report.

5.9 Acknowledgements

The authors acknowledge the contributions of Jochen Authenrieth, Pierre Côté, Doris Ehrbar, Erik Eriksson, Flavio Foradini, Francesco Frontini, John Grunewald, Rolf Hagen, Tobias Koenig, Margarethe Korolkow, Annie Malouin-Bouchard, Catherine Massart, Laura Maturi, Kim Nagel, Andreas Obermüller, Élodie Simard, Andreas Witzig, Isa Zanetti and Maria Wall on report DB1. The authors thank the following agencies for funding IEA Task 41: Natural Resources Canada, Université Laval (Faculté d'aménagement, architecture et des arts visuels), Ryerson University (Department of Architectural Science), Norwegian government agency ENOVA, The Swiss Federal Office of Energy, Hochschule Luzern Technik & Architektur- Kompetenzzentrum Typologie & Planung in Architektur (CCTP), SUPSI-ISAAC, Swiss BIPV competence centre.

5.10 References

- [1] Stanford University Global Climate & Energy Project. (2010). gcep.stanford.edu/research/exergycharts.html
- [2] Devin, B. (2006). Développement, Énergie, Environnement, changer de paradigme. Les cahiers de Global Chance, no 21 (2006). p. 44.
- [3] IEA (2009). Task 41: Solar Energy and Architecture. Annex Plan December 2008, online at www.iea-shc.org/publications/downloads/task41-Annex.pdf
- [4] Potvin, A. (2005). Processus de conception énergétique intégrée : Vers une architecture durable. Congrès of the AQME (Association Québécoise pour la Maîtrise de l'Énergie). 14 April 2005.
- [5] Livingston, H. (2007). BIM and Sustainable Design, Part 2. Design software companies use different approaches to reach the same goal. <http://www.cadalyst.com/cad/building-design/bim-and-sustainable-design-part-2-3618> .
- [6] IEA (2009). Task 41, Solar Energy and Architecture. Annex Plan December 2008, online at www.iea-shc.org/publications/downloads/task41-Annex.pdf
- [7] Lee, Sacks & Eastman, (2006) Specifying parametric building object behavior (BOB) for a building information modeling system. Automation in Construction. 15(6) : 758-776.
- [8] State-of-the-art: of digital tools used by architects for solar design (2010). Ed. by M.-C. Dubois and M. Horvat. Prepared for IEA-SHS Task 41: Solar Energy and Architecture, available in the Fall 2010 at <http://www.iea-shc.org/publications/task.aspx?Task=41>

6 Résultats : Analyse complémentaire de l'enquête internet

Ce chapitre présente une analyse complémentaire des données recueillies lors de la vaste enquête internationale réalisée sur internet dans le cadre de la Tâche 41 de l'IEA. Le rapport de la Tâche 41 de l'IEA (Horvat et al., 2011), trace un portrait descriptif détaillé des résultats recueillis. Le présent chapitre vise à analyser le profil des professionnels ayant répondu à l'enquête et à apporter une interprétation complémentaire et ciblée des données de cette enquête en se basant sur les connaissances acquises dans les trois premiers chapitres de ce mémoire et aux résultats de l'inventaire des outils informatiques présentés au chapitre précédent.

Ce chapitre débute, dans un premier temps, par un résumé du profil des répondants de l'enquête internet avant de proposer l'analyse complémentaire proprement dite des données de l'enquête. Les résultats sont présentés en deux temps. Premièrement, les questions relatives à la conception architecturale, sans lien direct avec l'architecture solaire, seront analysées. Ensuite, la discussion s'intéresse aux questions portant précisément sur la conception solaire.

6.1 La synthèse du portrait des répondants

Cette section vise à établir le profil démographique des répondants à l'enquête internet et à déterminer l'étendue de leur pratique architecturale. Sept questions (questions 14, 15, 18, 19 à 22), en plus de la provenance des questionnaires, sont analysées dans le but de rencontrer ces objectifs.

Les réponses aux questions 19 à 22 révèlent que 88 % (question 21, n=272) des répondants sont des architectes et que 66 % (question 20, n=272) des répondants sont des hommes. La majorité des répondants, soit 74 %, (question 22, n=271) a plus de 10 ans d'expérience professionnelle et ces répondants sont nés dans les années 1960 (28 %), 1970 (27 %), et 1950 (25 %) (question 19, n=258). Au moment de répondre à l'enquête, ils étaient donc, pour la majorité, âgés de 30 à 59 ans. Il est toutefois important

de noter que ces questions étaient optionnelles et que seulement un groupe variant entre 258 et 272 répondants²¹ sur 350 ont fourni ces informations.

De plus, puisqu'il s'agit d'une enquête internationale, il est intéressant de connaître comment est représenté chacun des 14 pays participants. En analysant les questionnaires enregistrés et analysés pour chaque pays, il est possible de déterminer que 24 % des répondants sont australiens, que 12,3 % sont canadiens, suivit des trois autres pays les mieux représentés, soit la Suède (10,9 %), la Corée du Sud (10,3 %) et l'Italie (7,4 %). La figure 15 présente la répartition de l'ensemble des pays ayant participé à l'enquête dans les données analysées (n=350).

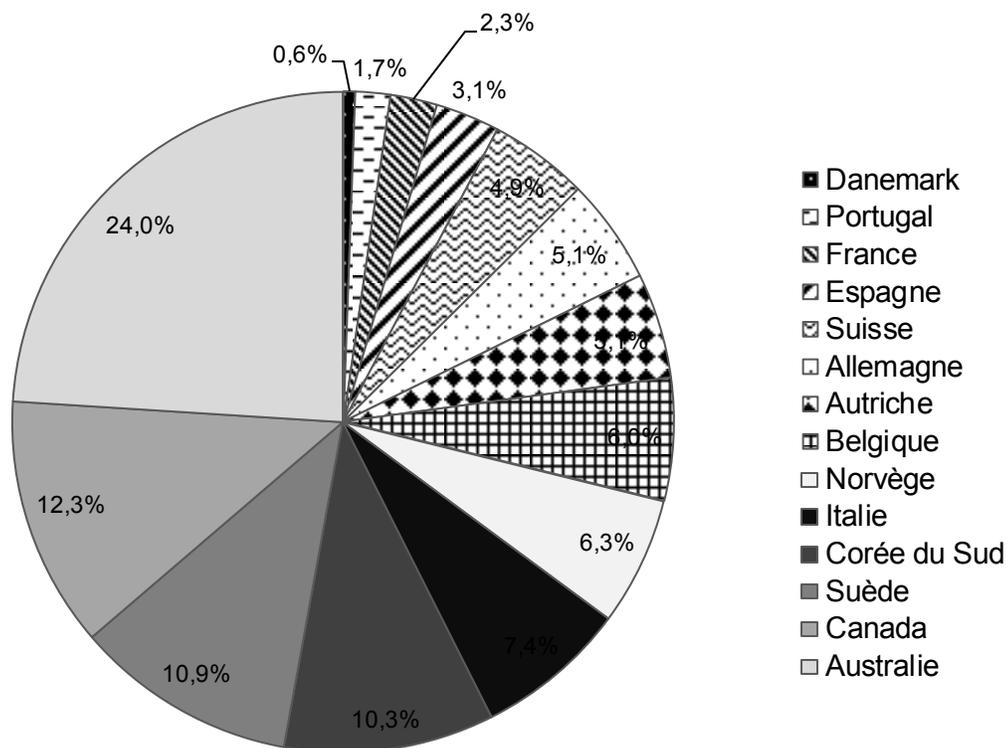


Figure 15 : Distribution des questionnaires analysés par pays (n=350)

Une série de questions optionnelles (questions 14, 15 et 18) visaient à établir le type de pratique architecturale des répondants. Sur la base de 282 réponses obtenues à la question 14, il est possible d'affirmer que la majorité des répondants œuvrent dans des bureaux de petite taille. En effet 34 % des répondants travaillent dans des bureaux comptant moins de trois employés et 32 % pour des entreprises qui en comptent entre

²¹ Le nombre de répondants est variable pour chaque question, puisque ces questions étaient optionnelles.

trois et dix. Seulement 15 % des 282 répondants à cette question travaillent pour une firme comptant de 11 à 50 employés et 18 % pour une firme comportant plus de 50 employés. De plus, 71 % des 268 répondants à la question 18 réalisent principalement des projets au niveau national. Les résultats de la première partie de la question 15 indiquent que les projets qu'ils réalisent sont autant de nouvelles constructions que des rénovations (53 %, n=278). Très peu de répondants (13 %, n=278) se spécialisent uniquement dans la rénovation, alors que 29 % (n=278) réalisent uniquement des nouvelles constructions²². La figure 16 présente la répartition des réponses pour chacune des catégories de bâtiments conçus par les répondants à l'enquête.

Q15. Parmi les catégories de bâtiments suivantes, lesquelles correspondent à celles pour lesquelles vous êtes le plus souvent embauchés? Vous pouvez en sélectionner plus d'une, mais, s'il vous plaît, cochez celles qui décrivent l'orientation principale d

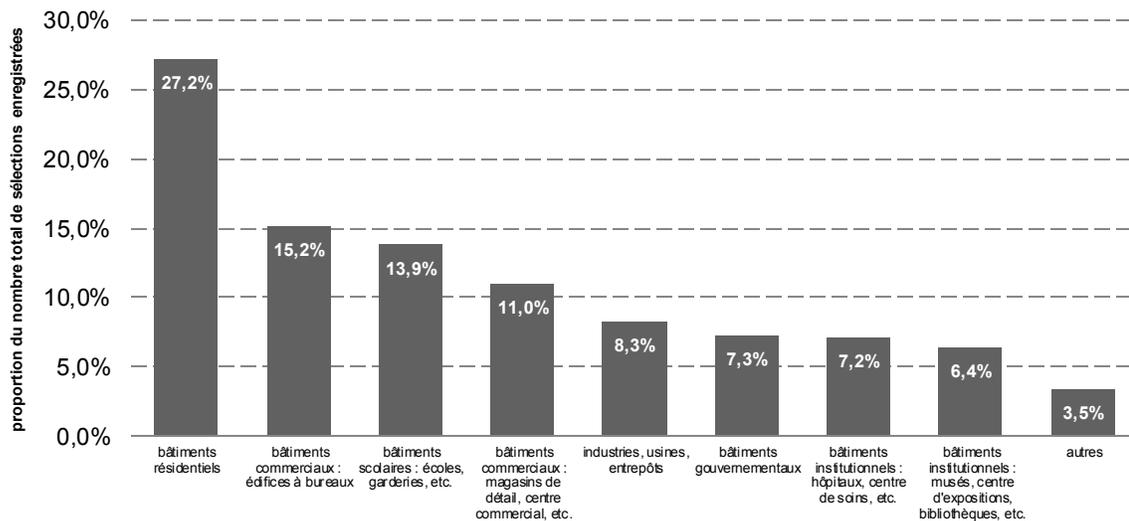


Figure 16 : Distribution des données selon les principaux types de bâtiments réalisés par les répondants (question 15, pour tous les pays, 278 répondants pour 808 réponses).

La figure 16 montre que les répondants à l'enquête internationale ont des projets variées. Les types de projets les plus fréquents sont des bâtiments résidentiels (27,2 %, n=808), commerciaux (édifices à bureaux 15,2 % et magasins de détails/centres commerciaux 11,0 %) et scolaires (13,9 %). Il est difficile de valider si ces résultats sont représentatifs de la commande architecturale mondiale, puisqu'aucune donnée de ce type n'est disponible auprès des différentes associations d'architectes à travers le monde. Il s'agit donc des premières données pouvant refléter cette commande architecturale mondiale.

²² 4 % des répondants n'ont pas soumis de réponse.

6.2 Les questions relatives à la conception architecturale

Parmi les 23 questions posées aux répondants, cinq permettent de décrire leur méthode de conception et de connaître leur usage des outils informatiques et lesquels ils utilisent. La question 4 permet, entre autres, de décrire les caractéristiques de leur processus de conception et la question 16 de déterminer quel est le type de processus le plus utilisé par les répondants. La question 17 permet d'identifier la méthode contractuelle la plus utilisée par les répondants. La question 8 s'intéresse aux outils informatiques qu'ils utilisent et à quel moment du processus de conception. La question 9 porte plutôt sur les facteurs qu'ils considèrent les plus importants pour le choix de leurs logiciels. Toutes ces questions sont formulées sans aucun lien direct avec la conception solaire, mais l'analyse de ces résultats permet d'en connaître davantage sur le potentiel des répondants à intégrer l'énergie solaire à leurs projets.

Question 4 : Caractéristiques du processus de conception

Pour cette question, les répondants étaient invités à choisir jusqu'à trois énoncés, parmi les neuf proposés, décrivant leur processus de conception. La figure 17 présente la distribution des réponses pour chacun des énoncés. Un total de 344 répondants a au moins sélectionné une situation ce qui correspond à un taux de participation de 98 %.

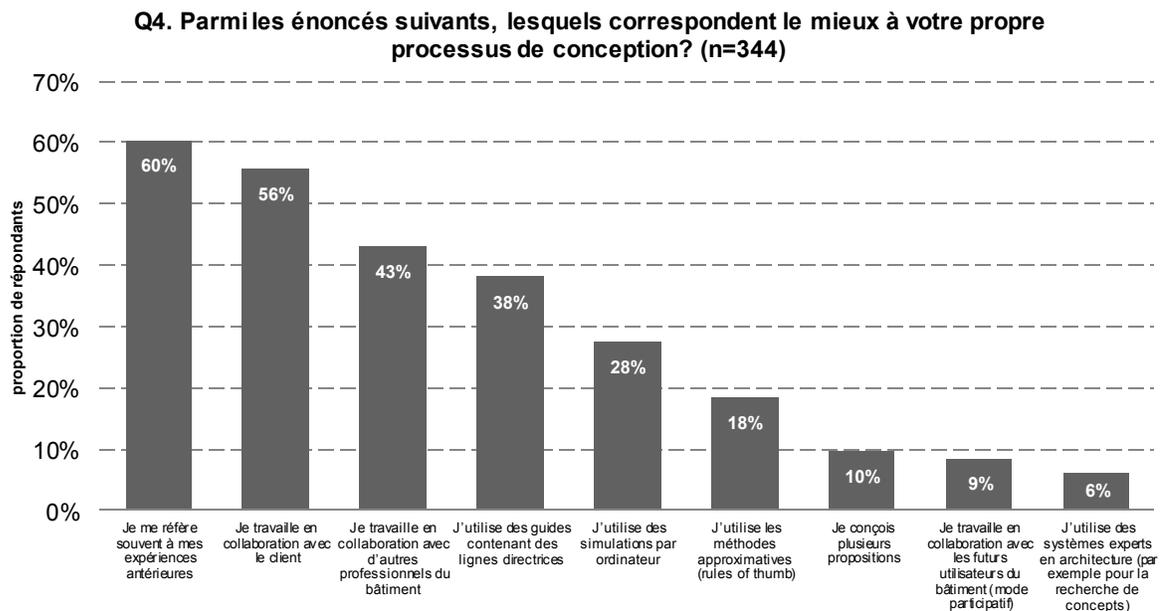


Figure 17 : Distribution des réponses selon les méthodes de conception utilisées (question 4, pour tous les pays, 344 répondants pour 913 réponses).

Parmi les 344 répondants à cette question, 60 % se réfèrent à leurs expériences antérieures. Considérant que 88 % des répondants sont des architectes, ce résultat confirme les observations de De Wilde et al. (1999, 2001), Donn (1997), Meniru et al. (2003) et Reinhart et Fitz (2006) qui ont tous relevé que les architectes avaient souvent recours à cette méthode. De plus, 43 % des répondants ont signalé travailler en collaboration avec d'autres professionnels du bâtiment appuyant ainsi le caractère multidisciplinaire du processus de conception tel que défini par les observations de Cuff (1991) et Meniru et al. (2003).

Plus de la moitié des répondants (56 %, n=344) affirme aussi travailler en collaboration avec le client. Ce résultat révèle le rôle primordial que joue le client dans un projet d'architecture. En effet, le projet doit correspondre aux attentes, besoins et budget du client. L'architecte doit donc être en mesure de bien communiquer ses idées au donneur d'ouvrage, car c'est ce dernier qui a le pouvoir décisionnel final.

Les résultats de la question 4 démontrent qu'il est aussi important de sensibiliser autant les clients que les architectes et les autres professionnels du bâtiment à l'architecture solaire. En effet, l'architecte et ses collaborateurs doivent posséder les connaissances nécessaires à l'utilisation adéquate de l'énergie solaire, mais il demeure primordial que les clients soient aussi ouverts à cette transformation de l'architecture pour qu'elle se réalise.

Question 16 : Type de processus de conception

La figure 18 présente la répartition, en pourcentage de répondants, des processus de conception proposés à la question 16. Pour cette question, les répondants étaient invités à choisir un maximum de trois processus de conception qu'ils emploient le plus fréquemment. Au total, 278 répondants ont sélectionné au moins une situation, ce qui correspond à un taux de participation de 79 %.

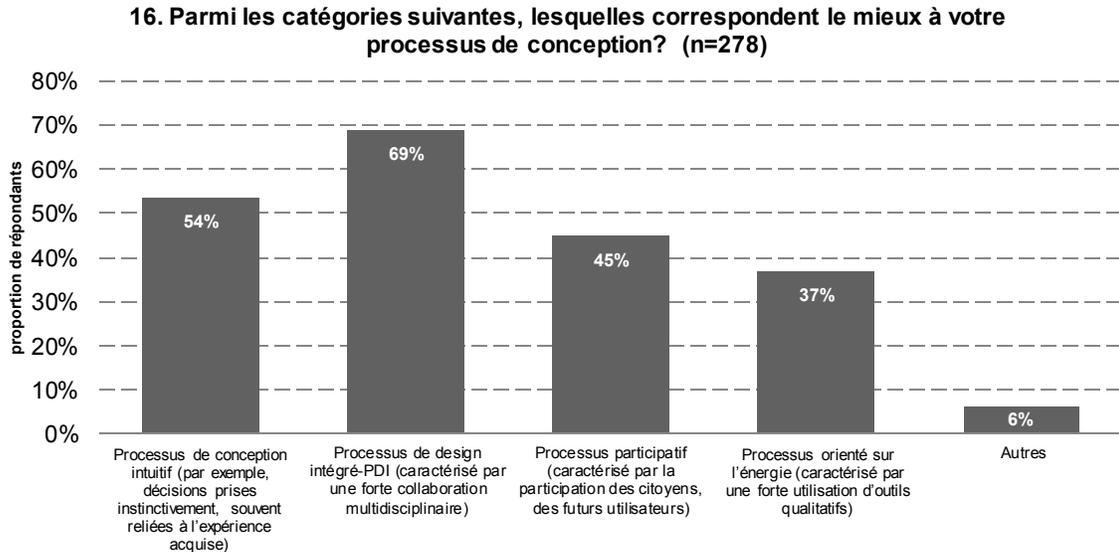


Figure 18: Distribution des données selon les types de processus de conception utilisés par les répondants (question 16, pour tous les pays, 278 répondants pour 587 réponses).

Le nombre de réponses fournies étant supérieur au nombre de répondants à la question implique que le type de processus de conception privilégié varie au sein d'un même projet ou d'un projet à l'autre. Ceci dit, les résultats démontrent que 69 % des répondants (n=278) ont déjà été impliqués dans un processus de conception intégré. Sachant que ce type de processus très axé sur la multidisciplinarité est souvent associé au développement d'un projet énergétiquement efficace (Larsson, 2004; Larsson et Poel, 2009; Société canadienne d'hypothèques et de logement, 2006), il est probable que la majorité des répondants ait probablement déjà réalisé un projet de ce genre. De plus, 37 % des répondants à cette question perçoivent leur processus de conception comme orienté sur la performance énergétique. En outre, 54 % des répondants à cette question signalent qu'ils sont familiers avec un processus de conception intuitif, caractérisé par une prise de décisions instinctive souvent reliée à l'expérience acquise. Ce dernier résultat est en accord avec celui de la question 4, où 60 % se réfèrent à leurs expériences antérieures.

Globalement, les résultats de la question 16 révèlent qu'une grande partie des répondants à l'enquête est intéressée par la réalisation de bâtiments énergétiquement efficaces. De plus, ils ont, pour la majorité, déjà expérimenté un processus de conception intégré qui favorise l'interaction avec les ingénieurs et consultants dès le début du processus, ce qui est très favorable pour le développement d'une architecture solaire de qualité.

Question 17 : Méthodes contractuelles

La figure 19 présente la distribution des réponses pour chacune des méthodes contractuelles proposées. Un total de 287 répondants s'est exprimé sur cette question, ce qui correspond à un taux de participation de 82 %.

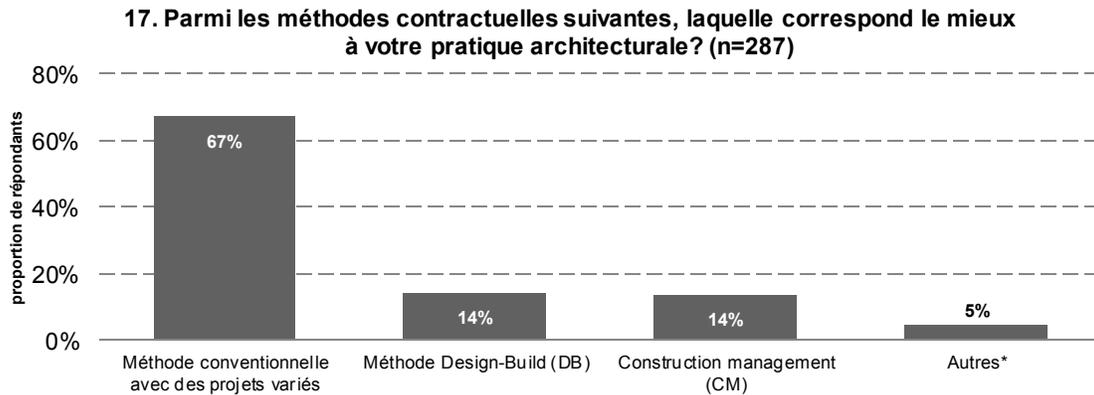


Figure 19 : Distribution des données selon les méthodes contractuelles utilisées par les répondants (question 17, pour tous les pays, 287 répondants).

Les résultats de la question 17 indiquent que la majorité des répondants (67 %, n=287) travaillent en adoptant la méthode conventionnelle. Ceci signifie qu'ils sont engagés par un client pour concevoir un projet et que les architectes n'ont aucun lien contractuel avec l'entrepreneur (Bilec et Ries, 2007). Les autres méthodes contractuelles semblent plus marginales puisqu'elles ne touchent chacune que 14 % ou moins des répondants à la question.

De manière générale, les résultats de cette question suggèrent que les clients demeurent, encore aujourd'hui, très impliqués dans le processus de développement des projets d'architecture puisqu'ils choisissent principalement d'embaucher les architectes avec un contrat conventionnel (Mahdi et Alreshaid, 2005). Ce constat rejoint les données de la question 4 qui indiquaient que 56 % des participants travaillaient principalement en étroite collaboration avec leurs clients.

Question 8 : Outils informatiques utilisés par les architectes

Un total de 275 répondants a répondu à cette question, ce qui correspond à un taux de participation de 79 %. Les répondants étaient invités à sélectionner tous les logiciels qu'ils utilisaient dans leur pratique courante, et cela pour chacune des étapes de développement d'un projet. Une liste exhaustive de 51 outils informatiques, classés en trois catégories,

était présentée dans le questionnaire. La liste comprenait 23 logiciels CAAO, 12 outils de simulation et 16 logiciels de simulation.

Un total de 2107 réponses a été enregistré pour cette question. La figure 20 présente le nombre de sélections recueillies pour la question 8 et leur répartition entre les différentes catégories d'outils informatiques et les étapes du processus de conception.

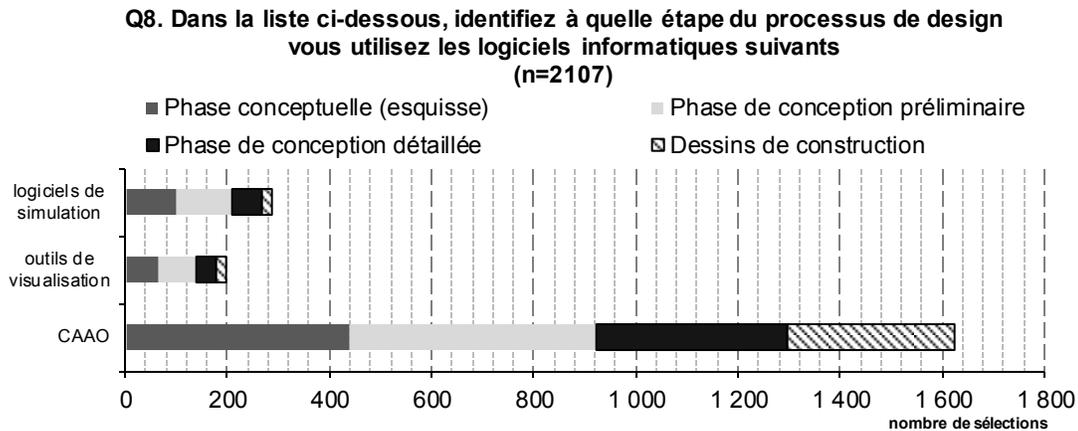


Figure 20 : Distribution des réponses, par catégorie de logiciel, selon les phases de conception (question 8. pour tous les pays, 275 répondants pour 2107 réponses soumises).

Le nombre total de sélections (n=2107) enregistrées par les 275 répondants indiquent que ces derniers utilisent plus d'un logiciel au cours de la réalisation d'un projet d'architecture. Ce résultat était plutôt attendu puisque l'inventaire sur les outils informatiques a révélé que chaque catégorie de logiciel peut être associée à des tâches spécifiques.

La catégorisation de ces résultats en fonction des types d'outils montre que 1623 sélections (77 %) vont pour les logiciels CAAO, 197 (9 %) aux outils de visualisation et 287 (14 %) aux outils de simulation. Les répondants semblent donc très familiers avec les outils de CAAO, mais moins avec les logiciels de simulation ou de visualisation. En général, les logiciels de CAAO sont développés avec l'ambition d'assister la conception architecturale pendant tout le développement du projet (Shaviv, 1999), incluant même, pour la plupart, leur propre module de visualisation. Il n'est donc pas étonnant qu'ils soient si largement utilisés par les répondants.

Par ailleurs, les outils de visualisation et de simulation sont liés à des tâches spécifiques de création d'images de synthèse et d'évaluation structurale ou énergétique. Dans le cas des outils de visualisation le faible résultat peut s'expliquer en partie par le fait que la

plupart des outils CAAO réalisent les mêmes tâches et qu'ils permettent ainsi de générer des images de synthèse de qualité à partir des modèles 3D utilisés pour la conception. De plus, très peu de répondants à l'enquête utilisent des logiciels de simulation, ces résultats se rapprochent sensiblement des conclusions des études antérieures, dans lesquelles très peu d'architectes utilisaient ce type d'outils (De Wilde et al., 2001; Lam et al., 1999; Mahdavi et al., 2003; Weytjens et Verbeeck, 2010). Toutefois, il est très intéressant de constater, dans la figure 20, que les outils de simulation sont plus utilisés au cours des premières étapes de conception. Tel que vu dans les chapitres précédents, ces étapes du processus de conception sont les plus cruciales pour la performance énergétique des édifices (Shaviv, 1999; Sozer, 2010).

L'analyse des résultats montre que certains logiciels sont moins populaires auprès des répondants. Par catégorie de logiciels, ceux retenus pour l'analyse ont obtenu au moins de 5 % du nombre total des réponses pour au moins une des phases de conception. Le tableau 8 présente la liste des logiciels qui n'ont pas été retenus et leur pourcentage respectifs.

Tableau 8 : Liste des logiciels non retenus pour l'analyse de la question 8.

Catégorie d'outils informatiques	Logiciels	Phase conceptuelle	Phase de conception préliminaire	Phase de conception détaillée	Dessins de construction	Total	Proportion de la catégorie
CAAO (total de 1623 sélections)	MicroStation	5	8	9	10	32	2 %
	Rhinoceros 3D	14	8	3	1	26	2 %
	FormZ	12	8	2	1	23	1 %
	CINEMA 4D	7	9	3	1	20	1 %
	Allplan	3	5	6	3	17	1 %
	Lightworks	2	7	5	0	14	1 %
	Bricscad	2	3	2	2	9	1 %
	Blender	3	3	1	1	8	0 %
	Maya	3	1	1	1	6	0 %
	Caddie	1	2	1	1	5	0 %
	Houdini	1	1	0	1	3	0 %
	SolidWorks	0	0	0	2	2	0 %
	DDS-CAD	0	1	0	0	1	0 %
	Digital Project	0	1	0	0	1	0 %
	CATIA	0	0	1	0	1	0 %
Intelli Plus Architecturals	0	0	0	1	1	0 %	
EliteCAD	0	0	0	0	0	0 %	
Visualisation (total de 197 sélections)	RenderZone	1	2	1	2	6	3 %
	Flamingo	2	1	0	0	3	2 %
	LuxRender	2	1	0	0	3	2 %
	Renderman	1	2	0	0	3	2 %
	POV-Ray	0	0	1	0	1	1 %
	Yafa-Ray	0	0	0	0	0	0 %
Simulation (total de 287 sélections)	LESOSAI	4	3	4	0	11	4 %
	bSol	1	4	2	1	8	3 %
	DAYSIM	3	3	0	0	6	2 %
	EnergyPlanner	1	1	1	1	4	1 %
	Design Perf. Viewer	2	2	0	0	4	1 %
	Energy Design Perf. II	1	0	1	0	2	1 %
	IDA ICE	0	1	0	0	1	0 %

Logiciels de CAAO

L'analyse des résultats recueillis est présentée en trois parties, selon les trois types de logiciels. Les 275 répondants à la question 8 ont fait 1623 choix au total pour les outils de CAAO, répartis comme suit entre les quatre étapes de conception :

- phase conceptuelle (esquisse) : 439 sélections;
- phase de conception préliminaire : 481 sélections;
- phase de conception détaillée : 373 sélections;
- dessins de construction : 328 sélections.

Le nombre de sélections pour les outils de CAAO indique que les répondants utilisent plus d'un logiciel de CAAO au cours d'une même phase de développement d'un projet. Ce résultat peut être attribué à la spécialisation des logiciels pour certaines tâches, tel que soulevé par l'inventaire sur les outils informatiques (voir chapitre 5). La figure 21 présente

la distribution des réponses obtenues pour les six logiciels de CAO retenus, soit AutoCAD, Google SketchUp, Revit Architecture, ArchiCAD, Vectorworks et 3ds Max.

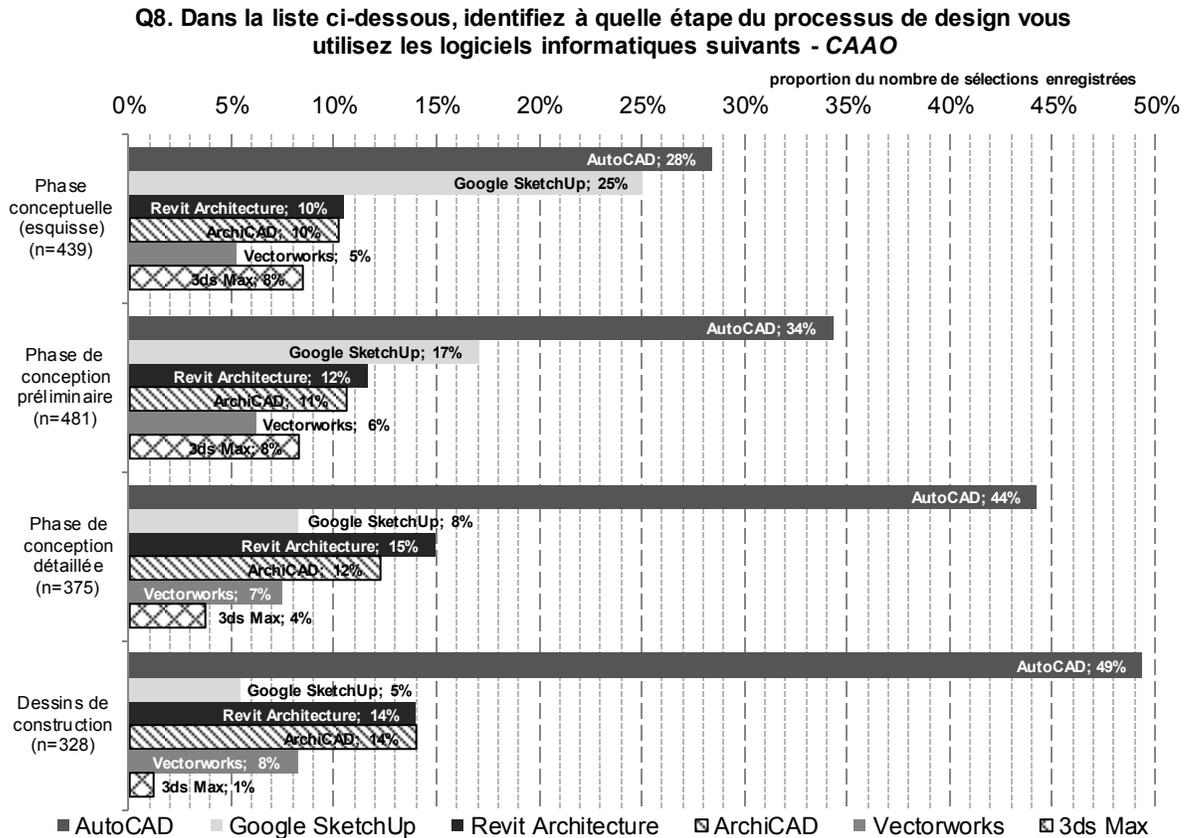


Figure 21 : Distribution des réponses pour chaque phase du processus de conception selon les outils informatiques CAO les plus utilisés par les répondants (question 8, pour tous les pays, 275 répondants pour 1623 réponses soumises).

La figure 21 montre clairement qu'AutoCAD est le logiciel le plus utilisé, pour toutes phases de conception confondues. À l'étape d'esquisse, il obtient 29 % des 439 réponses, et 34 % des 481 réponses pour la phase de conception préliminaire, 44 % des 375 réponses pour la conception détaillée, et 49 % des 328 réponses pour la phase de production des dessins d'exécution

À la phase conceptuelle, des outils permettant une plus grande abstraction de représentation sont préférés et préférables (Crawley et al., 2008). En ce sens, Google SketchUp semble offrir un potentiel intéressant, tel que relevé par l'inventaire sur les logiciels (voir section 5.7). En effet, bien qu'AutoCAD soit le plus utilisé en phase conceptuelle, il est intéressant de noter que l'utilisation de Google SketchUp est aussi

largement répandue (25 % des réponses). Toutefois, Google SketchUp est beaucoup moins utilisé au cours de la phase de conception détaillée que lors des deux premières phases de conception, ce qui pourrait indiquer qu'il posséderait les caractéristiques recherchées par les concepteurs spécifiquement lors des premières phases de conception.

Par ailleurs, bien que la figure 21 montre qu'AutoCAD soit le logiciel le plus utilisé à toutes les phases de la conception, l'inventaire des outils informatiques indiquent qu'il ne permet pas de calculer les gains solaires passifs, ni d'intégrer ou de dimensionner des systèmes solaires actifs. Toutefois, grâce à ses capacités de rendu d'images de synthèse en mode modélisation 3D, AutoCAD peut permettre une analyse qualitative de l'utilisation de la lumière naturelle puisque les algorithmes de rendu utilisés reproduisent le comportement réel de la lumière.

Tel que mentionné, il est intéressant de noter que Google SketchUp semble très utilisé par les répondants pour les premières phases de conception. En plus d'être un outil intuitif et flexible, Google SketchUp compte maintenant, tel qu'indiqué dans l'inventaire des logiciels, plusieurs plugiciels permettant différentes analyses et estimations pour l'étude énergétique, le solaire passif thermique, le photovoltaïque et l'éclairage naturel.

3ds Max est plutôt reconnu pour la modélisation et la production d'images de synthèse photoréalistes. Les résultats présentés ici montrent qu'il est plus utilisé au cours des premières étapes de la conception qu'au cours de phases ultérieures. Puisque ce logiciel utilise un algorithme permettant de reproduire le comportement naturel de la lumière, il permet une évaluation qualitative juste de l'utilisation de la lumière naturelle dans les espaces intérieurs. De plus, comme mentionné dans l'inventaire, 3ds Max possède aussi la technologie *Exposure* qui, sur la base des algorithmes du logiciel de simulation Radiance, permet une évaluation quantitative physiquement correcte de la lumière naturelle.

Revit Architecture, ArchiCAD et Vectorworks sont, entre autres, des applications BIM, ce qui implique qu'ils peuvent théoriquement informer l'ensemble du processus de conception et les tâches de tous les intervenants impliqués. Ce type d'outil serait ainsi très adapté à un processus de conception intégré, qui est préférable pour réaliser une architecture solaire de qualité. Il est donc intéressant de noter que ce type de logiciel figure parmi les

six logiciels de CAAO les plus utilisés par les répondants. Toutefois, dans la figure 21, les proportions sont calculées par phase de conception. Ces résultats ne permettent donc pas de comparer les différentes phases du processus de conception entre elles et ainsi évaluer la constance d'utilisation d'un même logiciel tout au long du processus de conception.

La figure 22 présente la proportion de répondants utilisant chaque logiciel CAAO, au cours des différentes phases de la conception. Cette représentation des données permet de montrer de quelle façon l'utilisation d'un même logiciel fluctue au cours d'une même phase de conception.

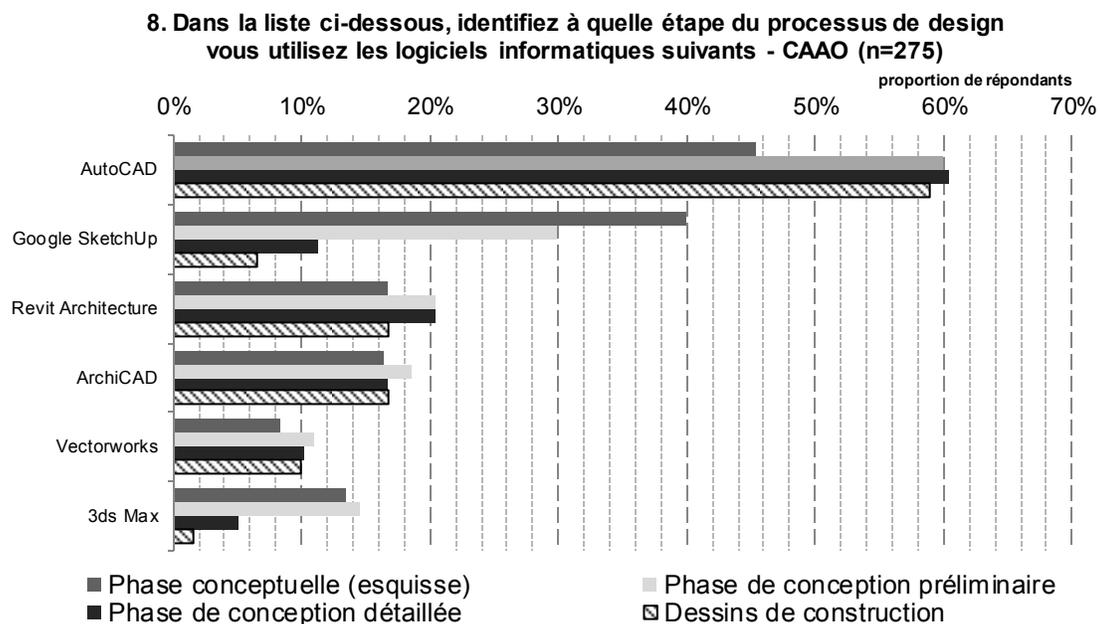


Figure 22: Distribution des données pour les différents outils CAAO utilisés en fonction de l'étape de conception du projet d'architecture (question 8 – CAAO, pour tous les pays, 275 répondants pour 1623 réponses soumises).

Ainsi pour AutoCAD, la figure 22 montre qu'il est utilisé en phase conceptuelle, par 45 % des répondants (n=275). Son utilisation grimpe ensuite à la phase préliminaire et demeure à peu près stable aux alentours de 60 % jusqu'à la fin du processus. Parallèlement, 40 % des répondants utilisent Google Sketch en phase conceptuelle, ce qui se rapproche fortement du taux d'utilisation d'AutoCAD pour la même phase. Toutefois, le nombre de répondants utilisant Google SketchUp diminue régulièrement par la suite pour atteindre seulement 5 % des répondants à la phase de production des dessins de construction.

Cette donnée montre que Google SketchUp a tendance à être beaucoup plus utilisé au début du processus de conception qu'à la fin.

En ce qui concerne les applications BIM (Revit architecture, ArchiCAD et Vectorworks), la figure 22 indique une certaine constance dans leur utilisation se situant aux alentours de 20 % pour Revit Architecture, de 17 % pour ArchiCAD et de 10 % pour Vectorworks. Dans les trois cas, la proportion de répondants les utilisant est légèrement plus faible en phase conceptuelle, ce qui pourrait indiquer que ces applications sont moins bien adaptées pour les esquisses. Il est intéressant de noter qu'alors que 69 % de 278 répondants disent, à la question 16, avoir déjà été impliqués dans un processus de conception intégré, très peu utilisent les applications BIM. Par ailleurs, en supposant que les utilisateurs de ces applications sont fidèles au logiciel BIM choisi tout au long du processus de conception, un maximum de 49 % des répondants est impliqué dans un processus BIM, qui peut potentiellement améliorer l'efficacité et la collaboration des intervenants lors d'un processus de conception intégré.

Dans le cas de Revit Architecture, le nombre de répondants l'utilisant pour la production des dessins d'exécution est légèrement plus faible que pendant les phases précédentes. Puisque Revit Architecture possède une bonne interopérabilité²³ avec AutoCAD, il est possible que les utilisateurs retournent à AutoCAD pour la production des dessins d'exécution. Plusieurs facteurs peuvent expliquer cette utilisation d'AutoCAD, telle qu'une meilleure connaissance du logiciel par les répondants. Cependant, l'enquête n'a pas permis de les préciser. Il est toutefois important de noter que Revit Architecture est un outil relativement récent, comparativement à AutoCAD, qui est utilisé par les architectes depuis près de trois décennies.

Logiciels de visualisation

Les 275 répondants à la question 8 y ont fait 197 choix au total pour les outils visualisation, qui se répartissent entre les quatre étapes de conception comme suit :

- phase conceptuelle (esquisse) : 62 sélections;
- phase de conception préliminaire : 74 sélections;
- phase de conception détaillée : 39 sélections;

²³ Revit Architecture et AutoCAD sont tous deux développés par la compagnie Autodesk.

- dessins de construction : 22 sélections.

Le nombre de sélections enregistrées pour les outils de visualisation indique que seulement une portion des répondants utilise ce type d'outils spécialisé. Considérant que plusieurs outils CAAO permettent de réaliser des images de synthèse, il est probable que les répondants ne préfèrent utiliser qu'un seul logiciel et réalisent leur rendus à partir de celui-ci. De plus, il semble que, pour ceux qui emploient ces outils de visualisation dédiés, leur utilisation soit plus répandue lors des premières étapes de conception que lors les phases suivantes. La figure 23 présente la distribution des données pour les six des outils de visualisation les plus utilisés par les répondants, soit Artlantis, V-Ray, Renderworks, Maxwell Render, Mental Ray et LightWave. Ce graphique présente la proportion du nombre total de sélections effectuées pour chacune des étapes de conception.

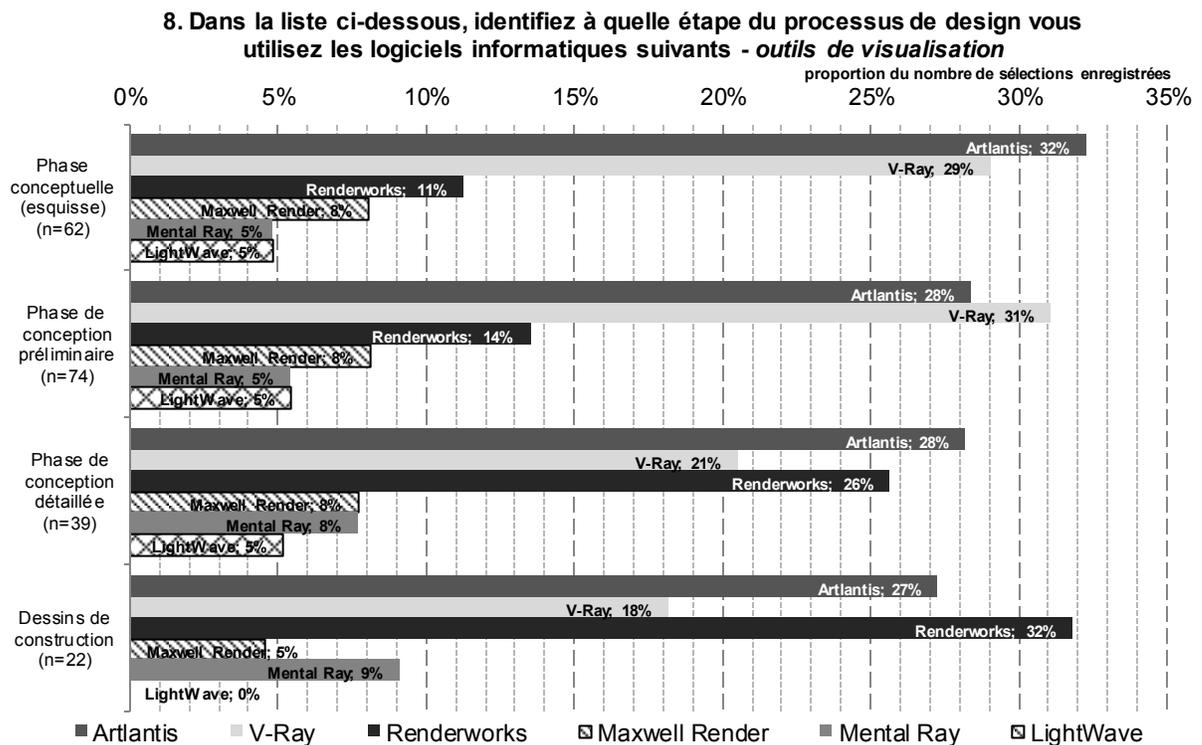


Figure 23 : Distribution des données pour chaque phase du processus de conception selon les outils de visualisation les plus utilisés par les répondants (question 8, 275 répondants pour 197 réponses).

Globalement, la figure 23 montre que l'utilisation des différents logiciels de visualisation est plutôt stable d'une phase de conception à l'autre. À la phase conceptuelle, Artlantis est le logiciel de visualisation le plus utilisé par les répondants avec 32 % des 62 sélections enregistrées pour cette phase alors que V-Ray recueille, quant à lui, 29 % des sélections.

RenderWorks 11 % des sélections, Maxwell Render 8 % et enfin, Mental Ray ainsi que Light Wave recueillent chacun 5 % des sélections.

À la phase de conception préliminaire, V-Ray est le logiciel le plus utilisé avec 31 % des 74 sélections. Artlantis retient 28 % des choix, RenderWorks 11 % et Maxwell Render 8 %. Mental Ray et LightWave récoltent chacun 5 % des choix.

À la phase de conception détaillée, pour laquelle 39 sélections sont enregistrées. Au total, 28 % des sélections sont attribuées à Artlantis, 26 % à RenderWorks et 21 % à V-Ray. Maxwell Render et Mental Ray recueillent chacun 8 % et LightWave, 5 %.

Finalement, pour la phase de production des dessins de construction, RenderWorks est le logiciel de visualisation le plus utilisé avec 32 % des 22 sélections. Artlantis recueille 27 % des sélections, V-ray 18 %, Mental Ray 9 % des sélections, alors qu'aucune (0 %) n'est allée pour LightWave.

Parmi les six logiciels de visualisation analysés, seuls Artlantis, V-Ray, Mental Ray et Maxwell Render permettent une évaluation qualitative de l'utilisation de la lumière naturelle. En effet, les calculs de leur moteur de rendus reposent sur des algorithmes fidèles au comportement naturel de la lumière. Au moment de la réalisation de l'inventaire sur les outils, les calculs effectués par RenderWorks et LightWave ne possédaient pas clairement cette caractéristique. De plus, tel que les résultats de l'inventaire sur les outils l'ont révélé, aucun logiciel de visualisation ne permet l'estimation quantitative des gains solaires passifs, ni le dimensionnement des modules solaires actifs. Toutefois, les logiciels de visualisation peuvent participer à l'intégration visuelle des systèmes solaires actifs, si le concepteur est en mesure de modéliser correctement et avec précision les composantes, en tenant compte de leurs caractéristiques optiques précises.

La figure 24 présente la proportion de répondants utilisant chaque logiciel de visualisation, au cours des différentes phases de conception. Cette représentation des données, en plus de montrer la distribution par logiciel, fait ressortir la fluctuation de l'utilisation d'un logiciel au cours du processus de conception.

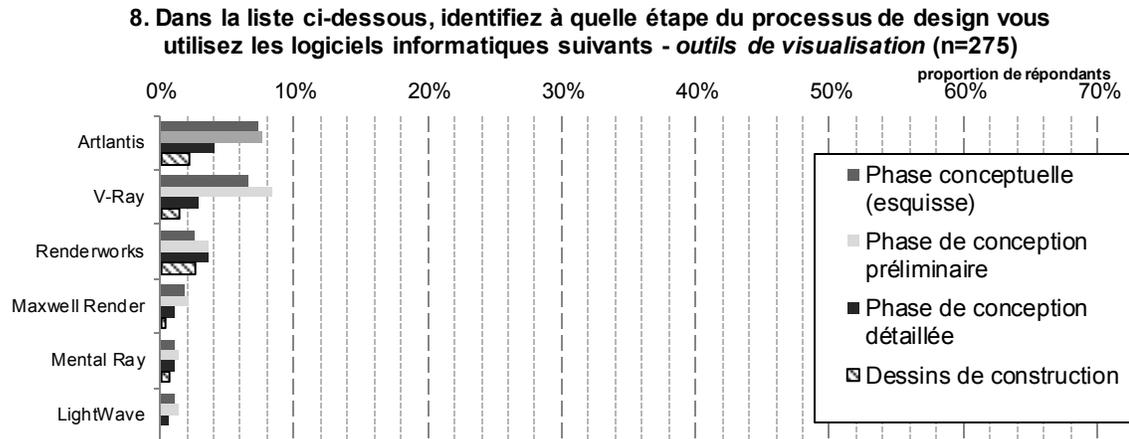


Figure 24 : Distribution des données pour les différents outils de visualisation utilisés en fonction de l'étape de conception du projet d'architecture (question 8 – outils de visualisation, pour tous les pays, 275 répondants pour 197 réponses soumises)

La figure 24 montre que moins de 10 % des répondants (n=275) à la question 8 ont recours aux logiciels de visualisation dédiés. De manière générale, ce type de logiciel est moins utilisé pendant la phase de production des dessins d'exécution. Ce résultat était prévisible puisqu'à cette étape, le concept étant généralement approuvé par le client, il est moins utile de produire des images photoréalistes de synthèse.

Par ailleurs, Artlantis et V-Ray sont davantage utilisés que les autres logiciels pendant les premières phases de la conception. En effet, en phase d'esquisse, Artlantis a été choisi par 20 répondants (7 %) et V-Ray par 18 répondants (7 %), alors que Renderworks est choisi par sept répondants (3 %). À la phase de conception préliminaire, Artlantis est choisi par 21 répondants (8 %) et V-Ray par 23 répondants (8 %), alors que le troisième logiciel le plus utilisé est Renderworks avec 4 % des répondants. Cette utilisation plus importante d'Artlantis et V-Ray est potentiellement associable à l'utilisation de Google SketchUp, puisque ces deux logiciels sont souvent utilisés pour générer des images de synthèse photoréalistes à partir d'une modélisation de Google SketchUp.

Logiciels de simulation

Les 275 répondants à la question 8 ont réalisé 282 choix au total pour les outils simulation, répartis entre les quatre phases de la conception comme suit :

- phase conceptuelle (esquisse) : 97 sélections;
- phase de conception préliminaire : 105 sélections;
- phase de conception détaillée : 59 sélections;

- dessins de construction : 21 sélections.

La répartition précédente du nombre de réponses enregistrées pour les outils de simulation indique que leur utilisation est plus importante dans les deux premières phases de conception que dans les deux suivantes. La figure 25 présente la distribution des réponses pour les neuf outils de simulation les plus utilisés par les répondants, soit Ecotect, RETScreen, Radiance, Polysun, PVSol, PVsyst, eQUEST, IES VE et DesignBuilder. Pour chacune des phases du processus de conception, ce graphique présente le pourcentage du nombre total de réponses.

Q8. Dans la liste ci-dessous, identifiez à quelle étape du processus de conception vous utilisez les logiciels informatiques suivants - outils de simulation

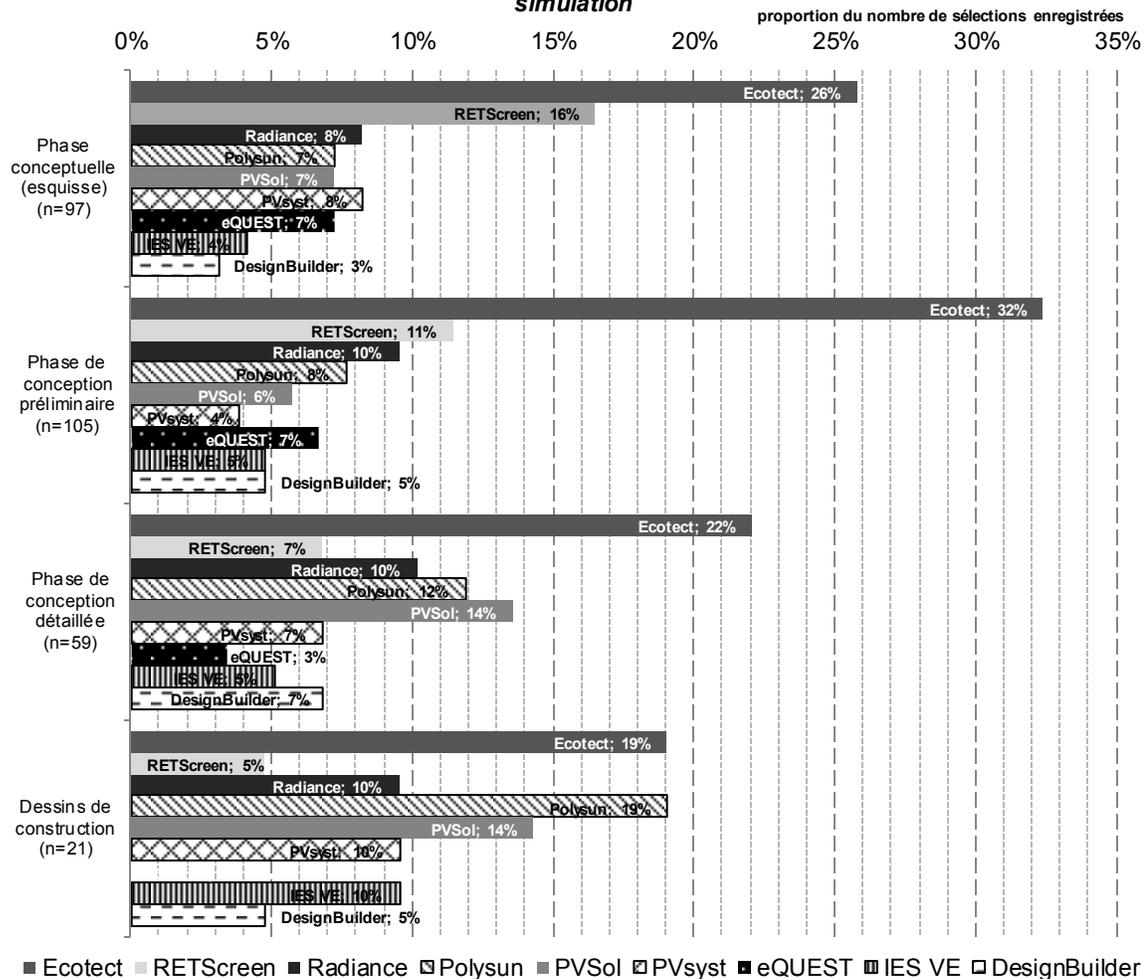


Figure 25 : Distribution des données pour chaque phase du processus de conception selon les outils de simulation les plus utilisés par les répondants (question 8, pour tous les pays, 275 répondants pour 282 réponses).

La figure 25 montre que pour les quatre phases du processus de conception, Ecotect est de loin l'outil de simulation le plus utilisé par les répondants. En effet, à la phase conceptuelle, Ecotect recueille 26 % des 97 réponses. La balance des réponses pour cette étape se répartit comme suit : 16 % pour RETScreen, 8 % pour Radiance, eQUEST et PVsys respectivement, 7 % pour Polysun, PVSol et eQUEST respectivement, 4 % pour IES VE et 3 % pour DesignBuilder.

Pour la phase de conception préliminaire, 32 % des 105 réponses vont à Ecotect alors que RETScreen recueille 11 % des réponses. Pour la même phase, 10 % des réponses

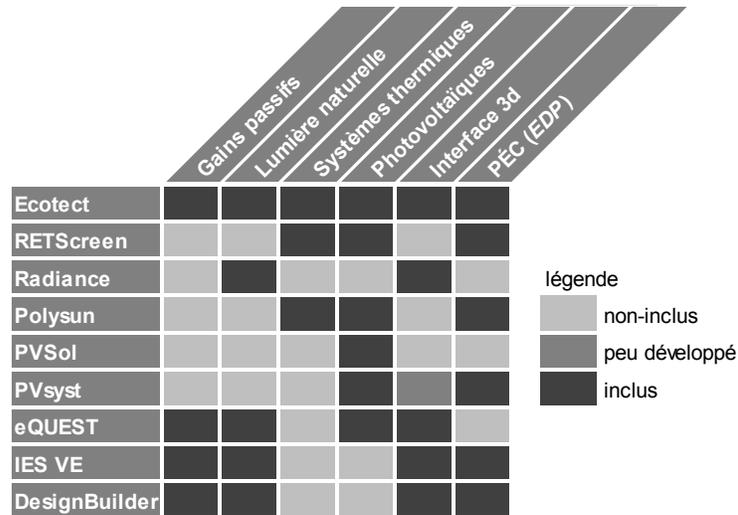
vont à Radiance, 8 % à Polysun et 7 % à eQUEST. Finalement, PVSol recueille 6 % des réponses, IES VE et DesingBuilder obtiennent chacun 5 % et PVsyst 4 % des réponses.

Parmi les 59 réponses pour la phase de conception détaillée, 22 % vont à Ecotect. PVSol est le deuxième logiciel de simulation le plus utilisé avec 14 % des réponses. Polysun réunis 12 % des réponses, Radiance 10 %, alors que RETScreen, PVsyst et DesignBuilder recueillent chacun 7 % des choix. IES VE obtient 5 % des réponses pour cette étape et eQUEST seulement 3 %.

Finalement, à la phase de production des dessins d'exécution (n=21), Ecotect et Polysun sont les logiciels de simulation les plus utilisés avec chacun 19 %. PVSol obtient 14 % des choix alors que Radiance, PVsyst et IES VE en recueillent chacun 10 % et RETScreen et DesignBuilder reçoivent chacun une seule sélection (correspondant à 5 %).

Le tableau 9 résume les principales fonctionnalités des neuf logiciels de simulation les plus utilisés par les répondants. Ce tableau synthétise une partie des informations recueillies par l'inventaire des logiciels.

Tableau 9 : Principales fonctionnalités des logiciels de simulation.



La figure 26 présente la proportion de répondants utilisant chaque logiciel CAAO, pour chacune des phases de conception. Cette représentation des données montre de quelle façon l'utilisation d'un même logiciel évolue au cours du processus de conception. De manière générale, le graphique 12 révèle que moins de 10 % des 275 répondants utilisent des logiciels de simulation.

Q8. Dans la liste ci-dessous, identifiez à quelle étape du processus de design vous utilisez les logiciels informatiques suivants - outils de simulation (n=275)

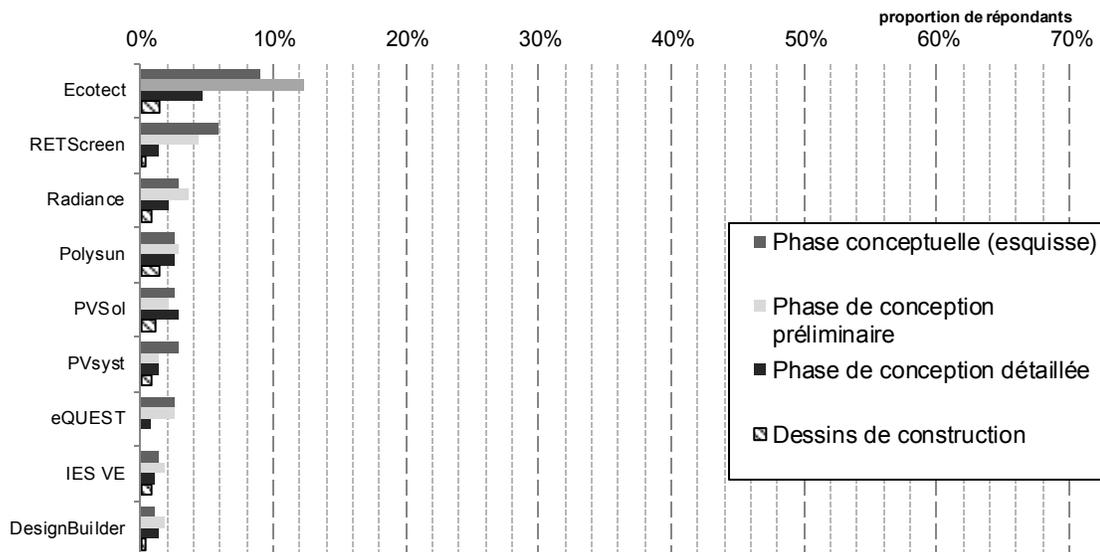


Figure 26 : Distribution des données pour les différents outils de simulation utilisés en fonction de l'étape de conception du projet d'architecture (question 8, pour tous les pays, 275 répondants pour 197 réponses).

Ecotect est le seul outil de simulation avec lequel il est possible de simuler et d'évaluer intégralement tous les aspects de l'architecture solaire en utilisant un modèle 3D. Ces caractéristiques, associées à sa grande interopérabilité²⁴ avec AutoCAD, expliquent sa popularité auprès des répondants pendant les premières étapes de conception.

RETScreen, qui est aussi populaire au cours des premières étapes de conception, est une application permettant d'évaluer et d'optimiser l'utilisation des énergies renouvelables. RETScreen se présente sous la forme d'un tableur Microsoft Excel, ce qui rend son utilisation vraiment conviviale, et peut expliquer qu'il soit le deuxième logiciel de simulation le plus utilisé pendant les premières étapes de conception, malgré qu'il ne soit pas un logiciel de simulation dynamique.

Radiance est un logiciel spécialisé pour l'évaluation quantitative de la lumière naturelle et il semble que les répondants à l'enquête soient plutôt familiers avec cet aspect de son utilisation. Cependant, l'utilisation de Radiance nécessitant une compréhension avancée des espaces et du projet, il est étonnant qu'il soit utilisé en début de processus de conception. Il faut toutefois souligner que Radiance est un logiciel reconnu pour

²⁴ Ecotect et AutoCAD sont tous deux développés par la compagnie Autodesk. Certains utilisateurs dénotent toutefois quelques problèmes de compatibilité lors du transfert de fichiers entre les deux outils.

l'évaluation quantitative de la lumière naturelle et qu'il est accessible à partir d'Ecotect et IES VE.

Il est aussi intéressant de noter que Polysun, PVSol et PVsyst, qui sont destinés au dimensionnement des systèmes solaires actifs, ne comportent pas d'interface 3D²⁵ permettant de réaliser une bonne intégration architecturale et visuelle des systèmes solaires actifs. Toutefois, ces logiciels de dimensionnement sont utilisés de manière sensiblement constante au cours des trois premières phases de conception, ce qui laisse supposer les modules d'estimation et de prédimensionnement de Polysun et PVsyst soient adaptés aux besoins des utilisateurs.

IES VE et DesignBuilder offrent des plugiciels pour Google Sketch, ce qui peut expliquer qu'ils soient utilisés pendant les premières phases de conception. Enfin, il est à noter que Design Performance Viewer, un module d'analyse dynamique de la consommation énergétique²⁶ qui s'intègre à Revit Architecture, ne figure pas parmi les logiciels de simulation les plus utilisés.

Question 9 : Caractéristiques justifiant choix des logiciels

La figure 27 présente le pourcentage de répondants ayant sélectionné chacun des choix proposés à la question 9. Pour cette question, les répondants étaient invités à choisir un maximum de trois facteurs justifiant dans le choix des logiciels qu'ils utilisent. Un total de 302 répondants a au moins sélectionné un facteur, ce qui correspond à un taux de participation de 86 %. Les répondants ont, en moyenne, sélectionné deux ou trois facteurs chacun puisque 826 sélections ont été enregistrées pour la question 9.

²⁵ Dans le cas de PVsyst, l'interface 3D est très rudimentaire et ne permet pas de bien visualiser les modules solaires actifs dans la composition visuelle d'ensemble du bâtiment.

²⁶ DPV considère les gains solaires passifs dans ses calculs.

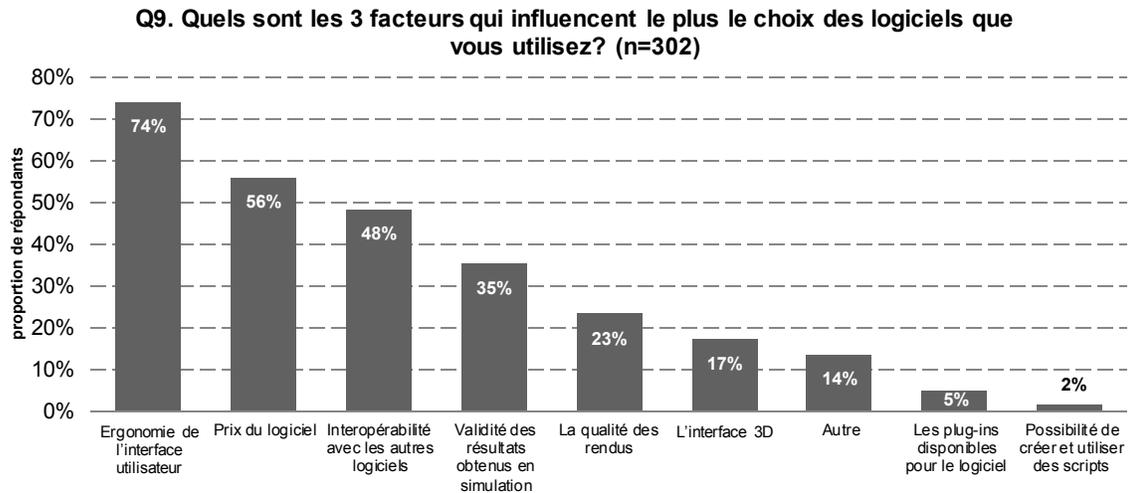


Figure 27 : Distribution des données selon les facteurs influençant le choix des logiciels (question 9, pour tous les pays, 302 répondants pour 826 réponses soumises)

La figure 27 montre que 74 % des 302 répondants à la question 9 considère que l'ergonomie de l'interface du logiciel est le facteur le plus important dans le choix d'un logiciel. Ce résultat confirme les conclusions de plusieurs études réalisées entre 2005 et 2010 et qui soulignent l'importance d'une interface intuitive et conviviale (Attia et al., 2009; Christakou et Amorium, 2005; Lam et al., 2004b; Maassen et al., 2003; Mahdavi et al., 2003; Prazeres et Hand, 2009; Şenyapılı et Bozdağ, 2011; Weytjens et Verbeeck, 2010). Le coût du logiciel est le second facteur d'importance pour les architectes. En effet, plus de la moitié des répondants ont choisi ce facteur (56 %, 169).

L'interopérabilité est le troisième facteur le plus déterminant, sélectionné par près de la moitié des répondants (48 %). L'étude de Yeomans et al. (2006) soulevait deux niveaux d'interopérabilité : à l'échelle de la compagnie et entre les différentes firmes intervenant sur un même projet. Les résultats de la question 8 (voir figures 21 à 26) concernant les logiciels les plus utilisés par les répondants révèlent des informations intéressantes au sujet de l'interopérabilité. En effet, quatre des 21 logiciels les plus utilisés par les répondants (AutoCAD, Revit Architecture, 3ds Max, et Ecotect) sont créés et distribués par la compagnie Autodesk. Ce résultat indique que les firmes participant à l'étude sont portées à acquérir une série de logiciels provenant du même développeur pour faciliter l'échange de données au sein de la compagnie, tel que soulevé par l'étude de Yeomans et al. (2006). De plus, neuf des 41 commentaires enregistrés à cette question concernent l'échange de données entre les bureaux. Cinq de ces commentaires stipulent que le logiciel qu'ils utilisent doit être compatible avec celui utilisé par leurs consultants externes

et quatre autres mentionnent que la popularité du logiciel auprès de l'industrie est un facteur très important. Donc, puisque près de 60 % des répondants utilisent AutoCAD (voir figure 22), les échanges entre les firmes semblent favorisés. Par ailleurs, trois applications supportant un modèle BIM, et ainsi, des formats standards communs à toute l'industrie de la construction, tel que proposé par Rivard (2000), figurent parmi les logiciels les plus utilisés. Tous ces résultats confirment l'importance de l'interopérabilité pour les répondants, et souligné à la question 9.

La validité des résultats obtenus en simulation est le quatrième facteur retenu par 35 % des répondants. Dans un premier temps, ce résultat souligne que seulement 35 % des répondants se sentent concernés par les outils de simulation. Ce résultat est légèrement plus élevé que celui de la question 4, où seulement 28 % des 344 répondants affirmaient utiliser des simulations par ordinateur. D'un autre côté, ce résultat laisse croire que les répondants sont plutôt portés à choisir un logiciel de simulations aux capacités reconnues qu'un nouveau logiciel n'ayant pas fait ses preuves.

Finalement il est intéressant de noter que la qualité des rendus (23 %) et l'interface 3D (17 %) ne figurent pas parmi les facteurs les plus importants. Dans les deux cas, il est probable que cette situation puisse être liée au fait que ces caractéristiques sont déjà incluses dans presque tous les logiciels de conception.

6.3 Les questions relatives à la conception solaire

Parmi les 23 questions présentées aux répondants, dix visent à mieux cerner l'attitude, les compétences, les habitudes de travail et les besoins des répondants en relation à la conception solaire et les outils à leur disposition pour accomplir cette tâche. La question 1 vise à évaluer l'importance de la conception solaire pour les répondants. La question 2 cherche à déterminer les stratégies solaires les plus employées par les répondants. La question 3 tente de déterminer à quel moment le concepteur envisage, pour la première fois, l'exploitation de l'énergie solaire dans son projet. Deux questions permettent de décrire les caractéristiques du processus de conception solaire dans le cas de petits projets (question 5) et de projets plus complexes (question 6). Trois questions (questions 7, 10 et 11) s'intéressent aux logiciels d'aide à la conception solaire. La question 7 vise à évaluer les compétences des répondants de différents types de logiciels, alors qu'à la question 10, ils sont invités à exprimer leur niveau de satisfaction relatif à la

capacité des logiciels qu'ils utilisent à soutenir la conception solaire. La question 11 vise à cibler les principaux obstacles liés à l'utilisation de ces logiciels. La question 12 tente de cerner les principaux développements nécessaires pour encourager et faciliter la pratique de la conception solaire. Enfin, la question 13 offre aux répondants la chance de s'exprimer sur leurs besoins relatifs à l'architecture solaire par le biais d'une question ouverte.

Question 1 : Importance accordée à l'utilisation de l'énergie solaire dans la pratique

La figure 28 présente la répartition des réponses obtenues pour la question 1 qui concerne l'importance accordée à l'énergie solaire dans la pratique architecturale des répondants. Un total de 346 répondants s'est exprimé sur cette question, ce qui correspond à un taux de participation de 98,9 %.

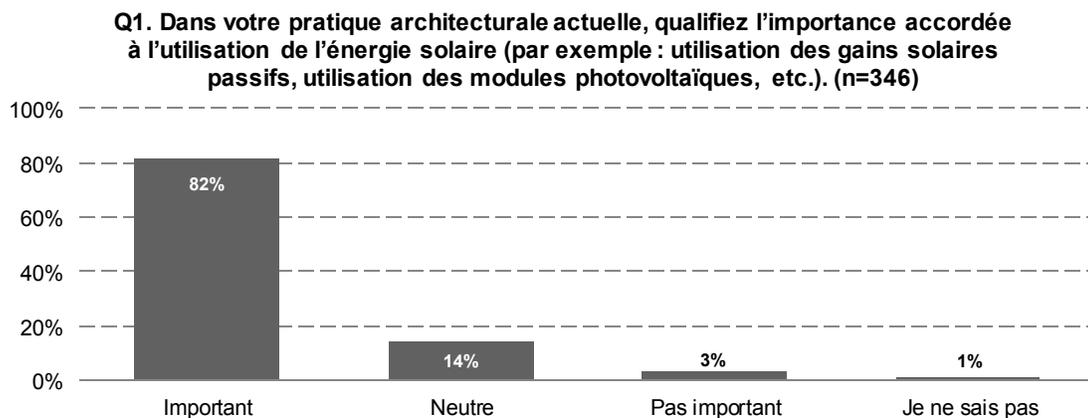


Figure 28 : Distribution des données selon le degré d'importance accordé à l'énergie solaire dans la pratique architecturale (question 1, pour tous les pays, 346 répondants)

Les résultats indiquent qu'une forte majorité des répondants (82 %, n=346) considère que l'utilisation de l'énergie solaire est importante dans leur pratique architecturale. Seulement 3 % des répondants rapportent que l'énergie solaire n'est pas importante dans leur pratique, 14 % se dit neutre par rapport à ce sujet et 1 % « ne sais pas ». Considérant que le sujet de l'enquête était clairement annoncé lors du recrutement des participants, il est probable que les professionnels internationaux qui croient que l'utilisation de l'énergie solaire en architecture n'est pas importante aient tout simplement choisi de ne pas participer à l'étude.

Question 2 : Utilisation des différentes stratégies solaires dans la pratique

À la question 2, les répondants étaient invités à déterminer la fréquence à laquelle ils intégraient les différentes stratégies solaires dans leurs projets d'architecture. Au total, 349 répondants se sont exprimés à cette question, mais le nombre de réponses enregistrées varie d'une stratégie à l'autre. En effet, certains répondants ont omis de caractériser leur utilisation de certaines stratégies. Le tableau 10 présente les différents taux de participation pour la question 2.

Tableau 10 : Taux de participation pour chacune des stratégies présentées à la question 2 (pour tous les pays, 349 répondants)

Stratégies	Nombre de réponses enregistrées	Taux de participation
cellules photovoltaïques pour la production d'électricité	341	97,4 %
technologies solaires thermiques pour la production d'eau	342	97,7 %
technologies solaires thermiques pour le chauffage	331	94,6 %
technologies solaires thermiques pour la climatisation	325	92,9 %
stratégies solaires passives pour le chauffage	338	96,6 %
stratégies pour l'utilisation de la lumière naturelle	339	96,9 %

La figure 29 présente la distribution des réponses soumises pour chacune des stratégies solaires proposées.

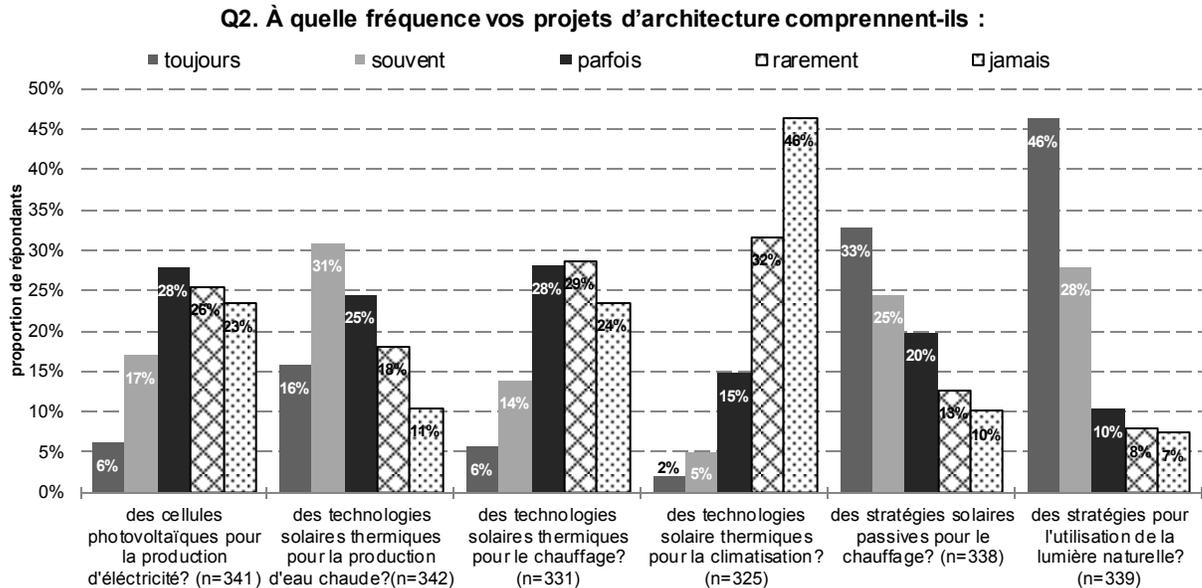


Figure 29 : Distribution des données pour les différentes stratégies solaires selon leur fréquence d'utilisation (question 2, pour tous les pays pour 2016 réponses)

Dans l'ensemble, les stratégies solaires passives pour le chauffage et pour l'utilisation de la lumière naturelle sont très populaires chez les participants à l'enquête. Cependant, il est important de mentionner que le concept de l'éclairage naturel n'était pas défini clairement dans le questionnaire. Il subsiste donc une possibilité que les répondants aient considéré que l'utilisation de la lumière naturelle se limite à la simple présence de fenêtres, alors qu'elle doit nécessairement inclure des ouvertures optimisées et dimensionnées correctement. Pour les gains solaires passifs, 33 % des 338 répondants utilisent « toujours » cette stratégie et 25 % disent l'employer « souvent ». Tenant compte de ce qui vient d'être dit, l'utilisation de la lumière naturelle est encore plus fréquente, alors que près de la moitié (46 %) des 339 répondants disent « toujours » l'intégrer à leurs projets et 28 % le font « souvent ». Plusieurs facteurs peuvent expliquer ces résultats, dont le fait que ces deux stratégies passives n'impliquent pas nécessairement de coûts supplémentaires, contrairement aux différentes technologies solaires actives (Allen et Iano, 2012). En ce sens, il est plus facile d'exploiter directement le rayonnement solaire que par le biais de dispositifs actifs. Toutefois, une utilisation inappropriée de ces stratégies peut provoquer d'importants inconvénients tels que des problèmes de surchauffe en été ou un inconfort visuel pour l'utilisateur (De Carli et De Giuli, 2009) et il est donc primordial de bien maîtriser certains principes solaires de base.

Globalement, les résultats montrent que l'utilisation de cellules photovoltaïques et des technologies solaires thermiques pour le chauffage et pour la climatisation est plutôt faible. En effet, pour les cellules photovoltaïques, 28 % des 341 répondants les emploient « parfois », 26 % les utilisent « rarement » et près du quart du groupe (23 %) n'y a « jamais » recours. Considérant que cette technologie requiert un investissement initial élevé, il est plausible que ce facteur influence leur utilisation. En ce qui concerne les technologies solaires thermiques pour le chauffage, 28 % des 331 répondants les utilisent « parfois », 29 % les emploient « rarement » et près du quart des répondants (24 %) ne les ont « jamais » utilisés. Quant aux technologies solaires thermiques pour la climatisation, les résultats indiquent qu'il s'agit de la stratégie la moins utilisée. En plus de présenter le plus faible taux de réponse (n=325) à la question 2, 32 % mentionnent n'avoir recours à cette technologie que « rarement », alors que près de la moitié des répondants (46 %) ne l'emploie « jamais ». Ce résultat peut être associé au climat des pays ayant participé à l'enquête (voir section 6.1). Effectivement, la grande majorité de ces pays comporte un climat froid ou tempéré, pour lequel l'utilisation de cette technologie n'est pas réellement appropriée.

Enfin, les résultats sont plutôt diversifiés pour l'usage de technologies solaires thermiques pour la production d'eau chaude. En effet, les répondants disent employer « souvent » cette technologie dans une proportion de 31 %, alors que 25 % l'utilise « parfois » et 18 % « rarement ». Seulement 16 % des répondants y ont « toujours » recours alors que 11 % ne l'ont « jamais » utilisé dans leurs projets.

Question 3 : Moment du processus de conception où l'intégration de technologies solaire est considérée pour la première fois

À la question 3, les répondants devaient préciser à quel moment de leur processus de conception ils considéraient, pour la première fois, l'intégration de technologies solaires. La figure 30 présente la distribution des réponses selon les phases du processus de conception. Un total de 337 répondants s'est exprimé sur cette question, ce qui correspond à un taux de participation de 96 %.

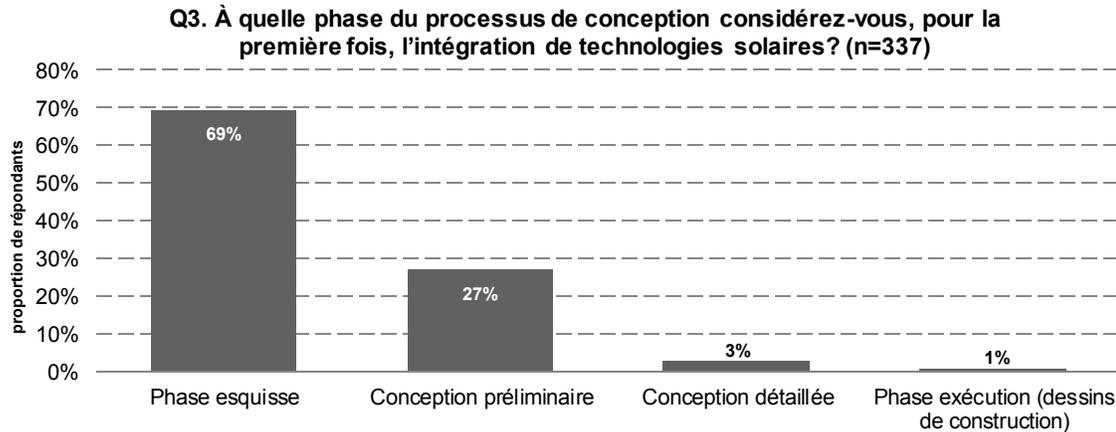


Figure 30 : Distribution des données selon les phases de conception au cours de laquelle les technologies solaires sont envisagées pour la première fois (question 3, pour tous les pays, 337 répondants)

Les données recueillies révèlent que presque tous les répondants (n=337) envisagent l'intégration des technologies solaires dès les premières étapes de conception, soit 69 % en phase esquisse et 27 % en phase de conception préliminaire. Ce résultat démontre que les répondants, qui accordent majoritairement une grande importance à l'utilisation de l'énergie solaire en architecture (voir question 1) sont conscients que les premières étapes de conception sont cruciales pour la réalisation d'une architecture solaire de qualité.

Questions 5 et 6 : Stratégies reliées au processus de conception solaire

Les questions 5 et 6 visent à cerner le processus de conception solaire des répondants en situant sept différentes stratégies selon les phases du processus de conception. Les sept stratégies sont :

- 1) Je prends les décisions moi-même.
- 2) Je consulte un collègue architecte possédant une expérience spécifique.
- 3) J'engage un consultant interne en énergie solaire.
- 4) J'engage un consultant externe en énergie solaire.
- 5) J'engage un ingénieur spécialisé.
- 6) J'organise une séance de travail multidisciplinaire.
- 7) J'implique d'autres professionnels.

Considérant que l'envergure du projet peut influencer les méthodes de conception envisagées et le nombre d'intervenants impliqués, les répondants étaient invités à décrire, à la question 5, le déroulement des prises de décisions concernant l'intégration de

technologies solaires dans des petits projets. La question 6 touche plutôt sur les projets de plus grande envergure.

Petits projets (question 5)

Un total de 332 répondants s'est exprimé sur cette question, ce qui correspond à un taux de participation de 95 %. Un total de 1745 réponses a été enregistré, réparti entre les quatre phases de conception comme suit :

- phase conceptuelle (esquisse) : 440 réponses;
- phase de conception préliminaire : 549 réponses;
- phase de conception détaillée : 417 réponses;
- dessins de construction : 339 réponses.

Le nombre de réponses enregistrées indique que les répondants ont recours à plus d'une stratégie décisionnelle pour leur conception solaire. La figure 31 présente le pourcentage de répondants ayant sélectionné chacune des stratégies présentées pour chaque phase du processus de conception. Cette manière de présenter les résultats permet de comparer entre elles les différentes phases du processus de conception en fonction des stratégies qui leur sont associées.

Q5. Comment se déroulent les prises de décision concernant l'intégration de technologies solaires dans vos petits projets (moins complexes)? (n=332)

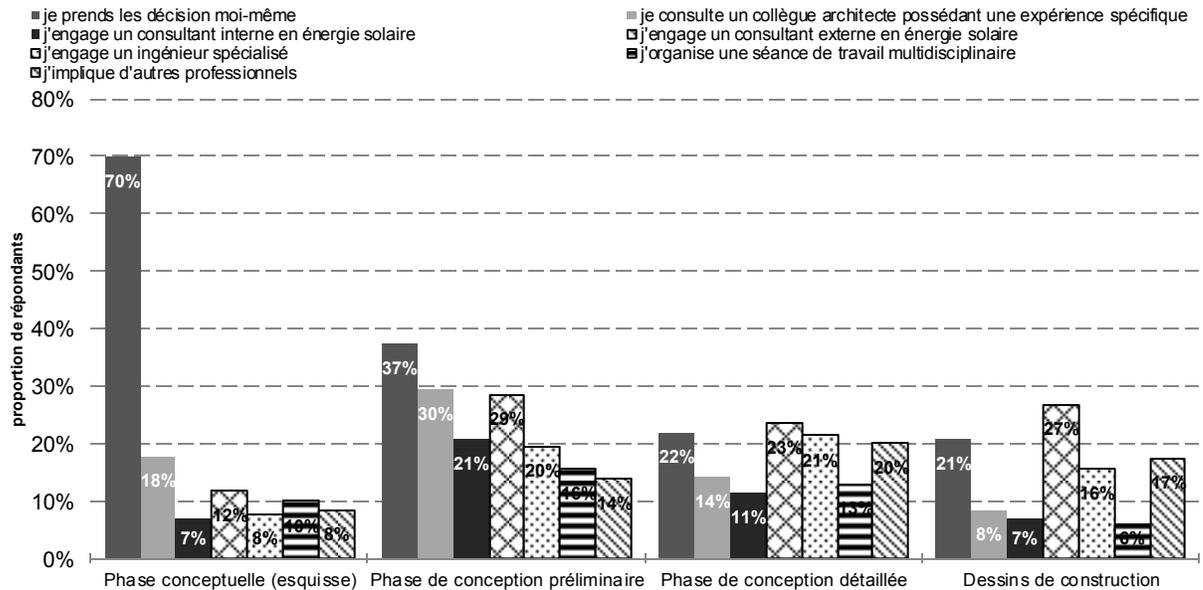


Figure 31 : Distribution des données selon les méthodes de conception utilisées pour chaque phase du processus de conception des projets moins complexes (question 5, pour tous les pays, 332 répondants pour 1745 réponses)

Les résultats montrent que, dans le cas de projets de petite envergure, les répondants prennent généralement des décisions individuellement en ce qui concerne l'utilisation des technologies solaires. Cette observation est surtout valable pour les premières phases de conception où, en phase d'esquisse, 70 % des 332 répondants prennent des décisions par eux-mêmes. Cette situation concerne aussi 37 % des répondants en phase préliminaire.

Alors que l'esquisse constitue clairement un processus individuel dans le cas de petits projets, la prise de décision tend à devenir multidisciplinaire dès la phase conception préliminaire. En effet, l'intervention d'un consultant externe en énergie solaire est présente pour 29 % des répondants en phase de conception préliminaire, 23 % en phase de conception détaillée et 27 % lors de la production des dessins de construction. De plus, l'implication d'un ingénieur spécialisé caractérise la phase préliminaire de 20 % des répondants et la phase de conception détaillée de 21 % d'entre eux.

Projets complexes (question 6)

Un total de 305 répondants s'est exprimé sur cette question, ce qui correspond à un taux de participation de 87 %. Un total de 1892 réponses a été enregistré, réparti entre les quatre étapes de conception comme suit :

- phase conceptuelle (esquisse) : 506 réponses;
- phase de conception préliminaire : 595 réponses;
- phase de conception détaillée : 456 réponses;
- dessins de construction : 335 réponses.

Tout comme pour la question 5, les répondants ont opté pour plus d'une stratégie afin de décrire chacune de leurs phases de conception architecturale pour la réalisation de gros projets. Il est aussi intéressant de noter que, même si moins de répondants ont participé à la question 6 qu'à la question 5, plus de réponses ont été enregistrées. Dans un premier temps, ceci indique que le processus de conception solaire est plus complexe dans le cas de projet de plus grande envergure. La figure 32 montre le pourcentage de répondants ayant sélectionné chacune des stratégies décisionnelles présentées pour chaque phase du processus de conception.

6. Comment se déroulent les prises de décision concernant l'intégration de technologies solaires dans vos grands projets (plus complexes)? (n=305)

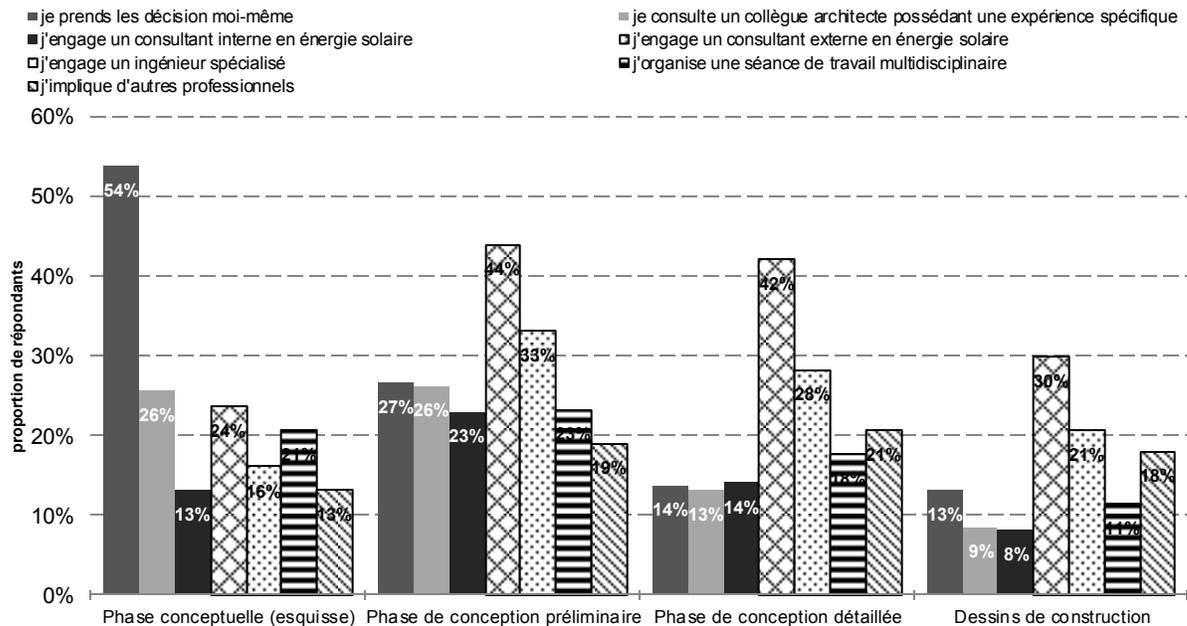


Figure 32 : Distribution des données selon les méthodes de conception utilisées pour chaque phase du processus de conception des projets plus complexes (question 6, pour tous les pays, 305 répondants pour 1892 réponses)

Premièrement, il est intéressant de noter que, pour les projets d'envergure, l'étape de l'esquisse demeure, pour plus de la moitié des 305 répondants, un processus individuel. Il est toutefois important de souligner que, globalement, le travail collaboratif entre architectes au sein de la même firme est plutôt constant lors des premières étapes de conception des projets complexes. En effet, en phase conceptuelle et de conception préliminaire, 26 % des répondants consultent un collègue architecte lors de l'intégration de technologies solaires.

Deuxièmement, l'élaboration d'un projet complexe semble, selon les résultats obtenus, plutôt multidisciplinaire. En effet, l'organisation de séances de travail pluridisciplinaires touche près du quart des répondants en phase de conception préliminaire (23 %). En phase conceptuelle, cette méthode de travail rejoint 21 % des répondants, ce qui est aussi un indice d'un processus de conception intégré (voir question 16). De plus, La figure 32 indique qu'une forte proportion de répondants a recours à un consultant en énergie solaire (qu'il soit interne ou externe) ou à un ingénieur spécialisé. Pour l'intégration de technologies solaires, les résultats suggèrent que les répondants travaillent principalement avec des consultants externes (44 % en phase préliminaire). Ce résultat tend à confirmer

les résultats de Weytiens et Verbeeck (2010) et qui révèlent que 38 % de leurs 629 répondants font appel à des spécialistes pour appuyer leurs choix de conception lors de la conception d'édifices à faible énergie.

Pour les gros et petits projets, les réponses aux questions 5 et 6 montrent qu'une très faible proportion de répondants fait appel à un consultant interne. En effet, uniquement 69 et 70 répondants²⁷ semblent bénéficier du soutien d'un collègue spécialisé en énergie solaire au sein de leur firme. Puisque la majorité des répondants (voir section 6.1) œuvre dans des firmes de petite taille, il est compréhensible que peu d'entre elles comptent un consultant interne en énergie solaire.

Question 7 : Compétences des répondants dans l'utilisation des outils solaires

À la question 7, les répondants étaient invités à évaluer leurs compétences relativement à différents types d'outils d'aide à la conception d'architecture solaire. Au total, 320 répondants se sont exprimés à cette question, mais le nombre de réponses enregistrées varie selon le type d'outils. En effet, certains répondants ont omis de préciser leurs connaissances relatives à certains outils. Un manque de connaissances de ces outils pourrait constituer une hypothèse pour ces abstentions. Le tableau 11 présente les taux de participation pour la question 7.

Tableau 11 : Taux de participation pour chacun des types outils présentés à la question 7, pour tous les pays (320 répondants)

Type d'outils	Nombre de réponses enregistrées	Taux de participation
Méthodes graphiques pour la conception solaire	310	96,9 %
CAAO	307	95,9 %
Fonctions pour la conception solaire intégrées auxCAAO	303	94,7 %
Logiciels avancés pour la simulation énergétique ou solaire	311	97,2 %

La figure 33 présente la distribution de la perception des participants de leurs propres compétences actuelles pour chacun des types d'outils d'aide à la conception solaire.

²⁷ Pour la phase de conception préliminaire, 69 répondants (21 %) y ont recours dans le cas de petits projets (question 5) et 70 répondants (23 %) dans le cas de projets complexes (question 6).

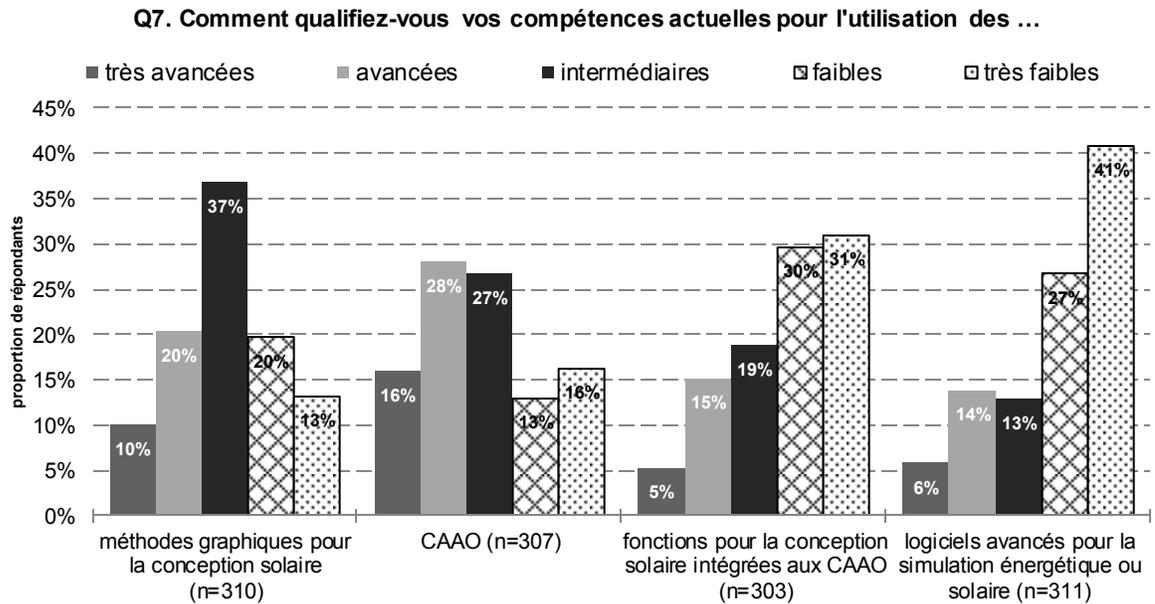


Figure 33 : Distribution des données selon le niveau de compétence pour chaque type d'outils (question 7, pour tous les pays, 349 répondants pour 2016 réponses)

Considérant les trois degrés les plus élevés (très avancées, avancées et intermédiaires), les résultats montrent que les logiciels CAAO sont les outils pour lesquels les répondants considèrent qu'ils ont les plus grandes compétences. Concrètement, la figure 33 montre que 16 % des 307 participants disent posséder des compétences « très avancées » pour ce type d'outil, 28 % se qualifient d'utilisateurs « avancés » et 27 % se disent « intermédiaires ». Ce résultat vient appuyer celui de la question la question 8, où la majorité des réponses concernaient les logiciels de CAAO. Toutefois, il est intéressant de constater que, contrairement aux logiciels de CAAO, les fonctionnalités de calcul solaire que possèdent ces logiciels sont beaucoup moins connues des répondants. En effet, en plus de présenter le plus faible taux de participation pour la question 7, plus de 60 % des 303 répondants affirment posséder des compétences « faibles » (30 %) ou « très faibles » (31 %) pour l'utilisation de ces fonctions.

Les logiciels avancés de simulation énergétique ou solaire ont reçu le plus fort taux de participation et la plus faible évaluation. Il semble donc que les participants à l'étude connaissent l'existence de ce type de logiciel, mais qu'ils ne savent pas bien les utiliser dans leur pratique architecturale courante. Les réponses enregistrées indiquent que 27 % des 311 répondants considèrent que leurs compétences entourant les logiciels de simulation sont « faibles » et 41 % ont répondu qu'elles sont « très faibles ». Ce résultat

tend à appuyer les données recueillies à la question 8 où moins de 10 % des 275 répondants mentionnaient utiliser des outils de simulation. Les études de Lam (1999), De Wilde et al. (2001), Mahdavi et al (2003) ainsi que Weytjens et Verbeeck (2010) avaient aussi soulevé la faible utilisation des logiciels de simulation par les concepteurs de bâtiments. Ce résultat correspond aussi à la description que les répondants font de leurs méthodes de conception (questions 5 et 6) alors qu'une forte proportion de répondants consultait des experts externes pour l'intégration de technologies solaires.

Finalement, les compétences des répondants concernant les méthodes graphiques pour la conception solaire sont ni « très avancées », ni « très faibles », mais « intermédiaires ». Effectivement, la figure 33 montre, pour ce type d'outils, une distribution pratiquement symétrique des résultats concernant ce type d'outils, en plus de présenter une forte proportion de répondants qualifiant leurs compétences d'« intermédiaires » (37 %).

Question 10 : Niveau de satisfaction des répondants concernant les capacités solaires des logiciels qu'ils utilisent

Pour la question 10, les répondants étaient invités à évaluer les fonctionnalités solaires de chacun des logiciels qu'ils utilisent couramment en exprimant leur niveau de satisfaction selon une échelle à cinq niveaux (très satisfait, satisfait, neutre, insatisfait, très insatisfait). Une liste exhaustive de 51 logiciels, identique à celle présentée à la question 8, figurait dans le questionnaire. Un total de 244 répondants a répondu à la question, ce qui correspond à un taux de participation de 70 %.

Un total de 727 réponses a été enregistré pour la question 10. La figure 34 présente le nombre de réponses recueillies pour la question 10 et leur répartition entre les différentes catégories de logiciels et les niveaux d'appréciation.

10. Pour les logiciels que vous utilisez couramment, quel est votre niveau de satisfaction concernant leur capacité à intégrer les stratégies solaires et de leurs composants dans la conception des bâtiments. (n=727)

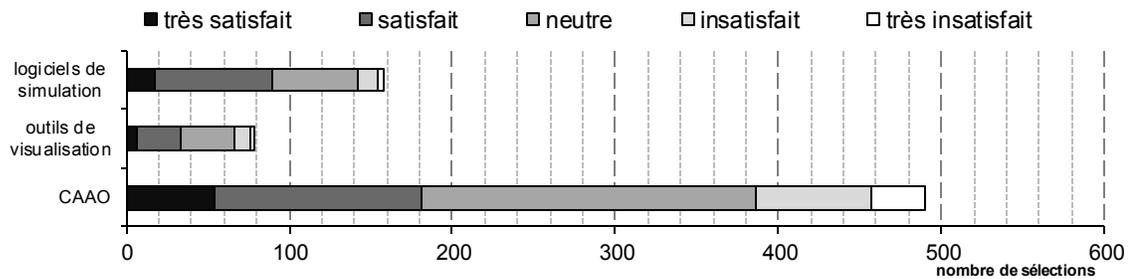


Figure 34 : Distribution des données enregistrées pour chaque type d'outil informatique selon le niveau de satisfaction des utilisateurs (question 10, pour tous les pays, 244 répondants, 727 réponses soumises)

Tel qu'observé pour la question 8, la plus grande proportion des réponses enregistrées concerne les logiciels CAAO (67 %, n=727). Les logiciels de simulation obtiennent 22 % des réponses et les outils de visualisation 11 %. Cette distribution des données par catégories de logiciels semble représentative de l'utilisation qu'en font les participants à l'étude. L'analyse des résultats de la question 10 se concentrera sur les 21 logiciels les plus utilisés par les répondants, déterminés à la question 8. Ici aussi, l'analyse est présentée en trois parties, correspondant chacune à l'un des types d'outils informatiques.

Logiciels de CAAO

Les 244 répondants à la question 10 ont fait 490 sélections au total pour les logiciels de CAAO. La figure 35 montre la distribution, en pourcentage, des réponses concernant le niveau de satisfaction des utilisateurs des six logiciels de CAAO les plus populaires chez les répondants, soit AutoCAD, Google SketchUp, Revit Architecture, ArchiCAD, 3ds Max et Vectorworks, en regard de leur capacité à informer et soutenir le processus de conception solaire. Ce graphique présente la proportion du nombre de sélections réalisées pour chacun des logiciels.

Q10. Pour les logiciels que vous utilisez couramment, quel est votre niveau de satisfaction concernant leur capacité à intégrer les stratégies solaires et de leurs composants dans la conception des bâtiments - CAAO

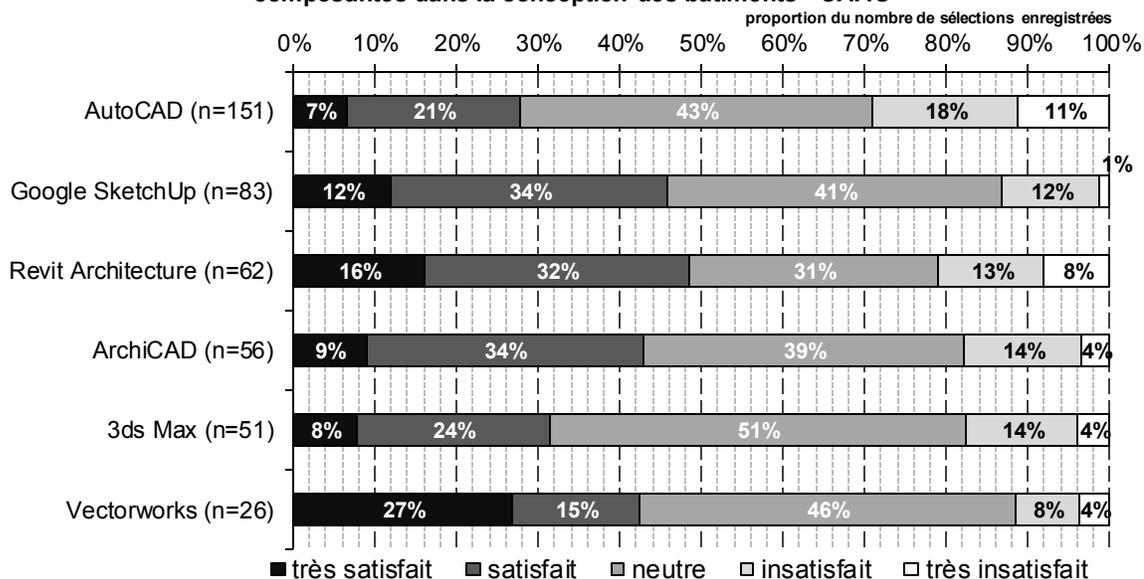


Figure 35: Distribution des données selon le niveau de satisfaction des utilisateurs pour les logiciels de CAAO les plus employés (question 10, pour tous les pays, 244 répondants pour 490 réponses)

Dans l'ensemble, les utilisateurs des différents logiciels de CAAO semblent plutôt « neutres » (entre 31 % et 46 %, selon les logiciels) ou « satisfaits » (entre 15 % et 34 %, selon les logiciels) de leurs fonctionnalités solaires. Hormis Vectorworks, pour lequel 27 % des 26 utilisateurs se disent « très satisfaits », peu de répondants (entre 7 % et 16 %) semblent « très satisfaits » de la capacité des logiciels à soutenir la conception solaire. Bien que les données enregistrées soient plutôt « neutres » ou positives, les logiciels de CAAO présentent les plus hauts taux d'insatisfaction²⁸ parmi les trois catégories de logiciels (entre 13 % et 29 %) pour leurs capacités solaires. Ces résultats, jumelés à ceux de la question 7, peuvent indiquer que les fonctionnalités solaires intégrées aux CAAO ne correspondent pas à leurs besoins ou attentes, qu'ils les utilisent peu, ou encore qu'ils ne les connaissent tout simplement pas.

Les fonctionnalités solaires de Google SketchUp et de Revit Architecture paraissent les plus appréciées par leurs utilisateurs respectifs. Dans le cas de Google SketchUp, 12 % (n=83) des utilisateurs se disent « très satisfaits » et 34 % sont « satisfaits ». Considérant que ce logiciel est probablement le plus populaire pour les premières étapes de conception, et que les utilisateurs semblent connaître et employer ses capacités de calculs

²⁸ Utilisateurs insatisfaits et très insatisfaits regroupés.

solaires, ces résultats indiquent un potentiel intéressant pour le développement d'une architecture solaire. De plus, puisque la plupart des fonctionnalités solaires de Google SketchUp se présentent sous la forme de plugiciel, cette avenue de développement semble un bon exemple à suivre pour apporter des améliorations aux logiciels de CAAO pour soutenir la conception architecturale solaire dès les premières étapes de conception.

Dans le cas de Revit architecture, 16 % (n=62) des utilisateurs se disent « très satisfaits » alors que 32 % sont « satisfaits ». Puisque ce logiciel est l'application BIM la plus employée par les répondants, il est intéressant de remarquer qu'une forte proportion des utilisateurs de Revit Architecture connaissent les options de calculs solaires offertes par ce logiciel et qu'ils en sont plutôt « satisfaits ». Cela signifie que les récents développements réalisés pour intégrer Ecotect et Green Building Studio à Revit Architecture sont appréciés des utilisateurs.

Finalement, il a été établi à la section 6.2 – question 8, qu'AutoCAD était le logiciel de CAAO le plus utilisé par les répondants et ce, tout au long du processus de conception. Il semble toutefois que la popularité du logiciel ne soit pas due à sa capacité à soutenir la conception solaire, car à ce propos, les répondants ont généralement une opinion « neutre ». De plus, parmi les six logiciels de CAAO évalués à la figure 35, AutoCAD est celui qui présente la distribution la plus symétrique, ce qui signifie que les opinions sur ce logiciel sont plutôt divisées.

Logiciels de visualisation

Les 244 répondants à la question 10 ont fait 79 sélections au total pour les logiciels de visualisation. La figure 36 présente la distribution des réponses concernant le niveau de satisfaction des utilisateurs des six logiciels de visualisation les plus populaires soit Artlantis, V-Ray, Renderworks, Maxwell Render, Mental Ray et LightWave, en regard de leur capacité à soutenir la conception solaire.

10. Pour les logiciels que vous utilisez couramment, quel est votre niveau de satisfaction concernant leur capacité à intégrer les stratégies solaires et de leurs composants dans la conception des bâtiments - *outils de visualisation*

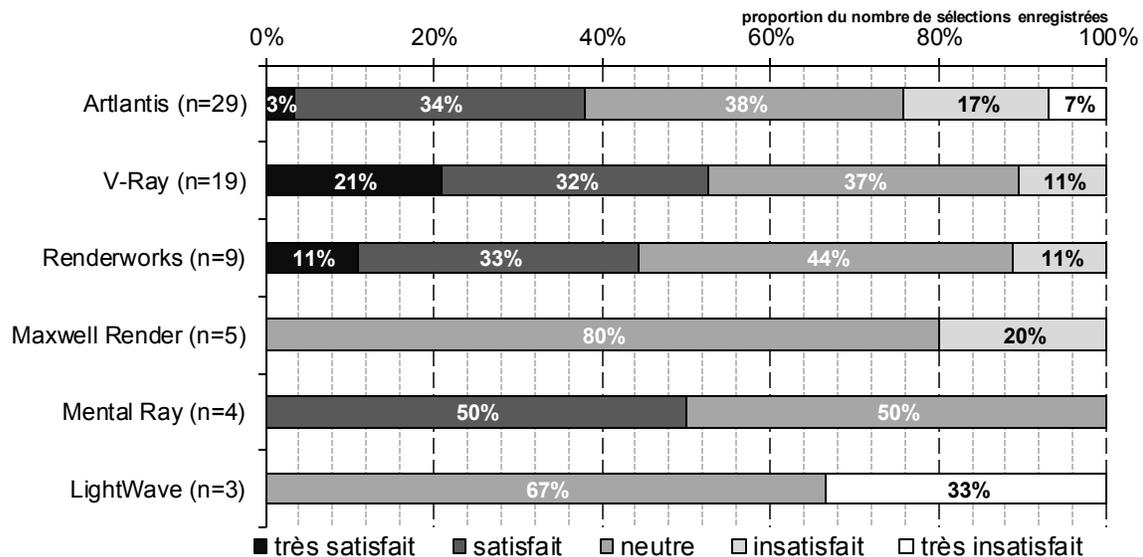


Figure 36 : Distribution des données selon le niveau de satisfaction des utilisateurs pour les outils de visualisation les plus employés (question 10, pour tous les pays, 244 répondants pour 79 réponses)

Les résultats indiquent que, dans l'ensemble, les utilisateurs de logiciels de visualisation sont aussi généralement « neutres » relativement à leur capacité d'aider la conception solaire. Il faut toutefois mentionner que cette catégorie de logiciel peut uniquement effectuer une évaluation qualitative de la lumière naturelle dans les espaces et ce, dans certains cas seulement. En effet, malgré que certains répondants semblent satisfaits des fonctionnalités solaires incluses dans RenderWorks et LightWave, les calculs de lumière réalisés par ces logiciels ne reposent pas sur des algorithmes reproduisant le comportement réel de la lumière²⁹. Il est donc évident qu'une certaine éducation doit être faite auprès des utilisateurs de ces outils afin d'éviter des évaluations qualitatives erronées, d'autant plus que l'utilisation de la lumière naturelle est l'approche de l'architecture solaire la plus exploitée par les répondants à l'étude (voir question 2).

Logiciels de simulation

Pour les logiciels de simulation, 244 répondants ont effectué 158 sélections. La figure 37 présente la distribution des réponses concernant le niveau de satisfaction des utilisateurs des neuf logiciels de simulation les plus populaires, soit Ecotect, RETScreen, Radiance,

²⁹ Selon les informations analysées au moment de la réalisation de l'inventaire des outils informatiques.

Polysun, PVSol, PVsyst, eQUEST, IES VE et DesignBuilder, en regard de leur capacité à soutenir la conception solaire. Ce graphique présente la distribution des sélections pour chacun des logiciels.

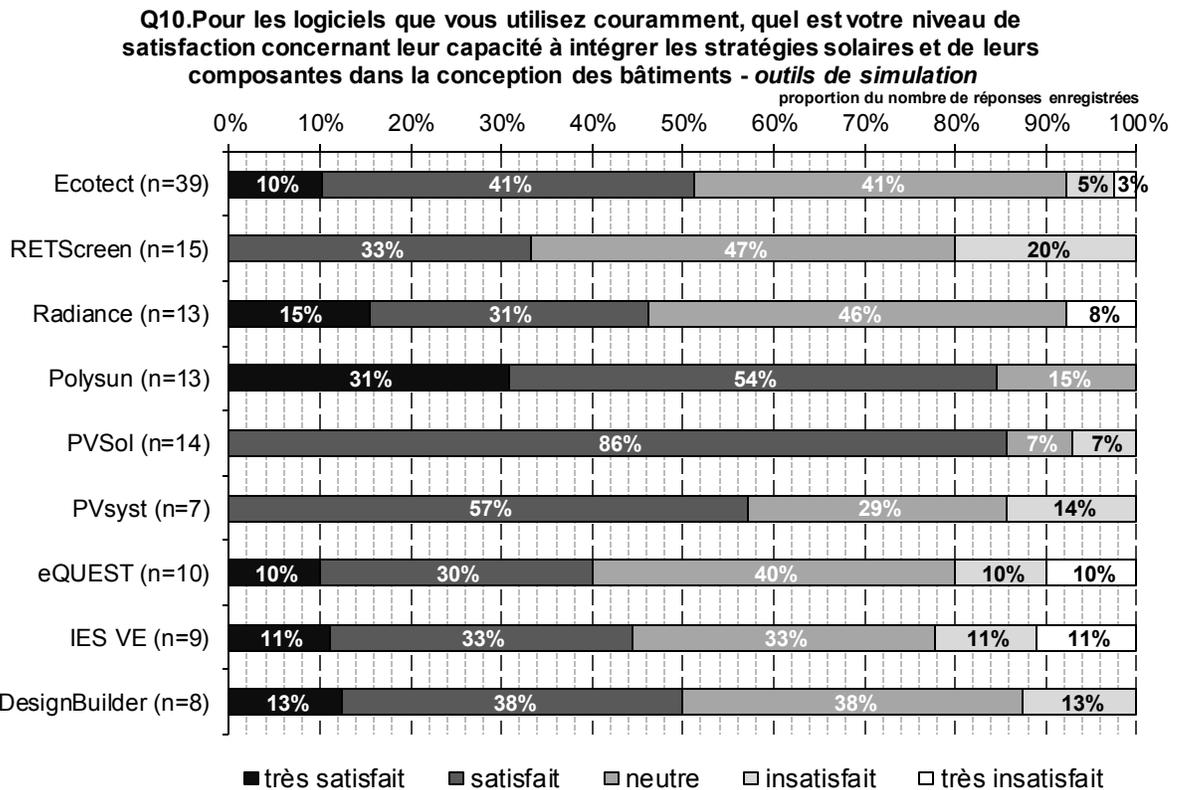


Figure 37 : Distribution des données selon le niveau de satisfaction des utilisateurs pour les outils de simulation les plus employés (question 10, pour tous les pays, 244 répondants pour 158 réponses)

Les données recueillies pour les outils de simulation montrent que leurs utilisateurs sont, dans l'ensemble, plutôt « satisfaits » de leurs différentes fonctionnalités de calculs solaires³⁰.

RETScreen, Polysun, PVSol et PVsyst sont les outils obtenant les meilleures évaluations, bien qu'ils ne possèdent pas d'interface 3D. Dans le cas de RETScreen, il est probable que ce résultat soit associé à son interface très conviviale et facile d'utilisation. Dans le cas de Polysun, PVSol et PVsyst, il s'agit de logiciels spécialisés pour les systèmes solaires actifs dont la validité est reconnue. Il est toutefois étonnant de constater qu'ils

³⁰ Il est important de souligner que ces logiciels sont très spécialisés et que, dans la majorité des cas, les évaluations énergétiques et solaires sont leurs fonctions premières.

obtiennent de bonnes évaluations même si ces quatre outils ne supportent pas l'intégration architecturale des systèmes. Ce facteur ne semble pas influencer pas le niveau de satisfaction des utilisateurs.

Finalement, les logiciels de simulation présentant le plus d'utilisateurs « insatisfaits » (bien qu'en faible proportion) sont Radiance (8 %), eQUEST (10 %) et IES VE (11 %). Ces trois logiciels figurent toutefois parmi les logiciels dont la validité des résultats est la plus reconnue dans l'industrie. Leur interface complexe et peu intuitive peut peut-être expliquer l'insatisfaction à leur égard.

Question 11 : Obstacles liés à l'utilisation des logiciels disponibles pour la conception solaire

La figure 38 présente la répartition des réponses pour chacun des obstacles proposés à l'égard des logiciels d'aide à la conception solaire. Pour cette question, les répondants étaient invités à choisir tous les obstacles qu'ils jugeaient susceptibles de nuire à l'utilisation des logiciels actuellement disponibles pour l'intégration architecturale de stratégies solaires et de leurs composantes. Un total de 283 répondants a au moins sélectionné un obstacle, ce qui correspond à un taux de participation de 81 %. Les répondants ont, en moyenne, sélectionné deux ou trois réponses chacun puisque 685 sélections ont été enregistrées pour la question 11.

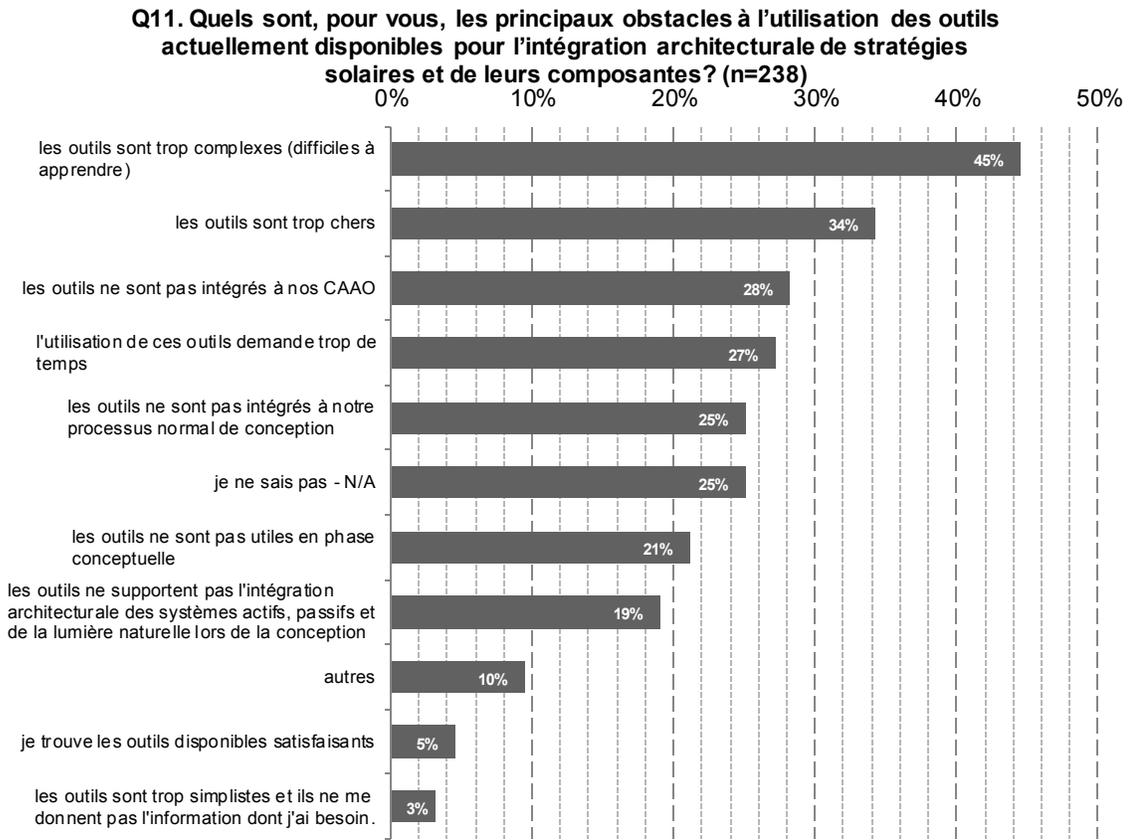


Figure 38 : Distribution des données selon les principaux obstacles à l'utilisation des outils informatiques pour l'intégration architecturale des stratégies solaires (question 11, pour tous les pays, 238 répondants pour 685 réponses)

Dans l'ensemble, la figure 38 indique que les logiciels solaires fournissent des données pertinentes aux concepteurs, mais qu'ils présentent plusieurs inconvénients qui limitent leur emploi. Près de la moitié des répondants (45 %, n=238) considère que ces outils sont trop complexes. Cette complexité perçue peut être en partie attribuée à un manque de connaissances de la part des utilisateurs, ou alors à leur manque de formation, puisque cinq des 27 commentaires reçus mentionnaient un manque de connaissance pour ces logiciels ou un manque de temps pour les apprendre. Par ailleurs, rappelons qu'à la question 9, les répondants ont manifesté leur intérêt pour des logiciels possédant une interface ergonomique, c'est-à-dire conviviale et facile d'utilisation. De plus, 34 % des répondants considèrent que ces logiciels sont trop coûteux à l'achat. Ce dernier résultat est cohérent avec ceux de la question 9 où le coût des logiciels figurait parmi les facteurs les plus importants.

Il semble aussi que les répondants recherchent des outils simplifiés qui les guident tout au long du processus de conception. En effet, pour 28 % des répondants, il serait préférable que les logiciels de conception solaire soient intégrés aux logiciels de CAAO qu'ils utilisent couramment. Ce résultat pourrait expliquer en partie que les logiciels de CAAO aient recueilli, à la question 10, les plus hauts taux d'utilisateurs « insatisfaits » et « très insatisfaits » pour les fonctionnalités solaires qu'ils possèdent. La fusion des logiciels de simulation avec ceux de CAAO pourrait aussi éliminer d'autres obstacles énoncés par les répondants. Plus du quart des répondants (27 %) considère que l'utilisation des logiciels d'aide à la conception solaire requiert trop de temps, alors que 25 % des répondants affirment que ces outils ne sont pas intégrés à leur processus habituel de conception. De plus, 21 % mentionnent que ces logiciels ne sont pas adaptés aux premières phases de conception, ce qui confirme les conclusions de l'inventaire sur les logiciels (voir chapitre 5). Ceci étant dit, plusieurs auteurs s'accordent à dire que l'intégration des outils solaires aux logiciels de CAAO épargnerait du temps aux concepteurs et il deviendrait plus facile de les utiliser du début à la fin du développement du projet (Christakou et Amorium, 2005; Mahdavi et al., 2003; Weytjens et Verbeeck, 2010).

Question 12 : Développements jugés nécessaires pour soutenir l'intégration des systèmes solaires à la conception des bâtiments.

À la question 12, les répondants étaient invités à déterminer les principales améliorations à apporter aux logiciels existants pour d'améliorer leur capacité à soutenir la conception solaire. Un total de 268 répondants s'est exprimé sur cette question, ce qui correspond à un taux de participation de 77 %. Un total de 1382 réponses a été enregistré, réparti entre les quatre étapes de conception comme suit :

- phase conceptuelle (esquisse) : 425 réponses;
- phase de conception préliminaire : 508 réponses;
- phase de conception détaillée : 286 réponses;
- dessins de construction : 163 réponses.

Le nombre de réponses enregistrées pour la question 12 indique que plusieurs des répondants ont identifiés plus d'une amélioration à apporter, pour chacune des phases de conception architecturale, aux logiciels pour soutenir l'intégration des systèmes solaires dans la conception des bâtiments. De plus, tel que soulevé dans les conclusions de l'inventaire (voir section 5.7) ainsi qu'à la question 11, il semble que plus de

développements et d'améliorations sont requis pour les premières phases de la conception, puisqu'un plus grand nombre de sélections a été enregistré pour ces phases. La figure 39 présente le pourcentage de répondants ayant sélectionné chacune des options proposées pour chaque phase du processus de conception. Cette manière de représenter les résultats permet de comparer la variation des besoins en fonction de la phase de conception du projet.

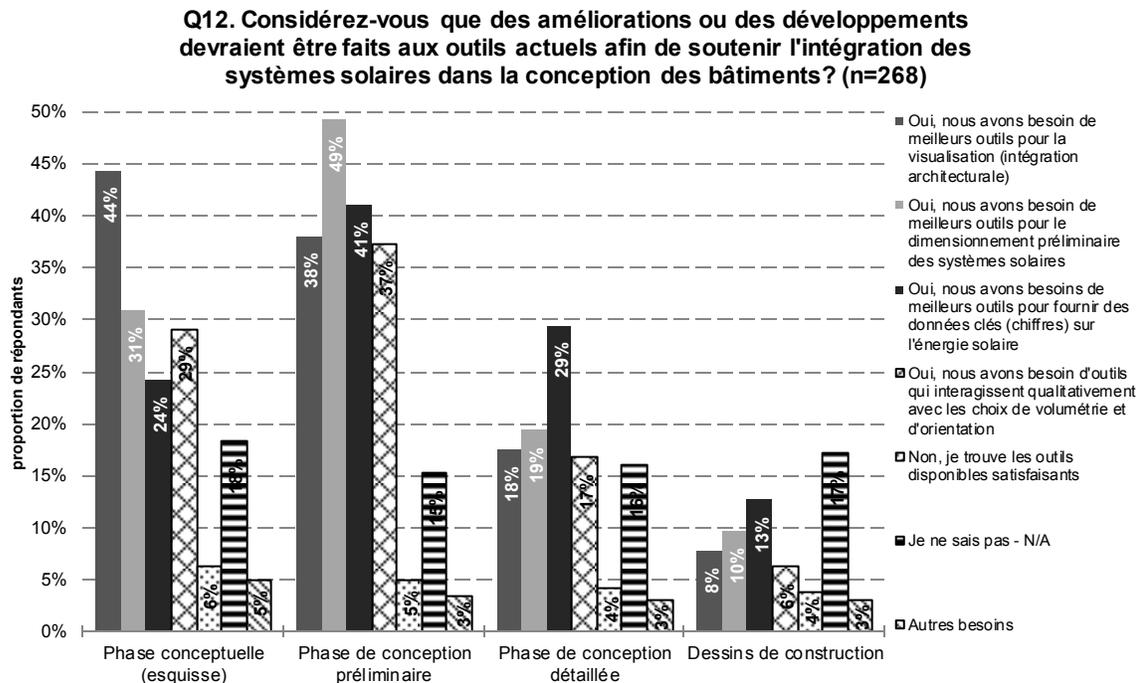


Figure 39: Distribution des données pour chaque étape du processus de conception selon les principales améliorations à apporter aux outils actuels pour la conception solaire (question 12, pour tous les pays, 268 répondants pour 1382 réponses)

Dans un premier temps, les données illustrées à la figure 39 suggèrent que, pour les premières phases de conception, une très forte proportion de répondants désire de meilleurs outils pour la visualisation des systèmes solaires et leur prédimensionnement. En effet, une meilleure visualisation des systèmes est souhaitée, pour l'esquisse, par 44 % des 268 répondants et par 38 % d'entre eux en phase préliminaire. De plus, en phase esquisse, 31 % des répondants désirent de meilleurs logiciels pour le dimensionnement préliminaire des systèmes actifs alors que cet aspect intéresse 49 % des répondants en phase préliminaire. Il apparaît donc que des outils simplifiés permettant à la fois le dimensionnement préliminaire et la visualisation des systèmes seraient appréciés des répondants. Il est aussi possible de croire qu'un outil de dimensionnement préliminaire

intégré aux logiciels de CAAO, qui sont déjà très utilisés en début de processus (voir question 8), permettrait d'améliorer l'intégration architecturale des systèmes, puisque ce type de logiciels présente déjà une interface 3D. Rappelons qu'à la question 11, plusieurs répondants soulevaient qu'un obstacle important à l'utilisation des outils actuellement disponible était leur faible intégration aux logiciels de CAAO.

Deuxièmement, les résultats indiquent que les répondants, qu'on sait sensibilisés à l'importance de l'énergie solaire en architecture (voir question 1), connaissent l'influence de la volumétrie et de l'orientation sur l'efficacité énergétique des bâtiments. Effectivement, 29 % (phase conceptuelle) et 37 % (phase préliminaire) des répondants demandent que les outils interagissent qualitativement avec les formes réalisées. Il est clair qu'une fonction de ce type intégrée aux logiciels de CAAO assurerait une meilleure performance des édifices sur le plan du solaire passif (Donn, 1999; Meniru et al., 2003; Prazeres et Hand, 2009; Weytjens et Verbeeck, 2010).

Les répondants signalent aussi leur intérêt pour des logiciels offrant des données numériques claires sur l'énergie solaire. Ce besoin est exprimé par 24 % des 268 répondants en phase conceptuelle, 41 % en phase préliminaire et 29 % en phase de conception détaillée. Le manque d'outil de ce type avait aussi été soulevé par l'évaluation des logiciels disponibles (voir section 5,7).

Finalement, les proportions de répondants ayant répondu que les outils étaient « satisfaisants » et ceux qui n'avaient pas d'opinion sur le sujet, sont plutôt stables d'une phase de conception à l'autre. On peut avancer qu'il s'agit probablement toujours du même petit groupe³¹ de répondants qui a fourni l'une et l'autre de ces réponses.

Question 13 : Commentaires apportés pour le développement d'une architecture solaire de qualité

À la question 13, les répondants étaient invités à inscrire leurs commentaires pouvant participer au développement d'une architecture solaire de qualité en améliorant le processus de conception. Un total de 65 répondants a inscrit un commentaire, ce qui correspond à un taux de participation de 19 %. L'ensemble des commentaires recueillis est présenté à l'annexe D.

³¹ Entre 11 et 17 répondants qui trouvent les outils satisfaisants et entre 41 et 49 répondants qui n'ont pas d'opinion sur le sujet.

Pour l'analyse de ces données, les commentaires ont été associés à différents thèmes. Considérant la liberté d'expression dont pouvaient faire preuve les répondants, certains commentaires sont associés à plus d'un thème. Il est possible de mettre en évidence quatre thèmes principaux parmi les 65 commentaires enregistrés (voir tableau 12). Afin de préciser la nature des commentaires inscrits par les répondants, 27 sous-thèmes³² ont été identifiés. L'analyse sera présentée en quatre parties, correspondant chacune à l'un des thèmes principaux relevés.

Tableau 12 : Principaux thèmes abordés à la question 13 et le nombre de commentaires et de sous-thèmes qui leur sont associés.

Thèmes principaux	Nombre de commentaires concernés	Nombre de sous-thèmes enregistrés
Outils	43	15
Méthodes	9	5
Apprentissage et connaissances	12	3
Société	7	4

Outils

La figure 40 montre la distribution des commentaires pour chacun des 15 sous-thèmes portant sur les outils de conception solaire.

³² L'annexe D présente chacun des 65 commentaires et les sous-thèmes qui leurs sont associés ainsi que pays d'origine du répondant.

Q13. S'il vous plaît, précisez d'autres besoins en ce qui concerne les outils ou les méthodes utilisés pour l'architecture solaire - outils pour la conception solaire (n=65)

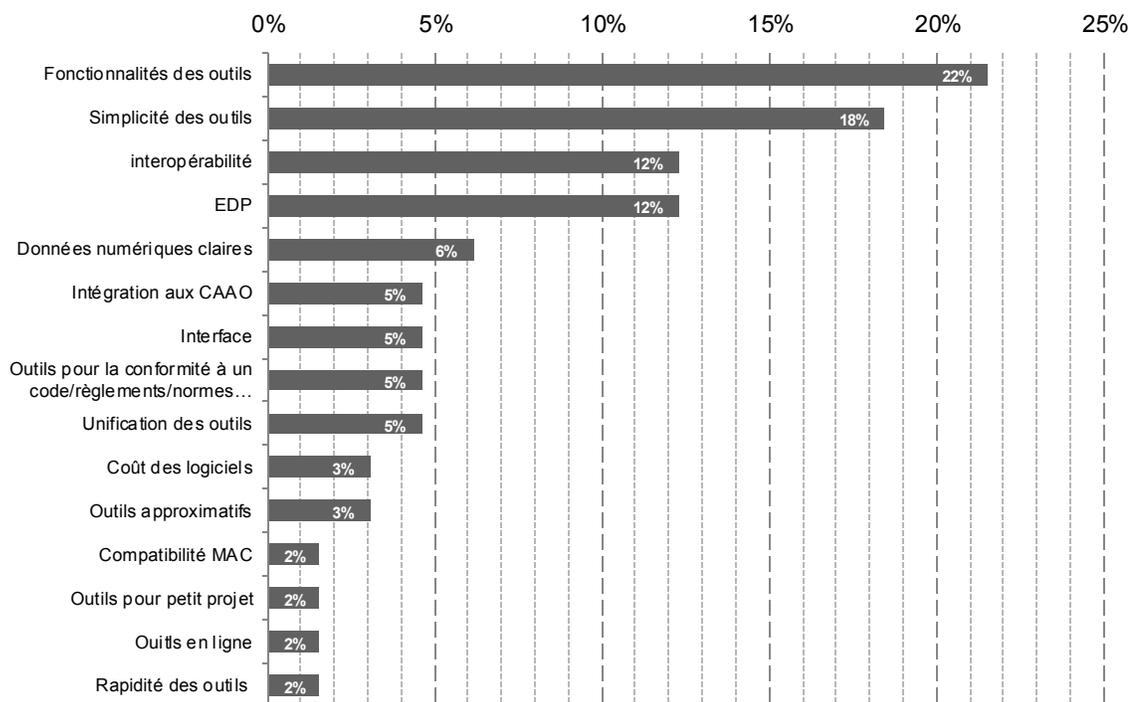


Figure 40 : Distribution des données selon les sous-thèmes identifiés relativement aux outils informatiques (question 13, pour tous les pays, 65 répondants, 15 sous-thèmes)

La figure 40 indique que 22 % des 65 répondants à la question 13 ont proposé des améliorations à apporter aux fonctionnalités solaires offertes par les outils. Les améliorations désirées concernent les approches de l'architecture solaire (passif, actif, éclairage naturel), mais aussi l'intégration de calculs de masse thermique, l'évaluation globale de l'énergie consommée par le bâtiment et l'évaluation de l'impact économique.

Le deuxième sous-thème le plus souvent abordé par les répondants est la simplicité des outils (18 %). Cette caractéristique d'un logiciel est souvent associée à sa facilité d'utilisation ou à une interface conviviale et intuitive. Considérant qu'à la question 11, la complexité des outils actuellement disponibles était l'obstacle le plus important à leur utilisation, il est normal que plusieurs répondants souhaitent des outils plus simples.

L'interopérabilité des logiciels a été soulevée dans 12 % des commentaires. Ce facteur figurait aussi parmi les trois facteurs influençant le plus le choix des logiciels, tel que présenté à la question 9 (voir section 6.2). Il semble donc que les répondants qui

transfèrent des données d'un logiciel à l'autre rencontrent des problèmes de compatibilité entre les logiciels.

Parmi les commentaires enregistrés pour les outils, 8 (12 %) commentaires identifient des besoins ou améliorations nécessaires pour les premières phases de conception. La moitié d'entre eux soulèvent la nécessité d'un outil simple, ce qui confirme les conclusions de Morbitzer et al. (2001) qui relèvent l'importance de la simplicité et de la convivialité des logiciels de simulation pour les premières phases de conception. Trois commentaires soulèvent des besoins relatifs aux fonctionnalités des logiciels. Les autres sous-thèmes abordés sont l'intégration aux logiciels de CAAO, une interface dynamique, des données numériques claires et une utilisation rapide.

Méthodes

La figure 41 montre la distribution des commentaires pour chacun des sous-thèmes identifiés portant sur les méthodes de conception solaire.

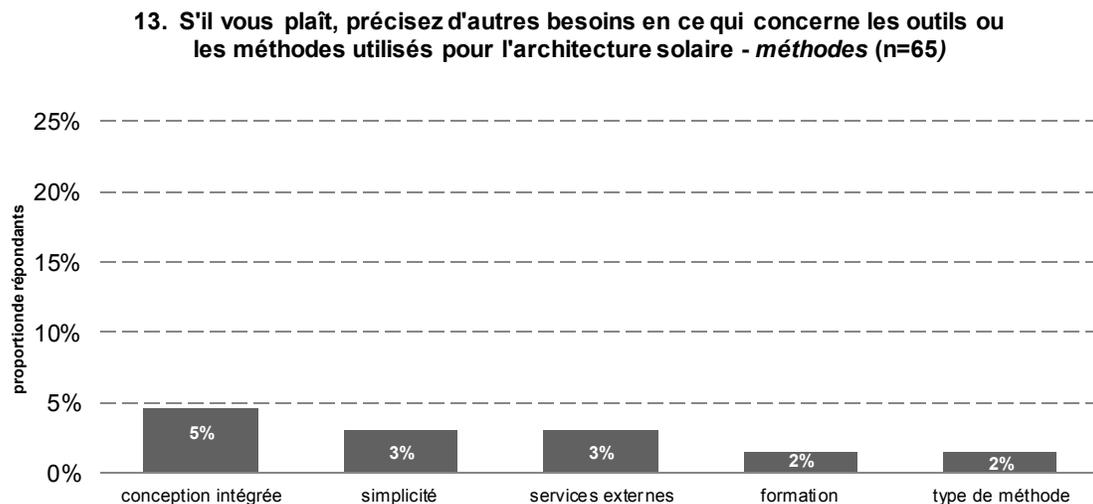


Figure 41 : Distribution des données selon les sous-thèmes identifiés relativement aux méthodes de conception (question 13, pour tous les pays, 65 répondants, 5 sous-thèmes)

Dans l'ensemble, les commentaires portant sur les méthodes confirment les résultats recueillis par les autres questions de l'enquête. En effet, les répondants recherchent généralement une méthode simple favorisant un processus de conception intégré. Deux répondants (3 %) demandent une plus grande disponibilité de services externes et un répondant (correspondant à 2 % des répondants à cette question) a écrit qu'il désire une formation au cours de laquelle on lui enseignerait une méthode de conception solaire.

Apprentissage et connaissances

La figure 42 présente la distribution en pourcentage des commentaires pour chacun des sous-thèmes portant sur l'apprentissage et les connaissances des concepteurs.

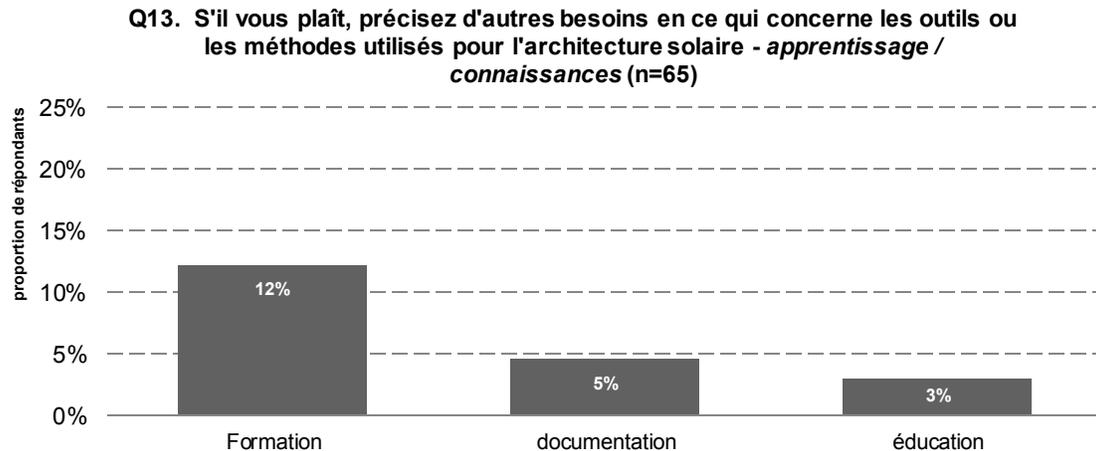


Figure 42 : Distribution des données selon les sous-thèmes identifiés relativement à l'apprentissage ou aux connaissances des concepteurs (question 13, pour tous les pays, 65 répondants, 3 sous-thèmes identifiés)

Les commentaires des répondants portant sur l'apprentissage et les connaissances indiquent que 12 % d'entre eux demandent plus de formations sur les logiciels ou sur les méthodes de conception solaires. La disponibilité des formations n'étant pas un sujet abordé par les questions de l'enquête, il est intéressant de souligner que plusieurs répondants ont soulevé ce sujet dans leurs commentaires. Dans le même ordre d'idées, trois répondants (5 %) demandent de la documentation spécifique, telle que des exemples de projets ou des catalogues de produits. Deux répondants (3 %) mentionnent que la conception solaire devrait être enseignée à l'université.

Société

Finalement, sept commentaires touchent le volet social de l'architecture. La figure 43 montre la distribution des réponses pour chacun des sous-thèmes identifiés et portant sur ce sujet. De manière générale, les commentaires relatifs à ce thème prennent plutôt la forme d'une opinion personnelle.

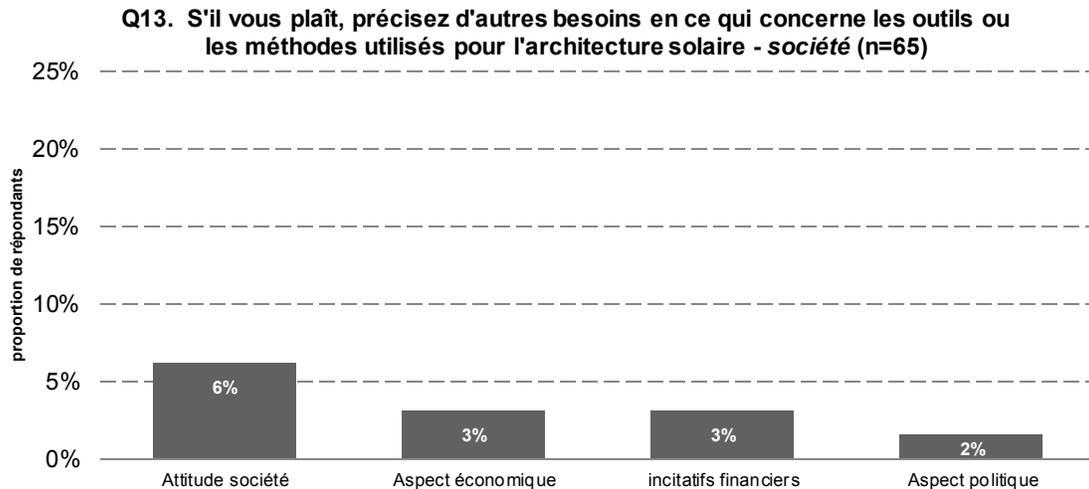


Figure 43 : Distribution des données selon les sous-thèmes identifiés relativement à l'aspect social (question 13, pour tous les pays, 65 répondants, 4 sous-thèmes)

La figure 43 indique que 6 % des 65 commentaires portent sur l'attitude de la population ou des architectes vis-à-vis l'architecture solaire. Ces commentaires concernent, pour la plupart, une situation régionale ou liée à un pays en particulier. Ceci suggère qu'une analyse régionale pourrait être bénéfique. Deux répondants (3 %) mentionnent que le développement de l'architecture solaire repose aussi sur son aspect économique (rentabilité) alors qu'un répondant (2 %) précise l'importance d'une volonté politique appuyant ce type d'architecture. Enfin, deux commentaires (3 %) mentionnent aussi que des incitatifs financiers favoriseraient le développement d'une architecture solaire de qualité.

6.4 Conclusion

Cette analyse complémentaire des résultats de l'enquête internet réalisée dans le cadre de la Tâche 41 de l'IEA vise à évaluer le portrait des professionnels ayant répondu à l'enquête et à apporter une analyse additionnelle ciblée issue du cadre théorique et du contexte professionnel développés dans les trois premiers chapitres de ce mémoire. L'analyse de résultats a aussi permis de répondre à plusieurs sous-objectifs.

Les résultats de cette enquête proviennent d'un échantillon composé de 350 professionnels de la conception des bâtiments, composé de 88 % d'architectes et provenant principalement de l'Australie, du Canada, de la Suède, de la Corée du Sud et de l'Italie. La majorité (66 %) des répondants sont des hommes, pour 34 % de femmes,

âgés de 30 à 59 ans au moment de leur participation, accumulant plus de dix ans d'expérience professionnelle. Les informations qu'ils ont soumises révèlent que la majorité d'entre eux œuvrent dans une firme de petite taille et que leur pratique s'étend principalement sur le plan national. Dans l'ensemble, ils ont une pratique plutôt variée, comprenant des projets de type résidentiel, commercial et scolaire.

Les méthodes de travail des répondants sont principalement caractérisées par un processus intuitif, multidisciplinaire dans lequel le client est très impliqué. La multidisciplinarité du processus offre un potentiel certain pour la réalisation d'une architecture solaire de qualité, avec 69 % des répondants qui mentionnent être régulièrement impliqués dans un processus de conception intégré. Par ailleurs, les donneurs d'ouvrages sont très impliqués dans la conception de leurs projets et leurs désirs semblent influencer grandement les concepteurs. Il serait donc important de considérer réaliser une sensibilisation à grande échelle sur l'architecture solaire. En effet, 56 % des concepteurs disent travailler en étroite collaboration avec leur client, et 67 % utilisent principalement une méthode contractuelle conventionnelle dans lequel le donneur d'ouvrage contrôle toutes les étapes.

Parmi les outils de conception, les logiciels de CAAO sont clairement les plus utilisés et maîtrisés. Cependant, les fonctionnalités de calculs solaires offerts par ces logiciels sont peu utilisées par les répondants. De plus, les participants à cette étude utilisent très peu les logiciels de simulation, ce qui confirme les résultats d'études antérieures. La complexité des outils, leur coût ainsi que leur interopérabilité limitée sont toujours des obstacles importants à leur utilisation. La forte utilisation de Google SketchUp, qui comporte plusieurs plugiciels de simulation énergétique, dans les premières phases de la conception et la popularité croissante des applications BIM, favorisant la conception multidisciplinaire, présentent une avenue prometteuse pour le développement de l'architecture solaire.

Les informations soumises par les répondants montrent qu'ils accordent une grande importance à l'énergie solaire dans les bâtiments qu'ils conçoivent. Ils emploient fréquemment des stratégies passives pour le chauffage ou l'éclairage naturel de leurs bâtiments. Afin de les aider à utiliser plus fréquemment l'énergie solaire dans leur pratique courante, ils réclament, de manière générale, des outils simples et intégrés aux logiciels de CAAO qu'ils utilisent. La fusion des logiciels de simulation et de conception pourrait

faciliter leur utilisation sans apporter trop de changements aux méthodes de travail ni allonger le processus. Cette possibilité commence déjà à être explorée par les développeurs de logiciels, comme on peut le constater avec Revit Architecture, intégrant Green Building Studio et Ecotect, ainsi qu'avec 3ds Max, qui intègre certaines fonctionnalités de Radiance ou alors Google SketchUp et ses plugiciels.

Conclusions

Cette recherche souligne le rôle professionnel de l'architecte dans un contexte de conception architecturale solaire et en démontre l'importance. Elle repose sur l'étude, la compréhension et l'évaluation de trois facteurs dits « architecturaux », soit la pratique de l'architecture, les principes fondamentaux de l'architecture solaire et l'attitude des concepteurs face à l'architecture solaire.

En s'appuyant sur la compréhension de ces trois facteurs architecturaux, la recherche, composée de deux parties, visait à évaluer l'état actuel de la pratique de l'architecture solaire dans le but de proposer des pistes d'action et de développement. La première partie porte sur l'inventaire des logiciels utilisés par les architectes, et a permis de comprendre le contexte professionnel dans lequel les architectes évoluent, mais aussi de cibler les facteurs nuisant à la conception architecturale solaire. La deuxième partie de la recherche, soit l'enquête internationale auprès de concepteurs de bâtiments, a permis de mieux connaître les habitudes de conception des répondants tout en relevant leurs besoins pour faciliter et accélérer le développement de la conception solaire. Les deux parties de la recherche combinées et les résultats obtenus tracent un portrait général de la pratique actuelle de l'architecture solaire tout en mettant en évidence les efforts à fournir pour parfaire les compétences des architectes dans ce domaine et ainsi soutenir le développement d'une architecture solaire de qualité.

Retour sur les conclusions de l'inventaire des logiciels

La première partie de la recherche analyse les logiciels actuellement disponibles, évalue leur capacité à soutenir la conception solaire ainsi que l'intégration architecturale des technologies solaires et identifie les caractéristiques freinant actuellement leur développement. Elle prend la forme d'une revue inventoriant 56 logiciels (CAAO, visualisation et simulation) actuellement utilisés par les architectes au cours du processus de conception.

L'évaluation des outils informatiques sélectionnés se fonde sur six caractéristiques indispensables et interdépendantes propres à la conception architecturale et solaire :

1. l'adaptation aux méthodes de travail de l'architecte;
2. la capacité à soutenir les tâches réalisées au cours des premières phases de conception;
3. l'interopérabilité;
4. la conception solaire passive et son évaluation;
5. l'utilisation, optimisation et estimation de la lumière naturelle;
6. l'utilisation et intégration architecturale des systèmes solaires actifs.

Les résultats révèlent cinq principaux obstacles à l'utilisation des logiciels inventoriés dans un contexte de conception architecturale solaire :

- un manque de logiciels avancés pour les premières phases de conception;
- une surspécialisation des logiciels disponibles pour l'une ou l'autre des approches de l'architecture solaire;
- la limite des résultats numériques pouvant appuyer une prise de décision éclairée au cours des premières phases de la conception;
- un manque d'informations claires sur la fidélité des calculs de la lumière lors de la génération des images de synthèse;
- un manque d'outils pour l'intégration architecturale, visuelle et esthétique, des systèmes solaires actifs.

Dans un premier temps, l'analyse révèle un manque de logiciels dédiés aux premières phases de la conception. Lors de ces dernières, très peu de logiciels offrent la possibilité de créer et modifier intuitivement la géométrie d'un projet tout en retournant à l'architecte des données explicites sur leur impact sur les gains solaires passifs, l'utilisation de la lumière naturelle et la performance des systèmes solaires actifs. Google SketchUp semble actuellement le logiciel le plus approprié et adapté pour les premières phases de la conception et la mise en marché récente de plusieurs plugiciels de simulation énergétique pour ce logiciel constitue une piste de développement prometteuse pour l'architecture solaire.

Les résultats indiquent également une spécialisation des logiciels disponibles pour l'une ou l'autre des approches de l'architecture solaire. Par exemple, plusieurs logiciels de simulation ne permettent que le dimensionnement de modules solaires actifs, tels que PVSol ou PVsyst, ou l'évaluation de l'utilisation de la lumière naturelle dans les espaces

intérieurs, avec Daysim. L'utilisation de plusieurs logiciels spécialisés ne permet pas d'avoir une vision d'ensemble du projet et nuit ainsi à la réalisation d'une architecture solaire de qualité puisque le but de celle-ci est de parvenir à un équilibre entre l'exploitation passive et active de l'énergie solaire par une conception intégrée de l'ensemble du bâtiment.

Troisièmement, l'analyse révèle un manque de résultats numériques clairs permettant d'appuyer une prise de décision au cours des premières phases de la conception. En effet, les données numériques explicites et interactives relatives à la quantité d'énergie solaire transmise à travers l'enveloppe du bâtiment sont rarement disponibles, bien que plusieurs logiciels montrent le rayonnement solaire incident sur le bâtiment et les ombres projetées. De plus, des résultats numériques sur les gains solaires obtenus par les fenêtres ou la quantité de lumière naturelle exploitable à l'intérieur du bâtiment sont rarement fournis par les logiciels évalués.

Quatrièmement, un manque d'informations sur la fiabilité ou la validité physique des calculs du comportement de la lumière lors de la génération des images de synthèse est identifié par l'analyse. Considérant que peu de logiciels reproduisent le comportement réel de la lumière et qu'encore moins de logiciels affichent explicitement le type d'algorithmes utilisés, cette situation peut entraîner des erreurs d'interprétation de la part des architectes lorsque les images de synthèses sont employées pour une évaluation qualitative de la distribution de la lumière naturelle.

Enfin, les résultats indiquent un manque de logiciels pour l'intégration architecturale des systèmes solaires actifs. En effet, pour réaliser une bonne intégration architecturale des modules solaires actifs, il est primordial que les architectes puissent visualiser et personnaliser les différents dispositifs solaires directement dans le modèle 3D de leur projet. Malheureusement, puisque la plupart des outils informatiques destinés au dimensionnement des modules actifs sont des logiciels surspécialisés pour ce type de systèmes et qu'ils offrent une interface 3D très limitée, il devient difficile pour l'architecte d'imaginer l'effet visuel et esthétique des technologies solaires actives dans l'ensemble du projet.

Retour sur l'analyse complémentaire de l'enquête internet

La deuxième partie de la recherche analyse les données recueillies par l'enquête internationale réalisée auprès des concepteurs de 14 pays dans le cadre de la Tâche 41 de l'IEA. Elle prend la forme d'une analyse complémentaire à celle réalisée par la Tâche 41 apportant ainsi une interprétation basée sur les connaissances acquises sur les trois facteurs architecturaux mentionnés et que l'analyse de l'inventaire des logiciels.

L'analyse complémentaire réalisée repose sur l'évaluation des connaissances, de l'attitude et de l'opinion des répondants entourant les trois thèmes suivants :

1. le portrait des répondants;
2. la conception architecturale;
3. la conception architecturale solaire.

Tout d'abord, l'analyse des résultats révèle que l'échantillon de participants se compose de 350 professionnels du secteur de la construction, résidant principalement en Australie, au Canada, en Suède, en Corée du Sud et en Italie. Ce groupe est composé majoritairement d'architectes (88 %, 239), accumulant plus de dix ans d'expérience professionnelle. Les répondants sont généralement des hommes (66 %, 179) âgés de 30 à 59 ans au moment de leur participation.

Dans un deuxième temps, les données recueillies indiquent que la majorité des participants travaillent dans des firmes comptant moins de dix employés. De plus, leur pratique se compose principalement d'édifices résidentiels, commerciaux ou scolaires, autant en construction neuve qu'en rénovation. De ce groupe, 71 % des répondants réalisent principalement leurs projets à l'intérieur de leur propre pays.

L'analyse des cinq questions relatives à la conception architecturale établit le profil conceptuel des méthodes et outils des répondants. Au cours du processus de conception, la majorité des répondants se réfère principalement à leurs expériences antérieures, confirmant ainsi les propos de De Wilde et al. (1999, 2001), Donn (1997), Meniru et al. (2003) et Reinhart et Fitz (2006). En fortes proportions, ils indiquent aussi travailler en étroite collaboration avec leurs clients et d'autres professionnels du secteur de la construction. Le caractère multidisciplinaire de leur processus s'exprime aussi alors que 69 % des répondants disent être souvent impliqués dans un processus de conception

intégré, qui se caractérise surtout par de nombreuses interventions multidisciplinaires en début de processus, notamment pour établir des objectifs et des stratégies de performance environnementale. Au niveau des logiciels, il est clair que les outils de CAAO sont les plus utilisés par les répondants. Le logiciel AutoCAD est employé par 60 % des répondants dès la phase de conception préliminaire, ce qui en fait le logiciel le plus populaire. Dans les premières phases de conception, Google SketchUp est aussi très utilisé, puisque plus du tiers des répondants l'utilise. Trois applications BIM (Revit Architecture, ArchiCAD et Vectorworks) se démarquent aussi par leur popularité auprès des répondants, mais ils sont chacun utilisés par moins de 20 % des répondants. Artlantis et V-Ray sont les logiciels de visualisation les plus utilisés (environ 8 % des répondants). En ce qui concerne les logiciels de simulations, Ecotect est l'outil utilisé par le plus de répondants (environ 12 %). RETScreen, qui se présente sous la forme d'un tableur Microsoft Excel, ainsi que Radiance, qui est le logiciel de simulation le plus reconnu pour l'évaluation de la lumière naturelle, figurent aussi parmi les outils de simulation les plus populaires. Enfin, les répondants ont exprimé que les trois facteurs influençant le plus leurs choix de logiciels sont l'ergonomie de l'interface, le coût et l'interopérabilité.

Les résultats présentés précédemment montrent différentes caractéristiques de la pratique architecturale des répondants permettant d'évaluer leur potentiel à réaliser une architecture solaire de qualité. En ce qui concerne les méthodes de conception, les réponses fournies par les répondants indiquent que ces derniers possèdent généralement un bon potentiel pour un travail de conception solaire. En effet, la majorité des répondants (69 %) a déjà été initiée à un processus de conception intégré, ce qui est favorable pour réaliser une architecture solaire de qualité, et 37 % des répondants signalent avoir participé à un projet dont la conception était orientée sur l'énergie. Cependant, il demeure essentiel que la perception des clients soit favorable à la réalisation de projets tirant profit de l'énergie solaire puisqu'ils sont très impliqués dans le développement de leurs projets, autant au niveau conceptuel que contractuel.

Sur le plan des logiciels utilisés par les répondants, certains choix présentent un plus grand potentiel pour l'architecture solaire que d'autres. Par exemple, pour la CAAO, Google SketchUp comprend un certain nombre de plugiciels pour les évaluations énergétiques dès les premières phases de la conception, et les applications BIM (Revit Architecture, ArchiCAD et Vectorworks) permettent l'intégration de tous les intervenants

du projet par l'utilisation d'un modèle virtuel unique, alors qu'AutoCAD, qui est pourtant le logiciel le plus utilisé, n'intègre aucune des trois approches de l'architecture solaire (passif, actif, éclairage naturel). D'un autre côté, bien que seulement une faible proportion de répondants emploie des logiciels de simulation, ce type de logiciel est plutôt utilisé en début de processus de conception, ce qui est prometteur pour réaliser une architecture solaire de qualité.

Au niveau de l'architecture solaire, l'analyse démontre que les répondants accordent, dans l'ensemble, une grande importance à l'énergie solaire dans leur pratique. Ce résultat ne peut cependant pas être généralisé à l'ensemble de la communauté architecturale des pays participants puisque le sujet de l'enquête était clairement annoncé au moment du recrutement des participants. Il est probable que les professionnels accordant peu d'importance à l'utilisation de l'énergie solaire n'aient simplement pas participé à l'enquête. Ceci dit, l'analyse des données recueillies par l'enquête montre que les approches de l'architecture solaire les plus utilisées par les répondants sont les stratégies solaires passives pour le chauffage ainsi que l'utilisation de la lumière naturelle.

Selon les réponses fournies par les répondants, l'intégration des technologies et des stratégies solaires est envisagée principalement au cours de la phase conceptuelle (esquisse), alors que les concepteurs prennent généralement les décisions de manière individuelle. Au cours des phases subséquentes, les prises de décisions concernant les différentes technologies solaires tendent à devenir des tâches multidisciplinaires, surtout dans le cadre de projet de grande envergure. Au niveau des outils pour la conception solaire, les répondants possèdent généralement de bonnes compétences avec les logiciels de CAAO, en excluant leurs fonctionnalités se rapportant à la conception solaire qui semblent moins bien connues. En effet, les répondants font plutôt une évaluation « neutre » des capacités de ces logiciels à soutenir la conception architecturale solaire. Par contre, les répondants mentionnent posséder de faibles compétences pour l'utilisation des logiciels de simulation, mais ils sont généralement satisfaits des capacités que ces outils offrent. Il semble donc que les répondants connaissent les logiciels de simulation et leurs fonctionnalités, sans toutefois être en mesure de les utiliser efficacement.

Enfin, l'analyse de certaines questions permet de cibler les principaux obstacles et besoins liés à la pratique architecturale solaire. En ce qui concerne les outils pour la conception solaire, ils sont, pour près de la moitié des répondants, trop complexes. De

plus, l'intégration des logiciels de simulation aux outils CAAO est une caractéristique très recherchée par les répondants. Il semble effectivement que la fusion de ces deux types d'outils pourrait aussi accélérer le processus de conception et favoriser l'utilisation de la simulation énergétique qui, pour l'instant, ne semble pas intégrée au processus normal de conception des répondants. Les résultats révèlent aussi un besoin certain pour des outils permettant le dimensionnement préliminaire et l'intégration architecturale des systèmes solaires actifs au cours des premières phases de la conception. Il est aussi clair qu'une possibilité de formation sur les logiciels ou les méthodes de conception solaire serait très appréciée par les participants à l'enquête.

Limites de la recherche

Partie 1 : inventaire des logiciels pour l'architecture

La première partie de la recherche analyse un grand nombre de logiciels largement connus et utilisés par les architectes. Toutefois, un examen complet de tous les logiciels disponibles dans le monde est très difficile en raison de l'étendue de l'information qui doit être recueillie. De plus, le monde de la recherche et du développement ne cesse de mettre sur pieds de nouveaux logiciels pour réaliser des tâches spécifiques.

L'inventaire réalisé demeure donc incomplet, surtout en ce qui concerne les outils de simulation. Certains outils de simulations étudiés ont été choisis sur la base de leur popularité auprès des architectes, mais aussi parce qu'ils sont particulièrement propices à être utilisés dans les premières phases de la conception. Pour une liste complète de tous les outils de simulation disponibles, le département américain de l'Énergie (US Department of Energy - DOE) (2011) a mis en ligne le *Building Energy Software Tools Directory*³³.

De plus, la majorité de l'information utilisée pour la première partie de la recherche a été récupérée à partir des sites officiels de chaque développeur de logiciels. Ces données cherchent donc à être tendancieuses et à présenter des descriptions plutôt optimistes concernant les performances, la convivialité, la compatibilité ou la portée d'application des logiciels offerts. Toutefois, ces caractéristiques surestimées ont pu être tempérées par les connaissances et l'expérience de l'auteure et des collaborateurs à la Tâche 41 de l'IEA. Il

³³ http://apps1.eere.energy.gov/buildings/tools_directory/about.cfm.

demeure toutefois que cette analyse repose uniquement sur des informations écrites et que les fonctionnalités déclarées de ces logiciels n'ont pas été testées explicitement.

Partie 2 : Enquête en ligne

La principale limite de la deuxième partie de la recherche est le faible taux de participation qui est évalué à 5,9 %. Bien que l'enquête internet se voulait un moyen de rejoindre le plus grand nombre de professionnels dans les 14 pays participants au projet, il est difficile de généraliser les résultats et les conclusions obtenus à l'ensemble de la pratique architecturale internationale, car ils se fondent sur un maximum de 350 questionnaires reçus.

Le mode de recrutement des participants pose aussi une limite importante étant donné qu'un grand nombre de répondants semble avoir été recruté par le biais de listes de contacts personnels ou de listes de diffusion créées par certains des coordonnateurs nationaux impliqués dans la Tâche 41 de l'IEA. Tel que confirmé par les différents coordonnateurs nationaux après la fermeture de l'enquête, il est fort possible que l'entière population de professionnels en l'architecture pour chacun des pays impliqués n'ait pas été rejointe ou que l'échantillon ne soit pas représentatif.

De plus, considérant que le sujet de la recherche était clairement mentionné dans le message de recrutement, il est aussi probable que le profil des répondants ne soit pas représentatif de la population des professionnels visés. Il y a effectivement une forte chance que les répondants soient ceux qui sont déjà intéressés par les questions d'énergie solaire, et que les professionnels accordant peu d'intérêt au sujet aient tout simplement choisi de ne pas participer à l'enquête.

Par ailleurs, l'analyse complémentaire proposée ne comprend pas d'analyse statistique. Il est donc impossible d'évaluer ou de valider le caractère représentatif de l'échantillon étudié parmi la population visée. Par conséquent, les résultats présentés dans ce mémoire ne sont pas statistiquement validés. Cependant, ils concordent pour la plupart avec les résultats d'études similaires réalisées au cours des deux dernières décennies. De plus, les conclusions soulevées au sujet de la pratique de l'architecture solaire tendent à s'approcher des tendances perçues au sein de la communauté architecturale internationale par les différents professionnels et chercheurs impliqués dans la Tâche 41.

de l'IEA. L'analyse a aussi montré une grande cohérence dans les résultats puisque les réponses sont logiques d'une question à l'autre.

Enfin, l'analyse ne tient pas compte des caractéristiques politiques et économiques spécifiques à chaque pays ayant participé à l'étude. Les conclusions bénéficieraient à être bonifiées par un regard national reliant les résultats obtenus au contexte politique, économique et social dans lequel ces répondants œuvrent. La quantité de données recueillies à l'heure actuelle n'est pas suffisante pour permettre des analyses distinctes pour chacun des pays impliqués. Il serait donc préférable que les enquêtes soient relancées massivement dans les quatorze pays impliqués dans la Tâche 41 afin de recueillir un nombre représentatif de questionnaires remplis permettant ainsi des analyses statistiques distinctes pour chacun des pays participants.

Vers une architecture solaire de qualité

Les résultats de l'enquête démontrent que les concepteurs architecturaux ayant participé à cette recherche désirent et s'efforcent de concevoir des bâtiments tirant profit de l'énergie solaire en utilisant surtout les principes solaires passifs au meilleur de leurs connaissances. Toutefois, certains éléments semblent limiter la concrétisation de cet objectif.

De ce fait, l'adéquation des résultats des deux parties de ce mémoire, soit l'inventaire des logiciels et l'enquête internet, permet d'identifier une série d'actions potentielles et de poursuivre l'adaptation du modèle actuel de la pratique de l'architecture et la diffusion des connaissances actuelles relatives à l'architecture solaire.

- **Créer ou perfectionner des logiciels de conception solaire, simples, conviviaux et intuitifs, s'intégrant aux logiciels de CAAO utilisés par les architectes**, tels qu'AutoCAD, Google SketchUp, Revit Architecture, ArchiCAD, Vectorworks ou 3d Studio Max. La fusion des logiciels de CAAO et de simulation, en modifiant soit la structure même des CAAO ou par l'ajout de plugiciels, est une avenue pertinente pour favoriser leur utilisation par les architectes sans déstructurer leur processus normal de conception, ni nécessiter d'importants investissements de leur part.

- **Éviter la surspécialisation des logiciels de conception solaire et favoriser une conception intégrant à toutes les approches de l'architecture solaire (passif, actif, éclairage naturel).** En effet, le bâtiment doit être perçu comme un système complexe qui, pour combiner confort, efficacité énergétique et esthétisme, doit optimiser l'exploitation de l'énergie solaire sous chacune de ses formes, qui sont indissociables les unes des autres.
- **Développer ou perfectionner les logiciels de conception solaire pour qu'ils offrent des données claires et précises permettant de confirmer, de préciser ou d'infirmer les intuitions des concepteurs.** En effet, dans son processus de conception itératif, l'architecte fonde principalement ses choix initiaux sur ses connaissances et ses expériences professionnelles. Si l'architecte maîtrise les principes fondamentaux de l'architecture solaire, il a alors besoin d'un outil qui l'aide à orienter et valider ses décisions. Il pourra alors prévoir une quantité de gains solaires passifs obtenus dans un climat donné, estimer la quantité de lumière naturelle dans les espaces intérieurs ou calculer la production d'électricité des modules photovoltaïques.
- **Favoriser la distribution des outils de conception solaire à faible coût.**
- **Promouvoir le potentiel énergétique solaire en architecture et favoriser la diffusion des connaissances qui y sont reliées chez les professions connexes à l'architecture.** Considérant que la conception d'un bâtiment est un processus multidisciplinaire, il est essentiel que tous les intervenants soient en mesure d'intégrer les notions de conception solaire à leur pratique professionnelle quotidienne.
- **Perfectionner les logiciels soutenant la conception architecturale multidisciplinaire et favorisant un processus de conception intégré.** Il est évident que le développement d'un projet d'architecture est un processus regroupant plusieurs intervenants. Pour la réalisation d'une architecture solaire de qualité, il est d'autant plus important que la multidisciplinarité du processus architectural s'affirme dès le début du projet, de manière à ce que tous les intervenants participent à l'optimisation solaire du projet. L'utilisation d'un même

modèle numérique par tous les intervenants évite les problèmes d'interopérabilité, accélère le processus et favorise la communication entre les acteurs.

- **Améliorer les qualifications des architectes et des futurs architectes en matière de conception solaire.** Bien que les résultats de l'enquête réalisée dans le cadre de la Tâche 41 de l'IEA démontrent que les architectes possèdent plusieurs notions sur l'énergie solaire, il demeure que la diffusion des principes fondamentaux de l'architecture solaire doit perdurer pour qu'ils deviennent partie prenante des pratiques de conception des architectes. Cela peut, par exemple, prendre la forme d'une formation continue pour les professionnels, d'ateliers « workshops » axés sur la conception solaire ou encore, pour les futurs architectes, d'un cours obligatoire dans leur cursus universitaire.
- **Offrir des formations et de la documentation simple, claire, concise et facilement accessible sur les différents logiciels ou fonctionnalités solaires qu'ils présentent.** Bien qu'il soit essentiel de développer des outils soutenant la conception solaire, il demeure primordial que les concepteurs soient en mesure de les utiliser à leur plein potentiel.
- **Faire connaître le catalogue de technologies solaires disponibles et diffuser un grand nombre de projets architecturaux solaires exemplaires.** L'architecte conçoit ses projets en se référant principalement à ses connaissances et expériences antérieures. Dans l'évolution de sa pratique, il a aussi souvent recours à des précédents architecturaux pour appuyer ses décisions. Les publications de ce type favorisent aussi l'innovation en faisant connaître de nouveaux produits, de nouvelles techniques et des solutions.
- **Sensibiliser les donneurs d'ouvrage à une architecture solaire de qualité combinant confort, efficacité énergétique et esthétisme.** Il est effectivement impératif que les clients des architectes, qu'ils soient des particuliers, des compagnies ou des institutions gouvernementales, soient sensibilisés et sachent que les architectes peuvent créer un bâtiment solaire répondant à leurs besoins. Selon les résultats de l'enquête analysée dans cette recherche, ces clients sont très impliqués dans les projets et les concepteurs sont à l'écoute de leurs désirs. Il demeure aussi essentiel que les concepteurs eux-mêmes participent à cette

sensibilisation en sachant communiquer aisément tout le potentiel esthétique et énergétique que peut offrir une architecture solaire de qualité.

Bibliographie

Monographies et dictionnaires

- Allen, Edward et Iano, Joseph. (2012). *The architect's studio companion : rules of thumb for preliminary design*. Hoboken: John Wiley & Sons, 512 p.
- American Institute of Architects. (1982). *Daylighting*. Coll. «Architect's handbook of energy practice». New York: The Institute, 48 p.
- Brandstätter, Brigitte et al. (2010). *Solar Book : Solar Thermal Energy in Upper Austria, The Number One Solar Region*. Linz: O. Ö. Energiesparverband, 17 p.
- Brown, G. Z. (2001). *Sun, wind & light : architectural design strategies*. New York: Wiley, 382 p.
- Cofaigh, Eoin O. et al. (1996). *The climatic dwelling : an introduction to climate-responsive residential architecture*. Londres: James & James (Science Publishers) Ltd. , 165 p.
- Cornick, Tim. (1996). *Computer-integrated building design*. London: E & FN Spon.
- Cuff, Dana. (1991). *Architecture : The Story of Practice*. Cambridge: MIT Press, 306 p.
- Dubois, Marie-Claude et Horvat, Miljana (Eds.). (2010). *State-of-the-art of existing software used by architects*. Québec: Task 41 Solar Energy and Architecture, 121 p.
- Eastman, Chuck et al. (2011). *BIM Handbook : A Guide to building Information Modeling for Owners, Managers, Designers, Engineers, and Contractors*. Hoboken: John Wiley & Sons, 626 p.
- Enerdata. (2011). *South Korea energy efficiency report*. Grenoble: Enerdata, 6 p.
- European Photovoltaic Industry Association. (2005). *Solar Electricity*. Bruxelles: EREC, 4 p.
- European Renewable Energy Council. (2010). *RE-thinking 2050 : A 100 % Renewable Energy Vision for the European Union*. Bruxelles: EREC, 74 p.
- Guzowski, Mary. (2000). *Daylighting for sustainable design*. New York: McGraw-Hill, 449 p.
- Hasting, Robert et Wall, Maria (Eds.). (2007). *Vol. 1 Strategies and Solution de Sustainable Solar Housing*. London: Earthscan, 285 p.
- Hasting, Robert et Wall, Maria (Eds.). (2007). *Vol. 2 Exemplary Buildings and Technologies de Sustainable Solar Housing*. London: Earthscan, 257 p.
- Hegger, Manfred. (2003). «From Passive Utilization to Smart Solar Architecture». In *In*

- Detail Solar Architecture*. sous la dir. de Schittich. Basel: Birkhäuser, 176 p.
- Horvat, Miljana et al. (Eds.). (2011). *International survey about digital tools used by architects for solar design*. Toronto: Task 41 Solar Energy and Architecture, 93 p.
- Institut royal d'architecture du Canada. (2009). *Vol. 1. Théorie et contexte de Manuel canadien de pratique de l'architecture*. 2e éd. Canada: Institut royal d'architecture du Canada.
- International Energy Agency. (2008). *Promoting Energy Efficiency Investments: Case Studies in the Residential Sector*. Paris: IEA - Agence française de développement, 326 p.
- International Energy Agency. (2009). *Task 41: Solar Energy and Architecture*. Coll. «Solar Heating & Cooling Programme». Task 41: Solar Energy and Architecture, 15 p.
- Kolarevic, Branko (Ed.). (2003). *Architecture in the digital age : design and manufacturing*. New York: Spon Press, 314 p.
- Krippner, Rolland. (2003). «Solar Technology - From Innovation Skin to Energy-Efficient Renovation». In *In Detail Solar Architecture* sous la dir. de Schittich. Basel: Birkhäuser, 176 p.
- Krygiel, Eddy et Nies, Bradley. (2008). *Green Bim : successful sustainable design with building information modeling*. Indianapolis: Wiley Pub., 241 p.
- Kuehn, Michael et Mattner, Dirk. (2003). «Solar Concepts for Building». In *In Detail Solar Architecture* sous la dir. de Schittich. Basel: Birkhäuser, 176 p.
- Lam, Klee Poh et al. (2004). *Energy Modeling Tools Assessment For Early Design Phase*. Pittsburgh: Center for Building Performance and Diagnostics Carnegie Mellon University, 17 p.
- Lam, William. (1986). *Sunlighting as formgiver for architecture*. New York: Van Nostrand Reinhold, 464 p.
- Larousse (Ed.) (2009). *Le petit Larousse illustré en couleurs*. Paris: Larousse.
- Larsson, Nils. (2004). *Le Processus de conception intégrée*. Ottawa: International Initiative for a Sustainable Built Environment, 8 p.
- Larsson, Nils et Poel, Bart. (2009). *Solar Low Energy Buildings and the Integrated Design Process - An Introduction*. Arnhem: IEA Task 23 - Optimization of Solar Energy Use in Large Building, 26 p.
- Lynn, Paul A. (2010). *Electricity from sunlight : an introduction to photovoltaics*. Chichester: Wiley, 221 p.

- Miller, Landon C. G. (1993). *Concurrent engineering design: Integrating the Best Practices for Process Improvement*. Dearborn: Society of Manufacturing Engineers, 309 p.
- Müller, Helmut F. O. et Schuster, Heide G. (2003). «Utilizing Daylight». In *In Detail Solar Architecture*. sous la dir. de Schittich. Basel: Birkhäuser, 176 p.
- Pfitzner, Markus et al. (2007). *Analysis of Existing Software Tools for Early Design*. s.l.: InPro, 43 p.
- Philibert, Cédric (2005). *The Present and Future Use of Solar Thermal Energy as a Primary Source of Energy*. Paris: International Energy Agency, 16 p.
- Porteous, Colin. (2005). *Solar Architecture in Cool Climates*. London: Earthscan, 266 p.
- Robert, Paul et al. (Eds.) (2008). *Le nouveau Petit Robert : dictionnaire alphabétique et analogique de la langue française*. Paris: Dictionnaires Le Robert.
- Roberts, Simon et Guariento, Nicolò (2009). *Building integrated photovoltaics : a handbook*. Basel: Birkhäuser, 178 p.
- Royal Institute of British Architects. (1995). *Architect's job book*. 8e éd. Londres: Royal Institute of British Architects Publications, 336 p.
- Schittich, Christian. (2003). «Toward Solar Architecture». In *In Detail Solar Architecture*. sous la dir. de Schittich. Basel: Birkhäuser, 176 p.
- Smith, Dana K. et Tardif, Michael. (2009). *Building information modeling : a strategic implementation guide for architects, engineers, constructors, and real estate asset managers*. Hoboken: Wiley, 186 p.
- Symes, Martin et al. (1995). *Architects and their practices : a changing profession*. Boston: Butterworth Architecture, 229 p.
- Tapie, Guy. (2000). *Les architectes : mutations d'une profession*. Paris: Harmattan, 318 p.
- Thomas, Andrew. (2006). *Design-build*. Chichester: Wiley-Academy, 256 p.
- UNEP/GRIP-Arendal. (2008). *Vol. 5. Pro-poor growth issue de Environment & Poverty Times*. 20 p.
- von Meiss, Pierre. (2003). *De la forme au lieu : Une introduction à l'étude de l'architecture*. 2e éd. Lausanne: Presses polytechniques et universitaires romandes, 221 p.
- Wasserman, Barry et al. (2000). *Ethics and the practice of architecture*. New York: Van Nostrand Reinhold, 336 p.
- Woodward, Christopher et Howes, Jaki (1997). *Computing in architectural practice*. New York: E & FN Spon, 174 p.

Yeang, Ken et Spector, Arthur. (2011). *Green design : from theory to practice*. London: Black Dog Pub, 143 p.

Zeisel, John. (1984). *Inquiry by design : tools for environment-behaviour research*. Cambridge: Cambridge University Press, 250 p.

Articles et actes de colloque

Arnold, Patrick et al. (2005). «The Use of Building Simulation by a Private Consultancy in New Zealand». In Ninth International IBPSA Conference. (Montréal, 15-18 août 2005). Montréal: IBPSA, pp. 19-26.

Attia, Shady et al. (2009). «"Architect Friendly" : A Comparison of Ten Different Building Performance Simulation Tools». In Eleventh International IBPSA Conference. (Glasgow, 27-30 juillet 2009). Glasgow: IBPSA, pp. 204-211.

Bambardekar, Suhas et Poerschke, Ute. (2009). «The Architect as Performer of Energy Simulation in the Early Design Stage». In Eleventh International IBPSA Conference. (Glasgow, 27-30 juillet 2009). Glasgow: IBPSA, pp. 1306-1313.

Bazjanac, Vladimir. (2003). «Improving Building Energy Performance Simulation with Software Interoperability». In Eighth International IBPSA Conference. (Eindhoven, 11-14 août 2003). Eindhoven: IBPSA, pp. 87-92.

Bhavnani, Suresh K. et al. (1996). «CAD usage in architectural office : from observations to active assistance». *Automation in Construction*. 5(3). pp. 243-255.

Bilec, Melissa et Ries, Robert. (2007). «Preliminary Study of Green Design and Project Delivery Methods in the Public Sector». *Journal of Green Building*. 2(2). pp. 151-160.

Bleiberg, Tamar et Shaviv, Edna. (2007). «Optimization for enhancing collaborative design». In Tenth International IBPSA Conference. (Beijing, 3-6 septembre 2007). Beijing: IBPSA, pp. 1698-1705.

Brown, Marilyn A. . (2001). «Market failures and barriers as a basis for clean energy policies». *Energy Policy*. 29(14). pp. 1197-1207.

Buzetti, Hélène. (2011). Ottawa envoie Kyoto aux oubliettes. *Le Devoir.com* (Montréal), 13 décembre. En ligne. <<http://www.ledevoir.com/politique/canada/338286/ottawa-envoie-kyoto-aux-oubliettes>>. page consultée le 21 décembre 2011.

Charles, Patrick P. et Thomas, Charles R. (2009). «Building Performance Simulation in Undergraduate Multidisciplinary Education: Learning from an Architecture and Engineering Collaboration». In Eleventh International IBPSA Conference. (Glasgow, 27-30 juillet 2009). Glasgow: IBPSA, pp. 212-219.

- Christakou, Dimitrios Evangelos et Amorium, Claudia Naves David. (2005). «Daylight Simulation: Comparison of Softwares for Architect's Utilization». In Ninth International IBPSA Conference. (Montréal, 15-18 août 2005). Montréal: IBPSA, pp. 183-190.
- Crawley, Drury B. et al. (2008). «Contrasting the capabilities of building energy performance simulation programs ». *Building and Environment*. 43(4). pp. 661-673.
- De Carli, Michele et De Giuli, Valeria. (2009). «Optimisation of Daylight in Buildings to Save Energy and to Improve Visual Comfort : Analysis in Different Latitudes». In Eleventh International IBPSA Conference. (Glasgow, 27-30 juillet 2009). Glasgow: IBPSA, pp. 1797-1805.
- De Wilde, Pieter et al. (1999). «Invocation of Building Simulation Tools in Building Design Practice». In Sixth International IBPSA Conference. (Kyoto, 13-15 septembre 1999). Kyoto: IBPSA, pp. 1211-1218.
- De Wilde, Pieter et al. (2001). «The Need for Computational support in Energy-Efficient Design Projects in the Netherlands». In Seventh International IBPSA Conference. (Rio de Janeiro, 13-15 août 2001). Rio de Janeiro: IBPSA, pp. 513-520.
- Doherty, J. M. (1997). «A Survey of computer Use in the New Zeland Building and Construction Industry». *ITcon*. Vol. 2. pp. 73-86.
- Donn, Michael. (1997). «A Survey of User of Thermal Simulation Programs». In Fifth International IBPSA Conference. (Prague, 8-10 septembre 1997). Prague: IBPSA, pp. 65-72.
- Donn, Michael. (1999). «Quality Assurance - Simulation and the Real World». In Sixth Eleventh International IBPSA Conference. (Kyoto, 13-15 septembre 1999). Kyoto: IBPSA, pp. 1139-1146.
- Dubois, Marie-Claude. (2000). «A Simple Chart to Design Shading Devices Considering the Window's Solar Angle Dependent Properties». In Eurosun 2000 Conference. (Copenhagen, 19-22 juin 2000). Copenhagen: ISES-SHC.
- Dubois, Marie-Claude et Flodberg, Kajsa. (2012). «Daylight utilisation in perimeter office rooms at high latitudes : Investigations by computer simulation». *Lighting Research and Technology*. (0). pp. 1-24.
- Edwards, Brian. (2005). «The use of drawing in architectural design: some recent experiences from UK practice». *arq*. 9(3-4). pp. 273- 285.
- Goetzberger, A. et Schmid, J. (1985). «Review of Components fo Passive Solar Energy Utilization». *International Journal of Solar Energy*. 3(6). pp. 309-328.
- Hensen, Jan. (1994). «Energy Related Design Decision Deseve Simulation Approach». In

International Conference on Design and Decision Support Systems in Architecture & Urban Planning. (Vaals, 15-19 août 1994). Vaals: Eindhoven University of Technology, pp. 1-9.

- Heschong, L. (2002). «Daylighting and human performance». *ASHRAE Journal*. 44(8). pp. 65-67.
- Hobbs, Dan et al. (2003). «Experience of Using Building Simulation within the Design Process of an Architectural Practice». In Eighth International IBPSA Conference. (Eindhoven, 11-14 août 2003). Eindhoven: IBPSA, pp. 491-498.
- Holm, D. (1993). «Building Thermal Analyses : What the Industry Needs : The Architect's Perspective». *Building and Environment*. 28(4). pp. 405-407.
- Kalay, Yehuda E. (2006). «The impact of information technology on design methods, products and practices». *Design Studies*. 27(3). pp. 357-380.
- Lam, Klee Poh et al. (1999). «A Study on the Use of Performance-Based Simulation Tools for Building Design and Evaluation in Singapore». In IBPSA '99 Building Simulation Conference. (Kyoto, 13-15 septembre 1999). Kyoto: IBPSA, pp. 657-682.
- Lawrence, Roderick J. (1993). «Architectural design tools : simulation, communication and negotiation». *Design Studies*. 14(3). pp. 299-313.
- Lee, Ghang et al. (2010). «Usability principles and best practices for the user interface design of complex 3D architectural design and engineering tools». *International Journal of Human-Computer Studies*. 68(1-2). pp. 90-104.
- Lee, Ghang et al. (2006). «Specifying parametric building object behavior (BOB) for a building information modeling system». *Automation in Construction*. 15(6). pp. 758-776.
- Maassen, Wim et al. (2003). «Early Design Support Tool for Building Services Design Model Development». In Eighth International IBPSA Conference. (Eindhoven, 11-14 août 2003). Eindhoven: IBPSA, pp. 761-768.
- Mahdavi, Ardeshir et al. (2003). «An Inquiry into the Building Performance Simulation Tools Usage by Architects in Austria». In Eighth International IBPSA Conference. (Eindhoven, 11-14 août 2003). Eindhoven: IBPSA, pp. 777-784.
- Mahdi, Ibrahim M. et Alreshaid, Khaled (2005). «Decision support system for selecting the proper project delivery method using analytical hierarchy process (AHP)». *International Journal of Project Management*. 23(7). pp. 564-572.
- Meniru, K. et al. (2003). «Spécification for computer-aided conceptual building design». *Design Studies*. 24(1). pp. 51-71.
- Morbiter, Christoph et al. (2001). «Integration of building simulation into the design

- process of an architecture practice». In Seventh International IBPSA Conference. (Rio de Janeiro, 13-15 Août 2001). Rio de Janeiro: IBPSA, pp. 697-704.
- Morrissey, J. et al. (2011). «Affordable passive solar design in temperate climate: An experiment in residential building orientation». *Renewable Energy*. 36(2). pp. 568-577.
- Moum, Anita. (2010). «Design team stories: Exploring interdisciplinary use of 3D object models in practice». *Automation in Construction*. 19(5). pp. 554-569.
- Novitski, B.J. (2009). «Greening your design culture to gain a competitive edge». *Architectural Record*. 197(2). pp. 43-43.
- Pilgrim, M. et al. (2003). «Towards the efficient use of simulation in building performance analysis : a user survey». *Building Services Engineering Research and Technology*. 24(3). pp. 149-162.
- Prazeres, L. et Hand, J. (2009). «Improving Communication in Building Simulation Supported Projects». In Eleventh International IBPSA Conference. (Glasgow, 27-30 juillet 2009). Glasgow: IBPSA, pp. 1244-1251.
- Reinhart et al. (2007). «Daylight 1-2-3 - A State-of-the-art Daylighting/Energy Analysis Software for Initial Design Investigations». In Tenth International IBPSA Conference. (Beijing, 3-6 septembre 2007). Beijing: IBPSA, pp. 1669-1676.
- Reinhart, Christoph et Fitz, Annegret. (2006). «Findings from a survey on the current use of daylight simulations in buildings design». *Energy and Buildings*. 38(7). pp. 824-835.
- Rivard, Hugues. (2000). «A Survey on the Impact of Information Technology on the Canadian Architecture, Engineering and Construction Industry». *ITcon*. 5. pp. 37-56.
- Şenyapılı, Burcu et Bozdağ, Burcu Gökçen (2012). «A domain specific software model for interior architectural education and practice». *Automation in Construction*. 21(janvier 2012). pp. 10-13.
- Shaviv, Edna. (1999). «Design Tools for Bio-Climatic and Passive Solar Buildings». *Solar Energy*. 67(4-6). pp. 189-204.
- Sozer, Hatice. (2010). «Improving energy efficiency through the design of the building envelope». *Building and Environment*. 45(12). pp. 2581-2593.
- Struck, Christian et Hensen, Jan. (2007). «On Supporting Design Decisions in Conceptual Design Addressing Specifications Uncertainties Using Performance Simulation». In Tenth International IBPSA Conference. (Beijing, 3-6 septembre 2007). Beijing: IBPSA, pp. 1434-1439.

Tweed, Christopher. (2001). «The social contexte of CAAD in practice». *Automation in Construction*. 10(5). pp. 617-629.

Utzinger, D. Michael et Bradley, David E. (2009). «Integrating Energy Simulation into the Design Process of High Performance Buildings : A Case Study of the Aldo Leopold Legacy Center». In Eleventh International IBPSA Conference. (Glasgow, 27-30 juillet 2009). Glasgow: IBPSA, pp. 1214-1221.

Weytjens, Lieve et Verbeeck, Griet. (2010). «Towards 'architect-friendly' energy evaluation tools». In The 2010 Spring Simulation Multiconference. (Orlando). Orlando, pp. 1-8.

Yeomans, S.G. et al. (2006). «An evaluation of current collaborative prototyping practices within the AEC industry». *Automation in Construction*. 15(2). pp. 139-149.

Thèses

Gagnon, Shirley. (2011). *Light'n books : l'hélio-morphologie d'une librairie urbaine*. projet de fin d'études en architecture (M. Arch.). Québec: École d'architecture de l'Université Laval. En ligne. <http://www.wix.com/shirleygagnon/portfolio_sg#!projets/vstc3=lighn-books>. page consultée le 10 décembre 2011.

Parthenios, Panagiotis. (2005). «Conceptual Design Tools for Architects». Thèse de doctorat. Cambridge: Harvard University, 422 p.

Pronovost, Francis. (2010). «Développement d'un concentrateur solaire dans une perspective d'exploitation durable de l'énergie solaire ». Mémoire de maîtrise. Québec: Université Laval, 110 p.

White, Jacques. (1998). «Les prises de décision des architectes dans la conception architecturale : étude de trois concours québécois récents». Mémoire de maîtrise. Québec: Université Laval, 165 p.

Publications officielles

Commission des communautés européenne. (2006). *Plan d'action pour l'efficacité énergétique: réaliser le potentiel*. (19 octobre 2006). Bruxelles: Communication de la Commission, 28 p. En ligne. <<http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=COM:2006:0545:FIN:FR:PDF>>. page consultée le 15 décembre 2011.

Commission des communautés européenne. (2007). *Feuille de route pour les sources d'énergie renouvelables. Les sources d'énergie renouvelables au 21e siècle: construire un avenir plus durable*. (10 janvier 2007). Bruxelles: Communication de

la Commission au conseil et au parlement européen, 26 p. En ligne. <<http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=COM:2006:0848:FIN:FR:PDF>>. page consultée le 15 décembre 2011.

Commission des communautés européenne. (2007). *Une politique de l'énergie pour l'Europe*. (10 janvier 2007). Bruxelles: Communication de la Commission au conseil et au parlement européen, 32 p. En ligne. <<http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=COM:2007:0001:FIN:FR:PDF>>. page consultée le 15 décembre 2011.

Council of Australian Governments (COAG). (2009). *National Strategy on Energy Efficiency*. Canberra Commonwealth of Australia, 31 p. En ligne. <http://www.coag.gov.au/coag_meeting_outcomes/2009-07-02/docs/Energy_efficiency_measures_table.pdf>. page consultée le 6 décembre 2011.

Office de l'efficacité énergétique. (2009). *Consommation d'énergie secondaire au Canada par secteur, utilisation finale et sous-secteur*. Ottawa: Ressources naturelles Canada, 1 p.

Office de l'efficacité énergétique. (2009). *Émissions de GES au Canada par secteur, utilisation finale et sous-secteur - incluant celles liées à l'électricité*. Ottawa: Ressources naturelles Canada, 1 p.

Parlement européen et Conseil de l'Union européenne. (2002). *Directive sur la performance énergétique des bâtiments*. (19 mai 2010). Bruxelles: Union européenne, 23 p. En ligne. <<http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2010:153:0013:0035:FR:PDF>>. page consultée le 15 décembre 2011.

Société canadienne d'hypothèques et de logement. (2006). *Guide sur le processus de conception intégré*. rédigé par Alex Zimmermann. Ottawa: Société canadienne d'hypothèques et de logement, 18 p.

Sites internet

Conseil de recherches en sciences naturelles et en génie du Canada (CRSNG / NSERC). (2011). *Réseau de recherche du CRSNG sur les bâtiments solaires (2005-2010)*. En ligne. <<http://www.nsercpartnerships.ca/How-Comment/Networks-Reseaux/Solar-Solaire-fra.asp>>. page consultée le 8 décembre 2011.

Gouvernement du Canada. (2011). *Actions du Canada concernant les changements climatiques*. En ligne. <<http://www.ecoaction.gc.ca/climatechange-changementsclimatiques/index-fra.cfm>>. page consultée le 5 décembre 2011.

Gouvernement du Canada. (2011). *Faits saillants - La performance énergétique des bâtiments canadiens gagne en efficacité*. En ligne. <<http://www.nrc->

cnrc.gc.ca/fra/actualites/cnrc/2011/12/01/code-energie.html>. page consultée le 8 décembre 2011.

Roditi, David. (2011). *Outils solaires*. En ligne. <<http://www.outilssolaires.com>>. page consultée le 4-5 octobre 2011.

U.S. Department of Energy. (2011). *Building Energy Software Tools Directory*. En ligne. <http://apps1.eere.energy.gov/buildings/tools_directory/about.cfm>. page consultée le 3 mars 2010.

Union internationale des architectes (UIA). (1999). *Accord de l'UIA sur les normes internationales recommandées des professionnels dans le Code de pratique architecturale*. En ligne. <www.uia-architectes.org/image/PDF/UIA-Accord%20full_def.pdf>. page consultée le 15 septembre 2011.

Annexe A : Correspondance avec les éditeurs

Re : permission to insert EuroSun 2010 paper

INFO EuroSun [info@eurosun2010.org]

Date d'envoi : 22 décembre 2011 07:29

À : [Shirley Gagnon](#)

Pièces jointes :  [copyright agreement_Eurosu-1.pdf \(14 Ko\)](#)[Ouvrir sous forme de page Web]

Dear Ms Gagnon!

Yes, you have our permission.

However, you do not need it as you still own the copyright.

.....This document certifies that the EuroSun 2010 conference host, ISES Europe owns the right

to print, publish and reproduce, in whole or in part in any media including the Internet, the

paper mentioned above in written, electronic or any other form as part of the Book of Abstracts as well as the Proceedings of the EuroSun 2010 conference.

No compensation shall be claimed for such publication.

*Beyond this agreement, the authors **own all other proprietary rights and retain a perpetual, non-exclusive copyright for publication elsewhere...** (see attached file)*

Best Regards

Margaretha Spencer

Am 21.12.2011 21:04, schrieb Shirley Gagnon :

Dear Mr. Streicher, Mr. Chwieduk and Mr. Köhl,

I am currently finishing my thesis and I would like to insert the paper published on the occasion of the EuroSun 2010 Conference entitled "High Quality Solar Architecture: Do Architects Have Tools Supporting Early Design Phase Decisions?".

Therefore, I am asking for the editor's permission to use this article as a part of my thesis, which will most likely circulate among, notably, the Laval University's community and the Canadian National Library.

Rest assured that acknowledgments and will be adequately given with the reference and copyright.

Best regards,
Shirley Gagnon

Annexe B : Questionnaire de l'enquête internet

(version francophone³⁴)

FORMULAIRE DE CONSENTEMENT

Présentation

Cette recherche portant sur l'énergie solaire et l'architecture s'inscrit dans le cadre de la Tâche 41 (*Task 41*) du *Solar Heating and Cooling Programme* (SHC) de l'Agence internationale de l'énergie (IEA). Cette recherche est dirigée par Marie-Claude Dubois, professeure à l'École d'architecture de l'Université Laval et Miljana Horvat, professeure au Département des sciences architecturales de l'Université Ryerson. Les professeures impliquées dans cette recherche sont appuyées par des assistant(e)s de recherche.

Avant d'accepter de participer à ce projet de recherche, veuillez prendre le temps de lire et de comprendre les renseignements qui suivent. Ce document vous explique le but de ce projet de recherche, ses procédures et avantages. Nous vous invitons à poser toutes les questions que vous jugerez utiles par courriel aux personnes responsables dont les coordonnées se trouvent dans la section *Renseignements supplémentaires*.

Nature de l'étude

Cette recherche vise à évaluer les connaissances des architectes de différents pays en matière d'énergie solaire et à identifier quels types d'outils informatiques ils utilisent de manière à cibler les obstacles limitant l'utilisation de l'énergie solaire en architecture.

Déroulement de la participation

Votre participation à cette recherche consiste à remplir un questionnaire électronique, d'une durée d'environ quinze minutes, qui portera sur les éléments suivants :

- Votre pratique architecturale;
- vos expériences professionnelles;
- les obstacles relatifs à l'intégration de l'énergie solaire à l'architecture;
- les outils disponibles pour le design solaire.

³⁴ La version francophone de l'enquête a été utilisée en Belgique, au Canada, en France, et en Suisse.

Avantages possibles liés à la participation

La participation à cette recherche vous offre l'occasion de prendre conscience de l'importance de l'énergie solaire en architecture, et/ou des problèmes liés aux outils de conception en architecture. De plus, vous pourriez être invités ultérieurement à participer à des séminaires organisés pour les professionnels.

Participation volontaire et droit de retrait

Vous êtes libre de participer à ce projet de recherche. Vous pouvez aussi mettre fin à votre participation sans conséquence négative ou préjudice et sans avoir à justifier votre décision. Si vous décidez de mettre fin à votre participation, vous n'avez qu'à refuser de poursuivre le processus en cliquant sur « Je refuse » au bas de cette page. Tous les renseignements personnels vous concernant seront alors détruits.

Confidentialité et gestion des données

Les mesures suivantes seront appliquées pour assurer la confidentialité des renseignements fournis par les participants :

- Les noms des participants ne paraîtront dans aucun rapport;
- les divers documents de la recherche seront codifiés et seul le chercheur aura accès à la liste des noms et des codes;
- les résultats individuels des participants ne seront jamais communiqués;
- les données obtenues à la suite de l'enquête internet seront conservées dans des fichiers informatisés pendant 2 ans après quoi ils seront détruits et demeurent, pendant cette période, la propriété de l'Agence internationale de l'énergie (IEA). Veuillez noter que seules les données dénominalisées seront transmises à l'IEA;
- si la recherche fait l'objet de publications dans des revues scientifiques, aucun participant ne pourra y être identifié ou reconnu.

Pour des renseignements supplémentaires

Si vous avez des questions sur la recherche ou sur les implications de votre participation, veuillez communiquer avec Shirley Gagnon, étudiante, par courriel (shirley.gagnon.1@ulaval.ca) ou Marie-Claude Dubois, professeure, au numéro de

téléphone suivant : (418) 656-2131 poste 5010, ou par courriel (marie-claude.dubois@arc.ulaval.ca).

Consentement

Votre collaboration est précieuse pour nous permettre de réaliser cette étude et nous vous remercions d'y participer.

J'accepte librement de participer à la recherche intitulée : « Outils de conception et connaissances des architectes : des obstacles au développement d'une architecture solaire de haute qualité ». J'ai pris connaissance du formulaire et j'ai compris le but, la nature et les avantages du projet de recherche. Je suis satisfait(e) des explications, précisions et réponses que le/la chercheur(e) m'a fournies, le cas échéant, quant à ma participation à ce projet.

J'accepte

Je refuse

Plainte ou critique

Toute plainte ou critique sur ce projet de recherche pourra être adressée au Bureau de l'Ombudsman de l'Université Laval :

Pavillon Alphonse-Desjardins, bureau 3320
2325, rue de l'Université
Université Laval
Québec (Québec) G1V 0A6
Renseignements — Secrétariat : (418) 656-3081
Ligne sans frais : 1-866-323-2271
Télécopieur : (418) 656-3846
Courriel : info@ombudsman.ulaval.ca

Projet approuvé par le Comité d'éthique de la recherche avec des êtres humains de l'Université Laval 2009-256 / 14-01-2010

INTRODUCTION

Enquête internationale menée par l'AIE (Agence Internationale de l'Energie) : Tâche 41 : Énergie solaire et architecture

Cher professionnel,

L'Agence Internationale de l'Energie mène actuellement une enquête internationale portant sur l'intégration des systèmes de production d'énergie solaire dans le bâtiment. Les résultats de cette enquête permettront d'orienter les efforts internationaux visant le développement d'outils et de nouvelles technologies solaires ainsi que l'amélioration de leur intégration à l'architecture des bâtiments. Votre participation à cette enquête constituera un apport certain soutenant le développement d'une architecture solaire de haute qualité dans le futur.

Le questionnaire prend environ 10 minutes à remplir. Toutes les informations que vous fournirez seront confidentielles et seront utilisées uniquement pour cette recherche. Les réponses individuelles ne seront pas publiées individuellement mais elles seront présentées dans leur ensemble.

Si vous désirez obtenir de plus amples renseignements à propos de cette enquête internationale, veuillez contacter :

Le premier représentant de votre pays à la Tâche 41 AIE

e-mail : name1@email.com

Ou le second représentant :

e-mail : name2@email.com

Pour de plus amples informations à propos de ce projet de recherche, veuillez consulter :

<http://www.iea-shc.org/task41/index.html>

Nous vous remercions très cordialement de votre participation.

GÉNÉRAL

1. Dans votre pratique architecturale actuelle, qualifiez l'importance accordée à l'utilisation de l'énergie solaire (par exemple : utilisation des gains solaires passifs, utilisation des modules photovoltaïques, etc.).

< Important; Neutre; Pas important; Je ne sais pas >

PRATIQUE

2. À quelle fréquence vos projets d'architecture comprennent-ils :

des cellules photovoltaïques pour la production d'électricité?

des technologies solaires thermiques pour la production d'eau chaude?

des technologies solaires thermiques pour le chauffage?

des technologies solaires thermiques pour la climatisation?

des stratégies solaires passives pour le chauffage?

des stratégies pour l'utilisation de la lumière naturelle?

< Toujours; Souvent; Parfois; Rarement; Jamais >

MÉTHODES DE CONCEPTION

3. À quelle phase du processus de conception considérez-vous, pour la première fois, l'intégration de technologies solaires?

< Phase esquisse; Conception préliminaire; Conception détaillée; Phase exécution (dessins de construction) >

4. Parmi les énoncés suivants, lesquels correspondent le mieux à votre propre processus de conception? S'il vous plaît, sélectionnez les trois énoncés les plus représentatifs.

< Je me réfère souvent à mes expériences antérieures; J'utilise les méthodes approximatives (« rules of thumb »); J'utilise des guides contenant des lignes directrices; J'utilise des simulations par ordinateur; J'utilise des systèmes experts en architecture (par exemple pour la recherche de concepts); Je travaille en collaboration avec le client; Je

travaille en collaboration avec les futurs utilisateurs du bâtiment (mode participatif); Je conçois plusieurs propositions; Je travaille en collaboration avec d'autres professionnels du bâtiment >

MÉTHODES DE CONCEPTION – PETITS PROJETS

5. Comment se déroulent les prises de décision concernant l'intégration de technologies solaires dans vos petits projets (moins complexes)? S'il vous plaît, choisissez tout ce qui s'applique.

Je prends les décisions moi-même

Je consulte un collègue architecte possédant une expérience spécifique

J'engage un consultant interne en énergie solaire

J'engage un consultant externe en énergie solaire

J'engage un ingénieur spécialisé

J'organise une séance de travail multidisciplinaire

J'implique d'autres professionnels* (Spécifiez)

< Phase conceptuelle (esquisse); Phase de conception préliminaire; Phase de conception détaillée; Phase des dessins de construction >

MÉTHODES DE DESIGN – PROJETS COMPLEXES

6. Comment se déroulent les prises de décision concernant l'intégration de technologies solaires dans vos grands projets (plus complexes)? S'il vous plaît, choisissez tout ce qui s'applique.

Je prends les décisions moi-même

Je consulte un collègue architecte possédant une expérience spécifique

J'engage un consultant interne en énergie solaire

J'engage un consultant externe en énergie solaire

J'engage un ingénieur spécialisé

J'organise une séance de travail multidisciplinaire

J'implique d'autres professionnels* (Spécifiez)

< Phase conceptuelle (esquisse); Phase de conception préliminaire; Phase de conception détaillée; Phase des dessins de construction >

OUTILS POUR LE DESIGN SOLAIRE

7. Comment qualifiez-vous vos compétences actuelles...

...dans l'utilisation de méthodes graphiques pour le design solaire

... dans l'utilisation d'outils CAO (conception assistée par ordinateur)?

... avec l'utilisation des fonctions, pour le design solaire, intégrées aux outils CAO que vous utilisez actuellement?

... avec l'utilisation de logiciels avancés pour la simulation énergétique ou solaire

< Très avancées; Avancées; Intermédiaires; Faibles; Très faibles >

8. Dans la liste ci-dessous, identifiez à quelle étape du processus de conception vous utilisez les logiciels informatiques suivants. S'il vous plaît, sélectionnez tous les choix applicables.

8a : Logiciels CAO (conception assistée par ordinateur) : Vectorworks, Rhinoceros 3D, Microstation, Lightworks, Houdini, Form-Z, Digital project, Cinema 4D, Caddie, Blender, ArchiCad, 3ds Max, Autre (Spécifiez).

< Phase conceptuelle (esquisse); Phase de conception préliminaire; Phase de conception détaillée; Phase des dessins de construction >

8 b : Logiciels de visualisation (modélisation 3D) : Yafaray, V-Ray, RenderZone, Renderworks, Renderman, POV-ray, Mental Ray, Maxwell Render, LuxRender, LightWave, Flamingo, Artlantis, Autre (Spécifiez).

< Phase conceptuelle (esquisse); Phase de conception préliminaire; Phase de conception détaillée; Phase des dessins de construction >

8c : Logiciels de simulation : RETScreen, Radiance, PVSyst, PV*SOL, Polysun, LESOSAI, IES VE, IDA ICE, eQUEST, Energy Design Performance, Ecotect, Design

Performance Viewer, DesignBuilder, Daysim, bSol, BKI Energieplanner, Autre (Spécifiez).

< Phase conceptuelle (esquisse); Phase de conception préliminaire; Phase de conception détaillée; Phase des dessins de construction >

9. Quels sont les 3 facteurs qui influencent le plus le choix des logiciels que vous utilisez?

< Ergonomie de l'interface utilisateur; Prix du logiciel; Validité des résultats obtenus en simulation; Interopérabilité avec les autres logiciels; Possibilité de créer et utiliser des scripts; Les plug-ins disponibles pour le logiciel; La qualité des rendus; L'interface 3D; Autre (Spécifiez) >*

OUTILS POUR LE DESIGN SOLAIRE - SATISFACTION

10. Pour les logiciels que vous utilisez couramment, quel est votre niveau de satisfaction concernant leur capacité à intégrer les stratégies solaires et de leurs composantes dans la conception des bâtiments. S'il vous plaît, cochez tous les choix applicables.

10a : Logiciels CAO (conception assistée par ordinateur) : Vectorworks, Rhinoceros 3D, Microstation, Lightworks, Houdini, Form-Z, Digital project, Cinema 4D, Caddie, Blender, ArchiCad, 3ds Max, Autre (Spécifiez).

< Très satisfait; Satisfait; Neutre; Insatisfait; Très insatisfait >

10 b : Logiciels de visualisation (modélisation 3D) : Yafaray, V-Ray, RenderZone, Renderworks, Renderman, POV-ray, Mental Ray, Maxwell Render, LuxRender, LightWave, Flamingo, Artlantis, Autre (Spécifiez).

< Très satisfait; Satisfait; Neutre; Insatisfait; Très insatisfait >

10c : Logiciels de simulation : RETScreen, Radiance, PVSyst, PV*SOL, Polysun, LESOSAI, IES VE, IDA ICE, eQUEST, Energy Design Performance, Ecotect, Design Performance Viewer, DesignBuilder, Daysim, bSol, BKI Energieplanner, Autre (Spécifiez).

< *Très satisfait; Satisfait; Neutre; Insatisfait; Très insatisfait* >

OUTILS POUR LE DESIGN SOLAIRE — OBSTACLES

11. Quels sont, pour vous, les principaux obstacles à l'utilisation des outils actuellement disponibles pour l'intégration architecturale de stratégies solaires et de leurs composantes?

< *Les outils ne sont pas utiles en phase conceptuelle; Les outils sont trop chers; Les outils sont trop complexes (difficiles à apprendre); L'utilisation de ces outils demande trop de temps; Les outils ne sont pas intégrés à notre processus normal de conception; Les outils ne sont pas intégrés à nos logiciels CAAO (conception architecturale assistée par ordinateur); Je trouve les outils disponibles satisfaisants; Je ne sais pas / non applicable (S.O.); Autres* (Spécifiez) >*

OUTILS POUR LE DESIGN SOLAIRE – BESOINS D'AMÉLIORATION

12. Considérez-vous que des améliorations ou des développements devraient être faits aux outils actuels afin de soutenir l'intégration des systèmes solaires dans la conception des bâtiments? S'il vous plaît, cochez tous les choix applicables pour chacune des phases de design.

Oui, nous avons besoin de meilleurs outils pour la visualisation (intégration architecturale)

Oui, nous avons besoin de meilleurs outils pour le dimensionnement préliminaire des systèmes solaires

Oui, nous avons besoin de meilleurs outils pour fournir des données clés (chiffres) sur l'énergie solaire

Oui, nous avons besoin d'outils qui interagissent qualitativement avec les choix de volumétrie et d'orientation

Non, je trouve les outils disponibles satisfaisants

Je ne sais pas/ non applicable (S.O.)

Autres besoins* (Spécifiez)

< Phase conceptuelle (esquisse); Phase de conception préliminaire; Phase de conception détaillée; Phase des dessins de construction >

13. S'il vous plaît, précisez d'autres besoins en ce qui concerne les outils ou les méthodes utilisés pour l'architecture solaire.

QUESTIONS INFORMATIVES à des fins statistiques seulement

14. Combien d'employés compte votre bureau?

< Moins de 3; 3 à 10; 11 à 50; Plus de 50 >

15. Parmi les catégories de bâtiments suivantes, lesquelles correspondent à celles pour lesquelles vous êtes le plus souvent embauchés? Vous pouvez en sélectionner plus d'une, mais, s'il vous plaît, cochez celles qui décrivent l'orientation principale de votre pratique.

< Projets de rénovations; Bâtiments neufs; Bâtiments résidentiels; Bâtiments commerciaux : magasins de détail, centre commercial, etc. ; Bâtiments commerciaux : édifices à bureaux ; Bâtiments scolaires : écoles, garderies, etc. ; Bâtiments institutionnels : hôpitaux, centre de soins, etc. ; Bâtiments institutionnels : musées, centres d'expositions, bibliothèques, etc. ; Bâtiments gouvernementaux; Industries, usines, entrepôts; Autres (Spécifiez) >*

16. Parmi les catégories suivantes, lesquelles correspondent le mieux à votre processus de conception? S'il vous plaît, ne cochez pas plus de 3 catégories.

< Processus de design intuitif (par exemple, décisions prises instinctivement, souvent reliées à l'expérience acquise); Processus de design intégré-PDI (caractérisé par une forte collaboration multidisciplinaire); Processus participatif (caractérisé par la participation des citoyens, des futurs utilisateurs); Processus orienté sur l'énergie (caractérisé par une forte utilisation d'outils qualitatifs); Autres (Spécifiez) >*

17. Parmi les méthodes contractuelles suivantes, laquelle correspond le mieux à votre pratique architecturale?

< Méthode conventionnelle avec des projets variés; Méthode Design-Build (DB); Construction management (CM); Autres (Spécifiez) >*

18. Est-ce que votre bureau est actif...

< sur la scène nationale?; sur la scène internationale?; à la fois sur les scènes nationale et internationale? >

QUESTIONS DÉMOGRAPHIQUES *à des fins statistiques seulement*

19. Quelle est votre année de naissance?

20. Quel est votre sexe?

21. Quelle est votre profession?

< Architecte/concepteur; Ingénieur; Physicien; Autre (Spécifiez) >

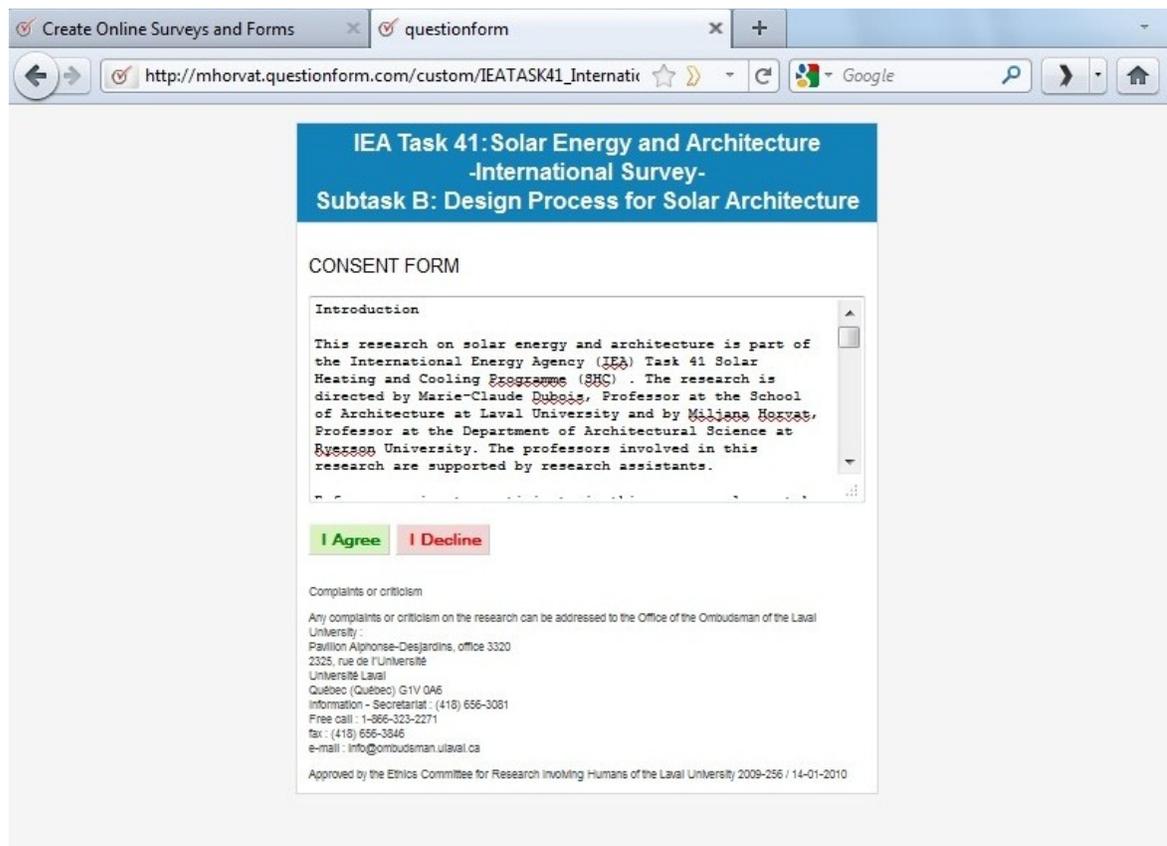
22. Depuis combien de temps pratiquez-vous votre métier?

< Moins de 5 ans; Entre 5 et 10 ans; Plus de 10 ans >

23. Écrivez-ici tout autre commentaire que vous désirez ajouter à cette enquête :

Annexe C : Questionnaire de l'enquête internet (version anglophone visuel web³⁵)

L'annexe B présente le questionnaire utilisé pour l'enquête internet, dans sa version originale anglophone. Les répondants à l'enquête ont tous été soumis au même visuel, seul le texte variait en fonction de la ou des langues officielles ou couramment utilisées dans chacun des pays sondés.



The image shows a screenshot of a web browser window. The browser's address bar displays the URL: http://mhorvat.questionform.com/custom/IEATASK41_Internatic. The page content is titled "IEA Task 41: Solar Energy and Architecture -International Survey- Subtask B: Design Process for Solar Architecture". Below the title is a "CONSENT FORM" section. It begins with an "Introduction" box containing the following text: "This research on solar energy and architecture is part of the International Energy Agency (IEA) Task 41 Solar Heating and Cooling Programme (SHC). The research is directed by Marie-Claude Dubois, Professor at the School of Architecture at Laval University and by Miljana Horvat, Professor at the Department of Architectural Science at Ryerson University. The professors involved in this research are supported by research assistants." Below the introduction are two buttons: "I Agree" (green) and "I Decline" (red). Further down, there is a section for "Complaints or criticism" with contact information for the Office of the Ombudsman of the Laval University: "Pavillon Alphonse-Desjardins, office 3320, 2325, rue de l'Université, Université Laval, Québec (Québec) G1V 0A6, Information - Secrétariat : (418) 656-3081, Free call : 1-866-323-2271, fax : (418) 656-3846, e-mail : info@ombudsman.ulaval.ca". At the bottom, it states "Approved by the Ethics Committee for Research Involving Humans of the Laval University 2009-256 / 14-01-2010".

³⁵ La version anglophone de l'enquête a été utilisée en Australie, au Canada et au Danemark. Cependant, toutes les versions de l'enquête présentait le même graphisme.

Create Online Surveys and Forms x IEATASK41_International Survey_Can... x +

questionform.com https://questionform.com/secure/mhorvat/ll ☆ Google

IEA Task 41 Solar Energy and Architecture -International Survey- Subtask B: Design Process for Solar Architecture



International Survey conducted under the IEA (International Energy Agency) Task 41: Solar Energy and Architecture

Dear Professional,
The International Energy Agency (IEA) is conducting a survey concerning the integration of solar energy systems and architecture. The results of the survey will help architects develop new strategies and tools to improve the incorporation of solar components into the design of new buildings. Participation in the survey is voluntary, but would be greatly beneficial to the overall success of the project.

The survey takes about 10 minutes to complete.

Any information that you provide will remain confidential and be used for research purposes only. Individual survey responses will not be published, but presented in aggregate form.

If you would like additional information on this international survey, please contact:

Marie-Claude Dubois
e-mail: marie-claude.dubois@arc.ulaval.ca

Miljana Horvat
e-mail: mhorvat@ryerson.ca

For more information about the research project:
<http://www.iea-shc.org/task41/index.html>

Thank you in advance for your participation.

4%

Create Online Surveys and Forms x IEATASK41_International Survey_Can... x +

questionform.com https://questionform.com/secure/mhorvat/II ☆ ↻ Google

IEA Task 41 Solar Energy and Architecture -International Survey- Subtask B: Design Process for Solar Architecture

General

1. In your current architectural practice, how would you rate the importance of the use of solar energy (e.g. use of passive solar gains, solar thermal, photovoltaics, etc.)?



click to edit

Important

Neutral

Unimportant

I don't know

← Prev page 9% Next page →

Create Online Surveys and Forms | IEATASK41_International Survey_Can... | questionform.com | https://questionform.com/secure/mhorvat/II | Google

IEA Task 41 Solar Energy and Architecture -International Survey- Subtask B: Design Process for Solar Architecture

Practice

2. How often do your projects include:

	Always	Often	Sometimes	Rarely	Never
Photovoltaic technologies for electricity	<input type="radio"/>				
Solar thermal technologies for domestic hot water	<input type="radio"/>				
Solar thermal technologies for heating	<input type="radio"/>				
Solar thermal technologies for cooling	<input type="radio"/>				
Passive use of solar gains for heating	<input type="radio"/>				
Daylight utilization strategies	<input type="radio"/>				

← Prev page | 14% | Next page →

IEA Task 41
Solar Energy and Architecture
-International Survey-
Subtask B: Design Process for Solar Architecture

Design Methods

3. In which design phase would you first consider the integration of solar energy technologies?

Conceptual phase
 Preliminary design
 Detailed design
 Construction drawings

← Prev page 19% Next page →

Create Online Surveys and Forms x IEATASK41_International Survey_Can... x +

questionform.com https://questionform.com/secure/mhorvat/II Google

IEA Task 41 Solar Energy and Architecture -International Survey- Subtask B: Design Process for Solar Architecture

4. Among the following categories, identify up to three categories which corresponds best to your own design process?

- Experiences
- Rules of thumb
- Design guidelines
- Computer simulation
- Expert systems architecture (concept research)
- Interactions with the owner
- Interactions with future users of the building (public participation)
- Conception of several propositions
- Collaboration with others

Prev page 23% Next page

Create Online Surveys and Forms x IEATASK41_International Survey_Can... x +

questionform.com https://questionform.com/secure/mhorvat/II Google

IEA Task 41 Solar Energy and Architecture -International Survey- Subtask B: Design Process for Solar Architecture

Design methods - simple projects

5. How would you handle the decision making for the integration of solar energy technologies in your project in case of smaller, less complex projects? (Please select all that apply)

	Conceptual phase	Preliminary design phase	Detailed design phase	Construction drawings phase
Do it myself	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Consult a colleague (architect) with specific experience	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Involve an internal solar energy consultant	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Involve an external solar energy consultant	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Involve a building physics / building science specialist	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Arrange multidisciplinary workshops /IDP	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Involve other profession*	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

*please specify other profession

Prev page 28% Next page

Create Online Surveys and Forms x IEATASK41_International Survey_Can... x +

questionform.com https://questionform.com/secure/mhorvat/II ☆ Google

IEA Task 41 Solar Energy and Architecture -International Survey- Subtask B: Design Process for Solar Architecture

Design methods - complex projects

6. How would you handle the decision making for the integration of solar energy technologies in your project in case of larger, more complex projects? (Please select all that apply)

	Conceptual phase	Preliminary design phase	Detailed design phase	Construction drawings phase
Do it myself	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Consult a colleague (architect) with specific experience	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Involve an internal solar energy consultant	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Involve an external solar energy consultant	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Involve a building physics / building science specialist	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Arrange multidisciplinary workshops /IDP	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Involve other profession*	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

*please specify other profession

← Prev page 33% Next page →

Create Online Surveys and Forms x IEATASK41_International Survey_Can... x +

questionform.com https://questionform.com/secure/mhorvat/II ☆ ↻ Google

IEA Task 41 Solar Energy and Architecture -International Survey- Subtask B: Design Process for Solar Architecture

Tools for solar design

7. How would you describe your current skills?
click to edit

	Very advanced	Advanced	Fair	Poor	Very poor/ I do not use it
with the use of graphical solar design methods (for example: solar charts)	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
with the use of CAAD (computer aided architectural design) programs	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
with the use of solar design tools in the CAAD (computer aided architectural design) programs you currently use	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
with the use of advanced solar or energy simulation tools	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

← Prev page 38% → Next page

Create Online Surveys and Forms | IEATASK41_International Survey_Can... | questionform.com | https://questionform.com/secure/mhorvat/ | Google

IEA Task 41 Solar Energy and Architecture -International Survey- Subtask B: Design Process for Solar Architecture

8. In the list below, identify at which design stage you use the following computer programs (please select all that apply):

CAD (Computer-aided Architectural Design) programs:

	Conceptual phase	Preliminary design phase	Detailed design phase	Construction drawings phase
3ds Max	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Allplan	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
ArchCAD	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
AutoCAD	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Blender	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Bricscad	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Caddie	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
CATIA	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
CINEMA 4D	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
DDS-CAD	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Digital Project	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
EltecCAD	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
FermZ	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Google SketchUp	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Houdini	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Intelli Plus Architecturals	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Lightworks	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Maya	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
MicroStation	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Revit Architecture	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Rhinoceros 3D	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
SolidWorks	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Vectorworks	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

VISUALIZATION TOOLS:

	Conceptual phase	Preliminary design phase	Detailed design phase	Construction drawings phase
Artlantis	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Flamingo	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
LightWave	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
LuxRender	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Maxwell Render	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Mental Ray	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
POV-Ray	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Renderman	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Renderworks	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
RenderZone	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
V-Ray	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
YafaRay	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

SIMULATION TOOLS:

	Conceptual phase	Preliminary design phase	Detailed design phase	Construction drawings phase
BKI ENERGIEplaner	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
bSol	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
DAYSIM	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
DesignBuilder	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Design Performance Viewer (DPV)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Ecotec	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Energy Design Performance II (EDG II)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
eQUEST	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
IDA ICE	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
IES VE	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
LESOSAI	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Polysun	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
PVSOL	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
PVsyst	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Radiance	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
RETScreen	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Prev page | 42% | Next page

IEA Task 41
Solar Energy and Architecture
-International Survey-
Subtask B: Design Process for Solar Architecture

9. What are the 3 factors that most influence the choice of software you use?

- User-friendly design interface
- Cost
- Simulation capacity
- Interoperability with other softwares
- Availability of scripting feature
- Availability of plug-in(s)
- Quality of output (images)
- 3d interface
- Other*

*please specify

← Prev page 47% Next page →

Create Online Surveys and Forms | IEATASK41_International Survey_Can... | questionform.com | https://questionform.com/secure/mhorvat/ | Google

IEA Task 41 Solar Energy and Architecture -International Survey- Subtask B: Design Process for Solar Architecture

Tools for solar design - satisfaction

10. For the programs you currently use, express how satisfied you are with their support for solar building design (please select all that apply):

CAD (Computer-aided Architectural Design) programs:

	Very satisfied	Satisfied	Neutral	Dissatisfied	Very dissatisfied
3ds Max	<input type="checkbox"/>				
Alplan	<input type="checkbox"/>				
ArchCAD	<input type="checkbox"/>				
AutoCAD	<input type="checkbox"/>				
Blender	<input type="checkbox"/>				
Bricscad	<input type="checkbox"/>				
Caddie	<input type="checkbox"/>				
CATIA	<input type="checkbox"/>				
CINEMA 4D	<input type="checkbox"/>				
DOS-CAD	<input type="checkbox"/>				
Digital Project	<input type="checkbox"/>				
EliteCAD	<input type="checkbox"/>				
Form-Z	<input type="checkbox"/>				
Google SketchUp	<input type="checkbox"/>				
Houdini	<input type="checkbox"/>				
Intelli Plus Architecturals	<input type="checkbox"/>				
Lightworks	<input type="checkbox"/>				
Maya	<input type="checkbox"/>				
MicroStation	<input type="checkbox"/>				
Revit Architecture	<input type="checkbox"/>				
Rhinceros 3D	<input type="checkbox"/>				
SolidWorks	<input type="checkbox"/>				
Vectorworks	<input type="checkbox"/>				

VISUALIZATION TOOLS:

	Very satisfied	Satisfied	Neutral	Dissatisfied	Very dissatisfied
Artlantis	<input type="checkbox"/>				
Flamingo	<input type="checkbox"/>				
LightWave	<input type="checkbox"/>				
LuxRender	<input type="checkbox"/>				
Maxwell Render	<input type="checkbox"/>				
Mental Ray	<input type="checkbox"/>				
POV-Ray	<input type="checkbox"/>				
Renderman	<input type="checkbox"/>				
Renderworks	<input type="checkbox"/>				
RenderZone	<input type="checkbox"/>				
V-Ray	<input type="checkbox"/>				
YafaRay	<input type="checkbox"/>				

SIMULATION TOOLS:

	Very satisfied	Satisfied	Neutral	Dissatisfied	Very dissatisfied
BKI ENERGPlanner	<input type="checkbox"/>				
bSol	<input type="checkbox"/>				
DAV'SIM	<input type="checkbox"/>				
DesignBuilder	<input type="checkbox"/>				
Design Performance Viewer (DPV)	<input type="checkbox"/>				
Ecolect	<input type="checkbox"/>				
Energy Design Performance II (EDG II)	<input type="checkbox"/>				
eQUEST	<input type="checkbox"/>				
IDA ICE	<input type="checkbox"/>				
IES VE	<input type="checkbox"/>				
LESOSAI	<input type="checkbox"/>				
Polysun	<input type="checkbox"/>				
PVSOL	<input type="checkbox"/>				
PVyst	<input type="checkbox"/>				
Radance	<input type="checkbox"/>				
RETScreen	<input type="checkbox"/>				

Prev page | 52% | Next page

Create Online Surveys and Forms x IEATASK41_International Survey_Can... x +

questionform.com https://questionform.com/secure/mhorvat/II ☆ ↻ Google

IEA Task 41 Solar Energy and Architecture -International Survey- Subtask B: Design Process for Solar Architecture

Tools for solar design - barriers

11. Are there any barriers to your use of available tools related to architectural integration of solar design? (please, select all that apply)

- The tools are not adequately supporting the conceptual design stage
- Tools are too expensive
- The tools are too complex (high learning curve)
- Using the tools takes too much time
- The tools are too systemic (do not support integration of active/passive/daylight design)
- The tools are not integrated in our normal workflow
- The tools are not integrated in our CAAD software
- The tools are too simplistic and do not give me the information I require
- No, I find available tools quite satisfactory
- I don't know / not applicable
- Other*

*please specify

← Prev page 57% Next page →

Create Online Surveys and Forms x IEATASK41_International Survey_Can... x +

questionform.com https://questionform.com/secure/mhorvat/II ☆ ↻ Google

IEA Task 41 Solar Energy and Architecture -International Survey- Subtask B: Design Process for Solar Architecture

Tools for solar design - need for improvements

12. Do you see a need for improved tools to support the integration of solar building design? (please, select all that apply)
click to edit

	Conceptual phase	Preliminary design phase	Detailed design phase	Construction drawings phase
Yes, we need improved tools for visualization (architectural integration)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Yes, we need improved tools for preliminary sizing of solar energy systems	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Yes, we need improved tools for providing key data (numbers) about solar energy	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Yes, we need tools that provide explicit feedback (key data) in connection with building massing and orientation	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
No, I find available tools quite satisfactory	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
I don't know / not applicable	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Other*	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

*please specify

← Prev page
61%
Next page →

IEA Task 41
Solar Energy and Architecture
-International Survey-
Subtask B: Design Process for Solar Architecture

13. Please specify other needs regarding tools or methods:

Prev page 66% Next page

Create Online Surveys and Forms x IEATASK41_International Survey_Can... x +

questionform.com https://questionform.com/secure/mhorvat/II Google

IEA Task 41 Solar Energy and Architecture -International Survey- Subtask B: Design Process for Solar Architecture

Informative Factual Questions
(for statistical purposes only)

14. Number of employees in your firm:

Less than 3

3 to 10

11 to 50

More than 50

Prev page 71% Next page

Create Online Surveys and Forms x IEATASK41_International Survey_Can... x +

questionform.com https://questionform.com/secure/mhorvat/II ☆ ↻ Google

IEA Task 41 Solar Energy and Architecture -International Survey- Subtask B: Design Process for Solar Architecture

15. Among the following building categories, which one(s) correspond(s) the most to your architectural practice? (please, select all that apply)

Building renovation

New buildings

Residential buildings

Commercial buildings: retail stores, shopping centers, etc.

Commercial buildings: office buildings

Educational buildings: schools, kindergartens, etc.

Institutional buildings: hospitals, health care facilities

Institutional buildings: museums, exhibition centers, libraries, etc.

Government buildings

Industry / factory / storage buildings

Other*

*please specify

← Prev page 78% → Next page

Create Online Surveys and Forms x IEATASK41_International Survey_Can... x +

questionform.com https://questionform.com/secure/mhorvat/II ☆ ↻ Google

IEA Task 41 Solar Energy and Architecture -International Survey- Subtask B: Design Process for Solar Architecture

16. Among the following categories, identify up to three categories which correspond best to your own architectural design process?

- Intuitive design process (i.e. instinctive decisions made without conscious thought. It often refers to the architect's experience)
- Integrated design process –IDP (collaboration with others professionals in multidisciplinary teams)
- Participatory design (interaction between the future users of the building, e.g. public participation)
- Energy-oriented design (i.e. practicing sustainability with calculator and computer simulation)
- Other*

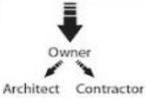
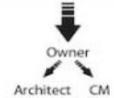
*please specify

← Prev page 80% Next page →

Create Online Surveys and Forms | IEATASK41_International Survey_Can... | questionform.com | https://questionform.com/secure/mhorvat/II | Google

IEA Task 41 Solar Energy and Architecture -International Survey- Subtask B: Design Process for Solar Architecture

17. Among the following categories, identify the category which corresponds best to your own architectural practice?

Contractual methods / Methods of project delivery Contractual methods establish communication, coordination and contracts between the owner, contractor and designer.		
Conventional method also called DBB (Design-Bid-Build)	DB (Design-Build)	CM (Construction Management)
 <p style="text-align: center;">Owner</p> <p style="text-align: center;">Architect Contractor</p> <p>The owner has separate contracts with the architect and contractor.</p> <p>DBB includes contests, charrettes and competitions.</p>	 <p style="text-align: center;">Owner</p> <p style="text-align: center;">Architecture/ Contractor Team</p> <p>The owner contacts one entity which is responsible for managing the whole project.</p> <p>DB includes Fast-track which means that construction is started before the design is complete to compress the time required.</p>	 <p style="text-align: center;">Owner</p> <p style="text-align: center;">Architect CM</p> <p>The owner contracts with both an architect and a construction manager who manages with both design and construction.</p>

Traditional (conventional) practice with variety of projects
 Design-Build (DB)
 Construction management (CM)
 Other*

*please specify

← Prev page 85% Next page →

IEA Task 41
Solar Energy and Architecture
-International Survey-
Subtask B: Design Process for Solar Architecture

18. Is your firm active...

Nationally

Internationally

Both nationally and internationally

← Prev page

90%

Next page →

Create Online Surveys and Forms x IEATASK41_International Survey_Can... x +

questionform.com https://questionform.com/secure/mhorvat/II Google

IEA Task 41 Solar Energy and Architecture -International Survey- Subtask B: Design Process for Solar Architecture

Personal factual questions (for statistical purposes only)

19. When were you born?

Year

20. Gender:

Female
 Male

21. Profession:

Architect / Designer
 Engineer
 Physicist
 Other*

*please specify

22. Professional experience:

Less than 5 years
 5 to 10 years
 More than 10 years

23. Any other comment that you wish to add to this survey:

Prev page 95% Next page

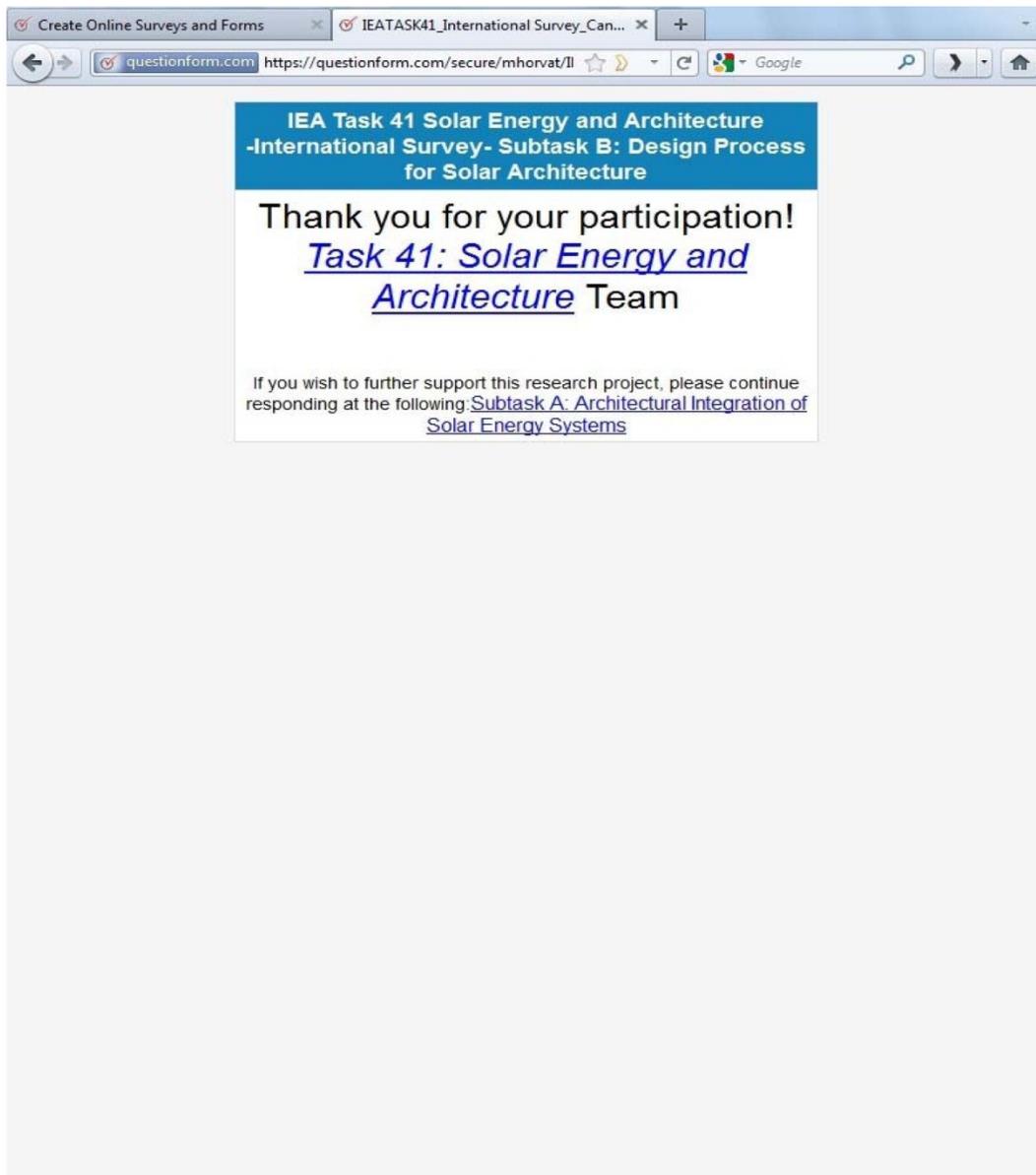
IEA Task 41
Solar Energy and Architecture
-International Survey-
Subtask B: Design Process for Solar Architecture

Contact information - optional

Your responses to the above questions will be captured in an electronic database in an anonymous format. However, at some point the IEA may want to contact you for further inquiry. You can assist us with this by providing your name, e-mail, current address and telephone number voluntarily in the space below. This form will be kept on file for two years.

Name:	<input type="text"/>
Company:	<input type="text"/>
Address:	<input type="text"/>
Address 2:	<input type="text"/>
City / Town:	<input type="text"/>
State / Province:	<input type="text"/>
ZIP / Postal Code:	<input type="text"/>
Country:	<input type="text"/>
Email Address:	<input type="text"/>
Phone Number:	<input type="text"/>

[← Prev page](#) 100% [Submit](#)



Annexe D : Ensemble des commentaires recueillis à la question 13

Le tableau suivant présente la totalité des commentaires recueillis à la seule question ouverte de l'enquête, la question 13. Les commentaires sont rapportés ici majoritairement en anglais, mais les commentaires originellement écrits en français ont été conservés dans cette langue puisqu'il s'agit de la langue maternelle de l'auteur. Les commentaires ont tous été analysés dans la langue dans laquelle ils apparaissent dans le tableau 13. Le cas échéant, les traductions vers l'anglais ont été réalisées par les experts impliqués dans la Tâche 41 de l'IEA.

Tableau 13 : Commentaires enregistrés par les répondants à la question 13, associés aux thèmes spécifiques qu'ils abordent et présentés par pays (n=65).

commentaires (version originale francophone ou version officielle anglophone)	thèmes spécifiques abordés	pays
When not introduced fully into solar architecture during the education, one cannot compensate for this later and solar energy is unlikely to be used later. Detailed simulation requires in-depth knowledge of tools or no meaningful full outcome will come from it. Solar energy should be a major part of any architects education path.	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Éducation 	Allemagne
Aid for conceptual design: demand/surface area of building/system alternatives, building services equipment	<ul style="list-style-type: none"> ▪ PÉC/EDP ▪ Fonctionnalités des outils 	Allemagne
I am not all that computer savvy and have a small practice. I need to be introduced to the tools available, have excellent tuition on how to use them and also be able to afford it. Subsidies for this sort of thing could certainly enhance results in general.	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Formation (outils disponibles) ▪ Incitatifs financiers 	Australie
Tools for Dummies.	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Documentation (outils) 	Australie
Education.	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Éducation 	Australie
Training.	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Formation 	Australie
A solar building design package compatible with Maya.	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Interopérabilité 	Australie
Cross integration with BCA compliant energy rating software.	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Interopérabilité ▪ Outils pour la conformité à un code/règlements/normes 	Australie
Method is good - teach me a method, but please don't give me another tool or another expert....	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Méthode ▪ Formation (méthode) 	Australie
Green technique.	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Méthode 	Australie
A more unified document production process, all round.	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Méthode (conception intégrée) 	Australie
Perhaps the tools are only useful for large scale buildings. Not small buildings/ dwellings.	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Outils (petits projets) 	Australie
Free online assessment, similar to NETHERS etc.	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Outils en ligne 	Australie
In my home state of NSW we have to use Basix (web based tool) to achieve the regulated goals of energy efficiency and water saving. Any useful tool should be allowed as an alternative to the Basix tool, that will require a change of legislation and/or regulation. The energy assessment area in NSW is a 'closed shop' and not open to competition.	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Outils pour la conformité à un code/règlements/normes ▪ Australie 	Australie

HOMER is a useful and simple Renew able Energy tool.	▪ Simplicité des outils	Australie
Anything we use needs to be very user-friendly. We cannot afford to shut down our office to train all of our staff in new software / technologies.	▪ Simplicité des outils	Australie
It would be nice to have one system relating to all Australia instead of individual states and Territories. Uniformity and simplicity for all to use	▪ Unification des outils (Australie)	Australie
There are sufficient tools – only: nobody uses them. I feel - no commitment for control - no correct specifications/planning/construction - no inspections > no complainant > no judge, no or little interest and after 5 years the plant is shut down “because anyways it doesn’t work”, a pity – today I don’t respond that positive. (Interpretation help: the writer is complaining about the lack of interest in a well working PV or ST system and the lack of control mechanisms. There is a German saying: If there is no complainant, there is no judge. It seems, that in the past he/she was convinced by solar technologies, but was disappointed and that for changed his/her mind.)	▪ Attitude	Autriche
I think, an open, well-informed, integral planning team, which is not focussed on certain products and processes, can solve most planning and construction problems. The question is: if the awarding authority is willing to pay such a team.	▪ Méthode (conception intégrée)	Autriche
CAD programs and tools should be easy to handle and during EDP it should already give possibilities and dimensions of utilization of solar energy. – Orientations, size of solar unit.	▪ PÉC/EDP ▪ Intégration CAAO ▪ Données numériques claires	Autriche
Catalogue produits disponibles sur le marché.	▪ Documentation (produits)	Belgique
Plus d’information concrète et scientifique permettant l’évaluation des différents systèmes.	▪ Données numériques claires	Belgique
Intégration des orientations, de l’horizon et des saisons pour optimiser les apports solaires et ne pas favoriser inutilement la surchauffe.	▪ Fonctionnalités des outils (passif)	Belgique
Méthodes claires et simples de prédimensionnement (règles de calcul, tables, ...).	▪ Simplicité des outils ▪ Outils approximatifs	Belgique
The problem is that many are trying to do these things without architect input. Architects have been designing solar projects for at least 30 years. It is only now that they are becoming more economically viable.	▪ Attitude (implication des architectes)	Canada
Ease of use on MAC computers would be great.	▪ Compatibilité MAC	Canada
Our problem is with new “tools” in general- COST and TIME. We need something more effective in both areas, again, sadly...	▪ Coût des logiciels ▪ Simplicité des outils	Canada
Éclairage.	▪ Fonctionnalités des outils (éclairage)	Canada
Analyse des impacts du bâti et des aménagements paysagés particulièrement en milieu urbain	▪ Fonctionnalités des outils (impact du contexte urbain)	Canada
We need a tool that models the energy use related to envelope/mass, is accurate, and seamless with Revit.	▪ Fonctionnalités des outils (masse thermique) ▪ Interopérabilité	Canada
I need a simple tool that integrates with AutoCAD and/or SketchUp to quickly assess optimum building orientation, material attributes for computing thermal mass, etc.	▪ Fonctionnalités des outils (masse thermique) ▪ Interopérabilité	Canada
Calcul de l’inertie thermique p/r aux matériaux de surface et/ou la structure (ex : béton).	▪ Fonctionnalités des outils (masse thermique)	Canada
Convenience of integration with all software packages and market evaluation tools would assist us in integrating the active solar technologies into our designs.	▪ Interopérabilité	Canada
Développer un outil capable d’intégrer un modèle venant d’un modéleur diverse et permettant de quantifier les gains.	▪ Interopérabilité ▪ Fonctionnalités des outils (passif) ▪ Données numériques claires	Canada

Industry needs to embrace IFC import & export to ensure operability, rather than suppliers targeting a single vendor's proprietary platform.	▪ Interopérabilité (standard de l'industrie)	Canada
Better availability of building physics services (Trans solar).	▪ Méthode (Disponibilité des services externes)	Canada
More rules of thumb and simple examples.	▪ Outils approximatifs ▪ Simplicité des outils ▪ Exemples de projets	Canada
Connaissance d'une méthodologie simple et d'outils facilement accessibles pour appuyer les décisions initiales dans le processus de design et approfondir les solutions constructives.	▪ PÉC/EDP ▪ Méthode (simplicité) ▪ Simplicité des outils	Canada
Possibilité de voir la relation entre la conception utilisant l'énergie solaire et l'impact économique final (coût de construction VS coût d'opération), notamment lors de la conception et de l'étape préliminaire.	▪ PÉC/EDP ▪ Fonctionnalités des outils (impact économique)	Canada
For frequent use, reasonable price of software and training opportunity are needed, and design fees should be increased.	▪ Coût des logiciels ▪ Incitatifs financiers	Corée du sud
Considering the beginning stage of solar buildings in Korea, at first standardized (simple) program that clients, builders and designers can easily use could be used and at the next stage more complex program can be considered.	▪ PÉC/EDP ▪ Simplicité des outils ▪ Méthode (conception intégrée)	Corée du sud
To pay attention to main elements selection and input a method for easy-to-use and credibility of output.	▪ Simplicité des outils	Corée du sud
More general and intuitive programs.	▪ Interface (intuitive)	Danemark
You need simple simulation programs for the initial phases.	▪ PÉC/EDP ▪ Simplicité des outils	Espagne
Unification of one or very few tools.	▪ Unification des outils	Espagne
Détermination des zones d'ombres, trop souvent non intégrée.	▪ Fonctionnalités des outils (zones d'ombre)	France
Outils, connaissances, formation pour approfondir mes compétences en thermique passive.	▪ Formation (passif)	France
Esquisse : approche par l'expérience et pour la suite des études il faut des outils très simples pour confirmer l'approche, la modifier et donner des éléments quantitatifs.	▪ Simplicité des outils ▪ Données numériques claires	France
In Italy the sensibility regarding solar energy systems is not yet developed mainly because the manufacturers in the building sector tend to economize on constructions; In several Northern Provinces the use of solar systems in buildings is required by law but the manufacturers and installers use low quality materials.	▪ Attitude ▪ Aspect économique ▪ Italie	Italie
Simplicity in the methods and comprehensibility.	▪ Méthode (simplicité)	Italie
Unique software recognized within the EU, easy to use and easy to learn: with training courses, which are brief, clear and easy to attend.	▪ Unification des outils (Europe) ▪ Simplicité des outils ▪ Formation	Italie
Lack of availability of architects and of the superintendence ³⁶	▪ Attitude ▪ Aspect politique	Italie
Tools must be able to handle combined systems.	▪ Fonctionnalités des outils (actif)	Norvège
Tools for solar radiation and outdoor temperatures at given geographical locations easily integrated into the solar software product. Good and variable system solutions integrated into the program with the ability to combine solar energy with other heat sources (bio, heat pumps, electricity, etc.). Updated data from suppliers if possible!	▪ Fonctionnalités des outils (passif) (vision globale de la production d'énergie)	Norvège

³⁶ "Superintendence" in Italy is the regional board of the ministry of cultural heritage and environmental conservation.

In order to be used by architects in early design stages, dynamic simulation tools, incorporating all aspects of energy efficiency – on hourly, monthly and annual basis, including solar thermal and photovoltaic's performance -, should include climate templates appropriate to each country, and a reduced number of variables regarding building typologies and construction systems. In the case of Portuguese climate, where overheating risk is significant, simplified tools (with only seasonal or annual weather data, of the type of RCCTE ³⁷) are not the most suitable.	<ul style="list-style-type: none"> ▪ PÉC/EDP ▪ Interface (dynamique) ▪ Fonctionnalités des outils (analyses globales) 	Portugal
Economics of Solar technologies e.g. PV vs Thermal are a main determinant, but it is hard to get reliable up to date cost information.	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Aspect économique (actif) 	Suède
More knowledge in general.	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Connaissances générales 	Suède
Easy availability as a plug-in for Archicad would be the perfect way to integrate this design into my workflow.	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Intégration aux CAAO 	Suède
Possible exchange with other file-formats.	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Interopérabilité 	Suède
More specialized consultants that are good in using the simulation programs for solar Energy systems.	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Méthode (consultants spécialisés) 	Suède
What is meant to be applied in general has to be very simple. For passive house technology in the climate of the Swiss midland: <ul style="list-style-type: none"> — heat demand 0,3-0,4 (including recovery of hot potable water) W/(m²ERA_K) — opaque external areas ≤ 0,12 W/(m²K) — windows including frame ≤ 0,8 W/(m²K) (20-35% Window area/ERA³⁸, at least 40% south orientated, without fixed, but with automatic and flexible sunblind — cubic capacity of intermediate ceilings (at least 20cm concrete equivalent per level More you don't have to know . <ul style="list-style-type: none"> — forced ventilation with heat recovery 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Général (passif) ▪ Suisse 	Suisse
Need to be able to create a building 3D model, which includes the climate location of the building and its complete energy thermal balance.	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Interface (3D) 	Suisse
With an a little wider angle of view corresponding to the last page: Calculation according to SIA 380/1 for energy verification, Minergie, ... with the help of the data inserted into CAD with continuous updating would of course be excellent.	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Outils pour la conformité à un code/règlements/normes ▪ Intégration CAAO ▪ Fonctionnalités des outils (mise à jour) ▪ Suisse 	Suisse
Actually I am involving solar energy consultants, but if there were rapid and well known tools to quickly assess the opportunity of using solar systems (the active and passive ones) at an early stage, I would use them.	<ul style="list-style-type: none"> ▪ PÉC/EDP ▪ Rapidité des outils ▪ Simplicité des outils 	Suisse

³⁷ RCCTE is the acronym of Regulation on Energy Performance Characteristics of Buildings (Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios)]

³⁸ ERA: Energy reference area