



République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur
et de la Recherche Scientifique

Université Larbi Tébessi - Tébessa
Faculté des Sciences et de la Technologie
Département d'Architecture



MEMOIRE

Présenté en vue de l'obtention du diplôme de

MASTER

En Architecture

OPTION

Architecture et Environnement

THEME :

***A LA RECHERCHE D'UN OUTIL EFFICACE D'AIDE A LA DECISION ET DE
L'ECOCONCEPTION ARCHITECTURALE***

*CAS D'ETUDE : RECHERCHE D'UNE CONCEPTION BIOCLIMATIQUE OPTIMALE POUR UN
BATIMENT RESIDENTIEL A LA VILLE DE TEBESSA A L'AIDE D'UN LOGICIEL STD « TRNSYS ».*

Elaboré par :

*MANA Zeyneb

Encadre par :

Mr.Mansouri Sadek

SETENU DEVANT LE JURY :

01-ZEGHICHI Sara

02-TARTAR Nassima

Président.

Examineur.

DEDICACES

A mes parents qui m'ont donné le jour

A toi ma mère.

Dont la présence, les conseils, l'amour et le soutien à chaque moment de ma vie m'ont donné courage. Force et m'ont permis d'arriver à ce niveau. Mille fois merci pour tous tes sacrifices. Les mots sont très faibles pour te l'affirmer : tu es resteras la personne la plus importante pour moi

A toi mon père

Mille fois merci pour m'avoir toujours motivé à poursuivre mes études et pour avoir su me soutenir toutes ces années.

A mes sœurs surtout FAIZA

A mes frères

A Zakaria. A

A tous ceux qui me sont chères.

Je dédie le fruit de mon travail.

SOMMAIRE

Intrduction.....	vi
La problématique.....	vii
les hypotheses de recherche.....	viii
Les objectifs.	ix
Structure du mémoire.	ix
Approche de la recherche.	ix

PARTIE I :

CHAPITRE I : L'ECOCOCEPTION ARCHITECTURALE 00

1. L'écoconception	01
1.1. La complexité et l'incertitude de l'écoconception.....	01
1. 2. L'ajustement progressif dans un processus d'écoconception	03
2. La prise en compte de la phase amont de la conception dans un projet de bâtiment....	04
2.1. Le projet architectural de bâtiment.....	04
2.1.1. Préconception architecturale.....	06
2.1.2. Conception architecturale.....	06
2.1.3. Post-conception architecturale.....	08
2.2. L'importance de la phase amont dans la conception architecturale.....	08
2.2.1. Au point de vue de la durabilité.....	09
2.2.2. Au point de vue de la créativité.....	10
Bibliographie.....	13

CHAPITRE II : L'ASSISTANCE A ÉCO-CONCEPTION ARCHITECTURALE 15

1. De l'assistance à la conception architecturale à l'écoconception.....	16
1.1.Assistance à l'écoconception.....	16
1.2. Assistance et qualité environnementale architecturale.....	17
1.2.1 La qualité environnementale en architecture.....	17
2. les différentes approches d'aide à l'écoconception.....	18
2.1. Les approches dynamiques.....	18
2.2. Les approches inventaires.....	19
2.3. Les approches par listes/référentiels.....	20
2.4. Les approches par matrices.....	21
2.5. Les approches par bases de connaissances.....	22
2. 6. Les approches génératives.....	22
Conclusion.....	23
Synthèse.....	24
Bibliographie.....	25

1.2. d.L'humidité.....	58
1.2.e.Le vent	58
1.3.Conclusion de l'analyse climatique.....	59
a. Présentation du bâtiment cas d'étude.....	59
a.1.Dimensions et zonage du projet.....	60
a.2.Caractéristiques thermiques des matériaux.....	62
b.Méthodologie de l'étude des besoins énergétiques.....	62
c.Outils de simulation.....	63
c.1. Logiciel de simulation.....	63
*Présentation du logiciel TRNSYS.....	63
c.2. Les données météorologiques.....	64
d.Etat des lieux des besoins thermiques du cas de base.....	64
e.Les mesures d'efficacité énergétique.....	66
e.1. La compacité du bâtiment.....	66
e.2. La répartition des pièces.....	68
e.3. Les types de fenêtres.....	69
e.4. Les surfaces vitrées.....	69
e.5. Les types des matériaux de construction.....	69
e.6. L'impact de l'isolation.....	70
e.7. La protection solaire permanente.....	71
Résultats et discussion.....	71
1.Introduction.....	71
2.Résultats de la simulation.....	72
2.1. L'impact des mesures d'efficacités énergétiques passives.....	72
2.1.1 La compacité du bâtiment.....	72
2.1.2. la répartition des pièces.....	72
2.1.3 Les types de fenêtres.....	72
2.1.4 Les surfaces vitrées.....	72
2.1.4.1 Simples vitrages.....	72
2.1.4.2 Doubles vitrages.....	74
2.1.4.3 Triples vitrages.....	74
2.1.4.4 Double vitrage peu émissif.....	75
2.1.5 Les types des matériaux de construction.....	76
2.1.6 L'impact de l'isolation.....	76

2.1.7 La protection solaire permanente.....	76
3. Discussions des résultats	77
3.1. Analyse des résultats.....	77
3.1.1. Compacité du bâtiment.....	77
3.1.2. Répartition des pièces.....	78
3.1.3. Types de fenêtres.....	78
3.1.4. Les surfaces vitrées.....	78
3.1.5. Type des matériaux de construction.....	79
3.1.6. L'impact de l'isolation.....	80
3.1.7. La protection solaire permanente.....	80
3.2. Le cas optimisé.....	80
3.3. Validations des résultats.....	81
CONCLUSION.....	82
Conclusion générale et perspectives.....	83
BIBLIOGRAPHIE.....	84
Liste des figures.....	86
Liste des graphes.....	87
Liste des tableaux.....	85
Résumé	

INTRODUCTION

Pour tout projet de bâtiment, l'architecte entre dans un processus de conception structuré autour de plusieurs étapes, allant de la préconception, en passant par la conception en elle-même, jusqu'à la post-conception. Chaque étape possède ses propres caractéristiques et ses propres contraintes pour le concepteur. L'étape centrale qui est la conception, se compose notamment d'une phase que l'on appelle la phase esquisse. Cette phase se présente comme un réel enjeu car elle est charnière dans le processus de conception. C'est à ce moment-là que l'architecte formule ses premiers choix conceptuels. Ces choix sont déterminants et souvent irréversibles, car les changer au cours du projet nécessiterait un retour en arrière très coûteux. Or, lors de la phase esquisse, le concepteur possède peu d'informations pour évaluer ou comparer ces choix par rapport à leur impact sur la performance globale du bâtiment. C'est pourquoi l'élaboration d'un outil d'aide à la conception, adapté à la phase esquisse, peut être une solution pour répondre aux besoins du concepteur lors de cette phase et pour combler son besoin en informations à propos de ces choix conceptuels.

La conception énergétique des bâtiments peut être définie comme la prise de décisions pour le choix et le dimensionnement des éléments des ouvrages ayant une influence déterminante sur leur performance énergétique. Les conditions spécifiques de réalisation et l'hétérogénéité des critères de conception font de chaque bâtiment un cas différent : il n'y a pas de formule qui fonctionne pour toutes les situations possibles. Afin de simplifier sa tâche, le concepteur, à travers son expertise et son expérience, propose des solutions validées dans d'autres réalisations et les adapte au contexte du projet. Néanmoins, les exigences croissantes en termes de performance énergétique poussent la conception de bâtiments au-delà des solutions habituelles, en rendant le travail du concepteur de plus en plus complexe. Le concepteur peut alors s'appuyer sur des outils d'aide à la décision, qui lui proposent des éléments pertinents pour guider sa prise de décisions.

LA PROBLEMATIQUE :

Le secteur du bâtiment est responsable d'une part importante des impacts environnementaux des activités humaines en Algérie. Les évolutions des habitudes de consommation amènent les acteurs du secteur à chercher à limiter ces impacts. Il convient donc de s'intéresser à la palette d'outils à la disposition de ces professionnels pour éco-concevoir.

Quels sont ces outils ? Comment les classer ? Que permettent-ils de faire ? Ce travail tâchera d'apporter des réponses à ces questions.

Comment permettre aux concepteurs de bâtiments de faire les choix ayant les plus faibles impacts environnementaux ?

Plusieurs perspectives sont possibles. On peut, pour répondre, s'intéresser au processus, à ses acteurs (notamment à leurs compétences), ou aux outils.

L'angle choisi pour répondre a été celui des outils d'écoconception. Il s'agit alors de se demander :

Quels sont les outils les plus fiable et efficace pour éco-concevoir dans le secteur du bâtiment ?

LES HYPOTHESES DE RECHERCHE

Pour répondre à la situation à la fois complexe, contrainte et créative de la conception environnementale de bâtiment, les architectes mettent en œuvre des stratégies très variées d'ajustement et de réduction des incertitudes pour lesquelles des outils peuvent apporter une aide.

« Assister une démarche de conception, c'est proposer un ensemble d'outils qui permettent à l'utilisateur-concepteur de progresser de manière cohérente de l'idée initiale à l'objet final. Cette progression n'étant pas linéaire ni prévisible, l'outil doit aider le concepteur à faire des choix, à les mémoriser et éventuellement à les remettre en cause. » [Halin, 2004].

Pour ouvrir quelques pistes et apporter quelques éléments de réponses à la problématique posée, nous avons élaboré les hypothèses suivantes :

Différentes approches, méthodes et outils existent afin d'améliorer le processus de conception d'un projet. Parmi eux, nous pouvons distinguer ceux qui visent à *l'évaluation des solutions*.

LES OBJECTIFS :

Ce travail vise à rechercher un outil d'aide à la décision et de la préconception architecturale Afin d'obtenir la conception bioclimatique la plus adéquate et la plus optimale pour un bâtiment En se basant sur des outils existant dans le domaine de l'écoconception des bâtiments, de manière à évaluer la « couverture » qu'ils proposent par rapport au processus de conception.

STRUCTURE DU MEMOIRE :

Notre mémoire est composée de deux parties dont :

Dans le premier chapitre on va voir c'est quoi une écoconception architecturale et comment et par quelle stratégie peut-on maîtriser cette complexité de la écoconception, afin d'optimiser la démarche de conception.

Dans le deuxième chapitre, on va identifier, les différents types d'assistance pouvant accompagner cette conception. L'étude des méthodes des approches et des outils existants .et le rôle de ces outils en particulier dans les premières phases de conception.

Le troisième chapitre s'attache à dresser l'état de l'art des outils d'assistance à l'écoconception. Sans avoir un caractère exhaustif, nous essayons d'exposer un ensemble représentatif des différentes assistances, dont la finalité est d'illustrer notre classification. Nous présentons en particulier deux approches dynamiques, Nous proposons, en fin de chapitre, une critique des différentes approches identifiées.

La deuxième partie ; On aborde dans ce chapitre la représentation du bâtiment cas d'étude, ensuite la description du déroulement de la simulation en se basant sur deux paramètres : orientation et dimensionnements des ouvertures et effectuer une interprétation des résultats obtenus.

Enfin conclure le travail par des recommandations établies pour l'amélioration et l'augmentation de l'efficacité énergétique dans les bâtiments à usage administratifs.

APPROCHE DE LA RECHERCHE :

Nous avons optés à une approche expérimentale qui vise à mesurer, à faire une étude de l'efficacité énergétique d'un bloc résidentiel dans la willaya de Tébessa et effectuer des bilans énergétiques à l'aide d'un logiciel de simulation thermiques TRNSYS .et sur la base des interprétations des résultats ; on doit choisir des solutions et tirer un nombre de recommandations concernant les orientations optimales et le dimensionnement des ouvertures, et les matériaux utilisées.afin d'arriver à concevoir des bâtiments résidentiel plus performant du point de vue énergétique et thermique.

PARTIE I :

CHAPITRE I :

L'ECOCOCEPTION ARCHITECTURALE

« Grâce à l'aide d'un nouvel outil, l'architecte devient capable de « voir » quelque chose qui n'était pas visible avant et il peut décider de revenir en arrière et de modifier l'idée de conception, de l'abonner et recommencer à zéro, ou de l'abandonner et prendre une idée qu'il avait mise de côté » (Parthenios, 2008).



1. L'écoconception :

La conception architecturale se distingue de la conception dans les domaines industriels par l'intégration de son objet dans un contexte physique : le site [Akin, 2001].

La dimension environnementale met encore plus l'accent sur cette particularité en élargissant les facteurs traditionnels de contexte physique que sont la topographie ou les conditions climatiques à d'autres facteurs comme les ressources énergétiques, les matériaux de proximité, etc.

Le processus d'écoconception, nommé aussi « *éco-design* », « *architecture de qualité* » [Broadbent et Brebbia, 2006], « *architecture vitale* » ou « *qualité intégrale* » [Van Hal, 2006], est destiné à concevoir le bâtiment en prenant en compte la *dimension environnementale*.

Le produit final dans un processus d'écoconception est un *bâtiment éco-conçu*, nommé aussi parfois « *bâtiment durable* », « *bâtiment environnemental* », « *bâtiment écologique* » ou « *bâtiment intégré* » [Van Hal, 2006].

1.1. La complexité et l'incertitude de l'écoconception :

Le bâtiment éco-conçu, il est fortement en relation avec son milieu naturel, et en ce sens, du point de vue de son identité organisationnelle, se rapproche de celle des organisations éco-dépendantes. Selon [Morin, 1977], de telles organisations ont une double identité :

« *Une identité propre qui les distingue, une identité d'appartenance écologique qui les rattache à leur environnement.* » [Morin, 1977].

La pensée écologique ne peut se réduire à une somme de points de vue et d'actions mais doit également prendre en compte les interactions et les rétroactions nombreuses entre les éléments qui la constituent, en intégrant par là-même une forme d'incertitude. Cette incertitude est renforcée par le fait que les objets de savoir, qui assurent le fondement de cette pensée, sont le plus souvent portés par une multitude d'acteurs différents.

La conception du bâtiment environnemental s'effectue alors, dans un contexte à la fois complexe et incertain. En ce qui concerne la complexité, les concepteurs sont confrontés à plusieurs problèmes :

- Comment et par quelle stratégie peut-on maîtriser cette complexité afin d'optimiser la démarche de conception ?
- Si cette maîtrise de la complexité nécessite une simplification des réponses, comme le spécifie [Malhorta, 2001], quel doit être le niveau de celle-ci, afin de préserver la cohérence des choix et assurer ainsi une conception optimale ?





Pour répondre à cette complexité, d'une part, selon [Seebohm, 2007 ; Tidafi, 2007], le concepteur peut envisager de concevoir selon un *principe holistique* ou d'autre part, il peut aborder des principes *heuristiques* afin de garantir un processus créatif.

Si on applique les principes holistiques développés dans les théories de la complexité [Morin, 1991], un objet d'étude ou de conception inscrit dans une démarche environnementale, ne peut être isolé mais doit toujours être appréhendé à l'intersection de différents points de vue.

Le concepteur se trouve donc face à des problèmes contenant de nombreuses variables. Ces nombreuses variables l'emmèneront à chercher parmi un grand nombre de solutions possibles. Même si, en appuyant sur ses connaissances formelles, théoriques et abstraites, il peut en éliminer plusieurs facilement - en donnant des priorités à des points de vue de *bon sens* (ex. faisabilité, économie, usage, etc.) - il convient d'utiliser des stratégies pour choisir rapidement quelques solutions satisfaisantes à explorer.

Seulement, selon [Jordanova et al. 2009], acquérir les connaissances techniques ne peut être suffisant pour garantir le processus créatif, car ce processus nécessite une compréhension du monde dans sa complexité.

En général, vis-à-vis de la complexité, un système peut réagir de deux façons : *tolérer* ou *réduire*. Une approche holistique de la conception aide à réduire la complexité tandis qu'une approche heuristique aide à la tolérance. Il nous apparaît que dans les pratiques architecturales et environnementales, il est judicieux d'aider le système à combiner les deux approches : réduire la complexité, jusqu'à un certain niveau, par une dimension holistique et tolérer la complexité par une démarche heuristique pour mieux répondre au souci de créativité.

En ce qui concerne l'incertitude, elle est définie par [Malhorta, 2001] comme suit :

« *Insufficient factual information about the goal, situation or task, and some lack of confidence in the consequent inferences, estimates or predictions required.* » [Malhorta, 2001].

« *Une insuffisance en terme d'information factuelle au regard de l'objectif, de la situation ou de la tâche et un certain manque de confiance sur les inférences associées, et sur les estimations ou les prédictions nécessaires.* » [Malhorta, 2001] traduit par [notre recherche].

En nous appuyant sur son point de vue, la maîtrise de l'incertitude nécessite de *justifier* « *certify* », les connaissances. En effet, cette justification est nécessaire au concepteur afin de maîtriser cette incertitude durant la conception et de se rassurer sur l'exactitude de ses choix.

Dans ce sens, une méthode d'assistance apparaît importante en vue de faciliter la démarche de conception (cf. Chapitre II).





1. 2. L'ajustement progressif dans un processus d'écoconception :

[Conan, 1990] remarque qu'il existe une différence entre la procédure de vérification scientifique et architecturale :

« Il n'existe pas pour l'architecture de solution vérifiable à un problème au sens où une solution peut être vérifiée scientifiquement. » [Conan, 1990].

Dans la conception architecturale, le problème à résoudre étant le *contexte* du bâtiment, on doit y répondre par une forme architecturale. Dans le cadre d'une conception environnementale d'un bâtiment, le problème peut d'une part, être exprimé par les attentes de la maîtrise d'ouvrage - programme du bâtiment - et d'autre part, par les exigences du concepteur. Ce contexte - problème - contient des milliers de variables et peut être reformulé et interprété, voire changé, par la négociation entre le concepteur et la maîtrise d'ouvrage.

En conséquence, la démarche de conception environnementale de bâtiments exige une vérification permanente et conduit à des ajustements progressifs afin d'assurer la pertinence des solutions. L'ajustement désigne le rapport non déductif qui existe en situation de conception entre les données de contexte (ex. le programme, les conditions d'action, les règlements) et les solutions formelles proposées pour y répondre. L'objectif est donc d'arriver à une bonne adéquation entre la forme (solution) et le contexte (problème).

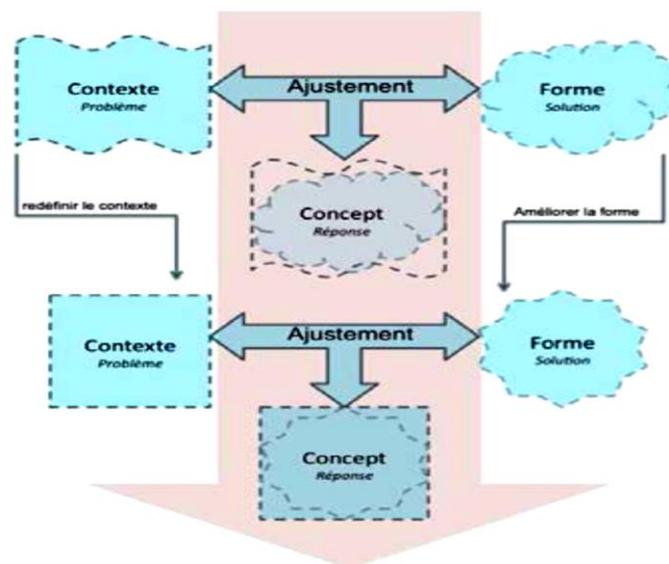


Figure 01 - Schéma représentant la démarche d'ajustement progressif du concepteur [Vida Gholipour/Éco-conception collaborative de bâtiments durables/2011].





Dans ce cheminement, le concepteur - individu ou équipe synchrone - conduit toujours à un travail autonome de mise en forme, qui n'est jamais strictement déductible du contexte, mais qui répond à des dynamiques propres de dimensionnement, de composition et de formalisation (Figure 01). Pour arriver à cette adéquation dans les délais fixés par un projet, et afin de rendre ce dernier convaincant pour la maîtrise d'ouvrage, le concepteur suit souvent une logique professionnelle qui consiste en un ajustement par élimination et filtration.

L'architecte, en se référant à certains critères de bon sens, peut facilement éliminer plusieurs possibilités et garder ce qui reste pour continuer sa démarche. Ce bon sens peut être l'accentuation sur une ou plusieurs parties de contexte (ex. fonction, site, climat) ou bien un bon sens défini par le concepteur lui-même (ex. morphologie, ambiance interne, système constructif). Ce bon sens aidera le concepteur à reformuler à chaque fois de manière plus abordable le contexte (problème) et à mettre en valeurs certaines formes (solutions) par rapport aux autres.

Il faut mentionner aussi que dans ce processus, les *contraintes matérielles*, surtout les contraintes de temps et de budget, jouent un rôle important ; et, comme le stipule [Conan, 1990], elles interdisent l'échec car les architectes « *se trouvent toujours confrontés à l'obligation de trouver une solution dans un temps et un budget donnés.* » [Conan, 1990].

2. La prise en compte de la phase amont de la conception dans un projet de bâtiment :

2.1. Le projet architectural de bâtiment :

Selon l'agence environnementale [ADEME, 2002], un projet architectural de bâtiment s'appuie sur trois grandes phases : la préconception architecturale, la conception architecturale et la post-conception architecturale. Chaque grande phase possède aussi des étapes distinctes (Figure 02).



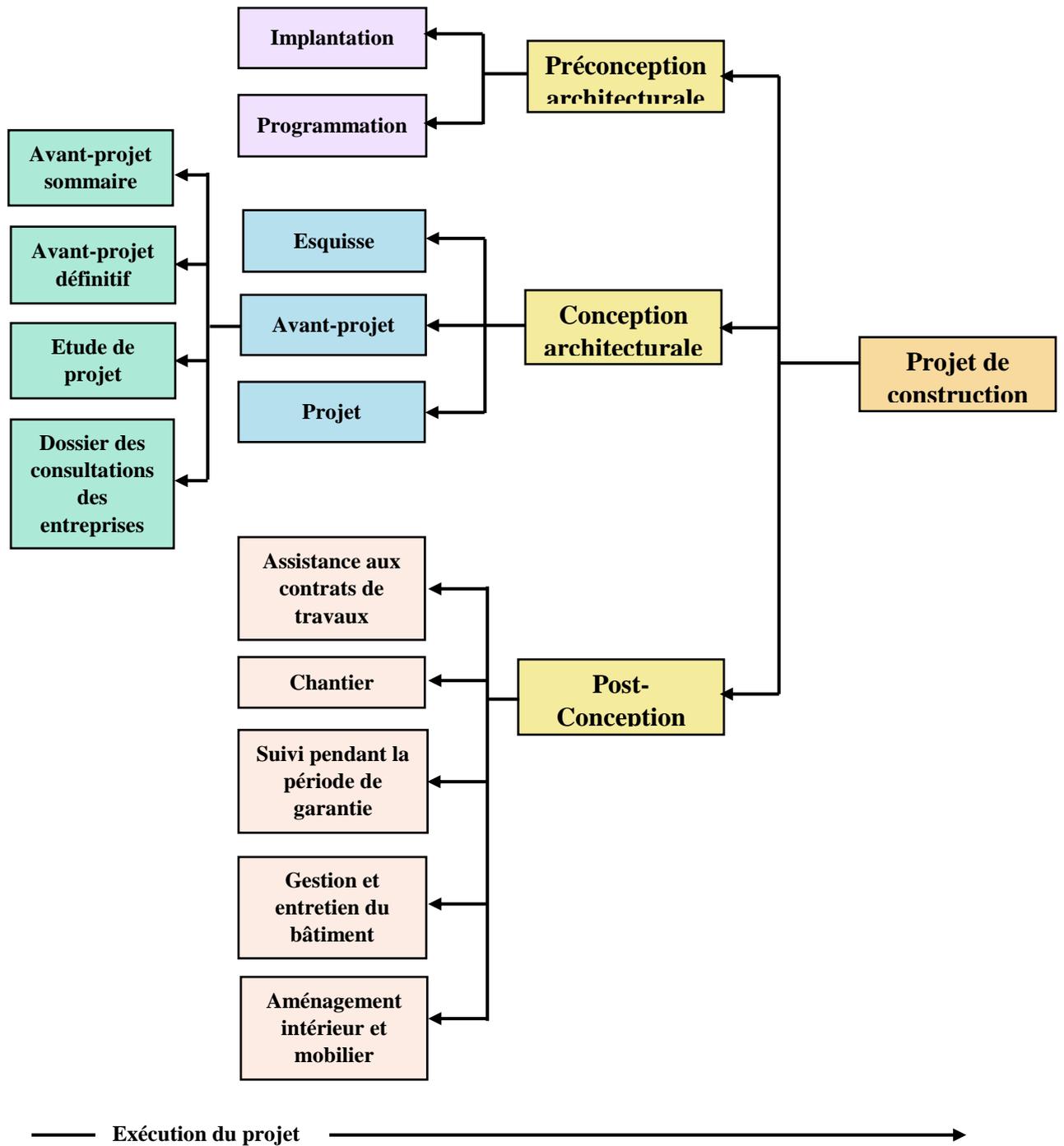


Figure 02 - Les phases et étapes d'un projet de bâtiment - adapté de [ADEME, 2002]





2.1.1. Préconception architecturale :

La préconception architecturale se résume en deux étapes importantes :

- ✓ Le choix de l'implantation et la faisabilité de l'opération.
- ✓ La programmation.

La préconception est une phase durant laquelle le maître d'ouvrage choisit une parcelle et définit le programme du bâtiment. L'urbaniste, le programmiste et/ou d'autres consultants peuvent aider le maître d'ouvrage dans ces étapes. L'architecte sera informé de ce programme par la suite. Pendant cette phase, les exigences environnementales de la maîtrise d'ouvrage déterminent des qualités environnementales importantes pour le bâtiment fini.

2.1.2. Conception architecturale :

La conception, dans son sens général, selon [Tichkiewitch, 2003] consiste à :

« Donner un ensemble de propositions permettant de décrire le produit (forme, dimensions, moyens d'obtention...) et répondant globalement à un cahier des charges (fonctions à assurer, conditions de fonctionnement, durée de vie souhaitée, environnement,...). » [Tichkiewitch, 2003].

Le processus de conception est entendu différemment selon la culture. Comme le mentionne [Halin, 2004], dans le nord de l'Europe la conception se réfère *« à l'émergence de l'idée jusqu'à la production de l'esquisse »*. C'est en effet un équivalent du mot *« design »* dans les pays anglo-saxons.

« En France, il est communément admis que l'étape de conception couvre l'ensemble de la production des documents décrivant l'objet à réaliser. Elle commence à l'émergence de l'idée et se termine lorsque l'ensemble des plans et documents prescriptifs est défini et valide. Cette définition correspond aussi à celle utilisée dans l'industrie pour qualifier la conception de produits. » [Halin, 2004].

[Lawson, 2006], en se basant sur des recherches antérieures [Markus, 1969 ; Maver, 1970], présente une représentation du processus de conception par trois séquences : esquisse de propositions, conception du projet et conception détaillée. Chaque séquence commence par une étape d'analyse qui permet la structuration du problème. Elle sera ensuite suivie par une synthèse présentant l'avancement, la création des solutions pour les problèmes donnés. Puis une étape d'évaluation va permettre au concepteur de critiquer les solutions suggérées par rapport aux objectifs identifiés dans l'étape d'analyse. Plus particulièrement, il va vérifier l'exhaustivité des données issues de l'étape d'analyse. En effet, il est possible que le concepteur





constate un manque de données lors des étapes d'évaluation ou de synthèse. Il faudra alors reprendre la phase d'analyse en vue d'améliorer le rendu de cette séquence (Figure 3).

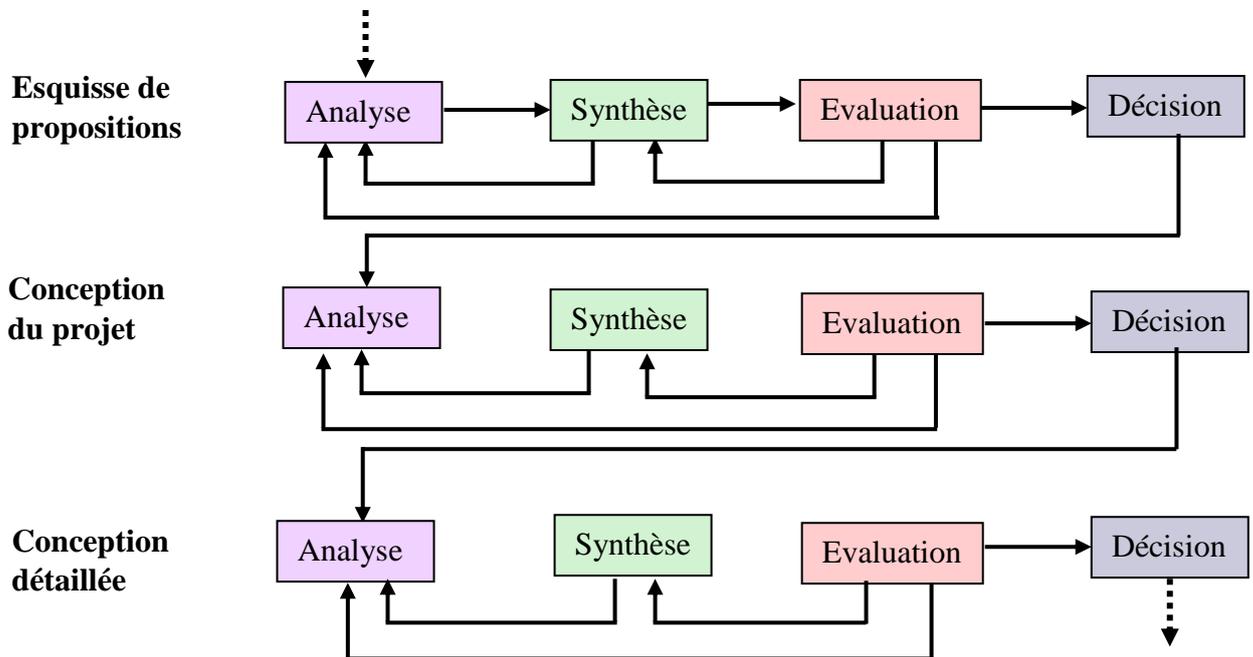


Figure 3 - La représentation du processus de conception [Lawson, 2006]

Plus spécifiquement dans le domaine de la conception environnementale de bâtiment, le processus de conception selon [ADEME, 2002] est composé des étapes suivantes :

- ✓ Esquisse.
- ✓ APS : avant-projet sommaire.
- ✓ APD : avant-projet définitif.
- ✓ PRO et DCE : étude de projet et dossier de consultation des entreprises.

Durant l'étape d'esquisse, l'architecte, en prenant en compte les exigences du maître d'ouvrage - y compris les exigences environnementales - décide de certaines options générales mais déterminantes comme : l'implantation du bâtiment dans son site, l'orientation du bâtiment vis-à-vis des éléments naturels, la volumétrie générale, la répartition des espaces extérieurs et intérieurs.

À l'étape de l'APS, les réflexions s'effectuent sur la distribution des espaces, les façades, les principes constructifs, les solutions techniques et le choix des principaux matériaux. À ce stade de conception, la proposition durant l'étape d'esquisse doit être complétée par les exigences particulières du programme.





L'étape d'APD a pour objectif d'affiner les choix effectués à l'étape d'APS et de les accompagner de justificatifs techniques. À ce stade du processus de conception, on commence à s'interroger sur les détails constructifs tels que, la nature des matériaux du second œuvre, les précisions sur les équipements techniques, etc.

Finalement, les étapes PRO et DCE consistent à réaliser des études techniques (ex. composition des parois, revêtements, systèmes de fluides, etc.) et à lancer l'étude des dossiers de consultation des entreprises.

Enfin, l'enchaînement des étapes peut être rythmé par des évaluations durant lesquelles il peut arriver que certaines décisions, prises pendant les étapes précédentes, soient remises en cause [Weissenstein, 2009]. Ces étapes de validation - ou d'évaluation - ont pour objectif d'éviter les changements tardifs (Figure 4).

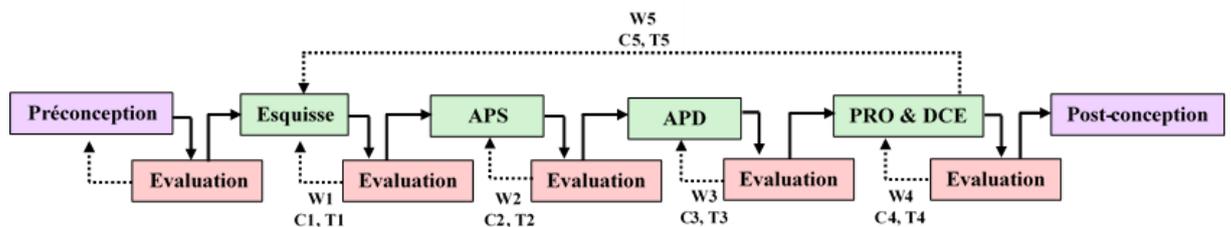


Figure 4- Les évaluations progressives partagent les modifications durant le processus et réduisent le risque des changements tardifs qui sont grands et coûteux [notre recherche]

2.1.3. Post-conception architecturale :

La phase de post-conception consiste aux choix des entreprises, à la construction du bâtiment et à son entretien.

« À ce stade, il est assez tard pour intégrer des principes environnementaux. Les seuls enjeux sont le choix des entreprises (chantier ou entretien) engagées dans l'environnement et surtout locales. » [Weissenstein, 2009].

2.2. L'importance de la phase amont dans la conception architecturale :

La phase amont de la conception selon [Lawson, 2006] consiste à la « *présentation de concept* » ce qui est opposé au « *concept de construction* » dont l'objectif est la mise en œuvre.

Plus précisément et en nous appuyant sur l'évolution du processus de conception présentée par l'agence [ADEME, 2002], nous entendons par phase amont de la conception architecturale les étapes d'esquisse - ESQ - et d'avant-projet sommaire - APS (Figure 05).



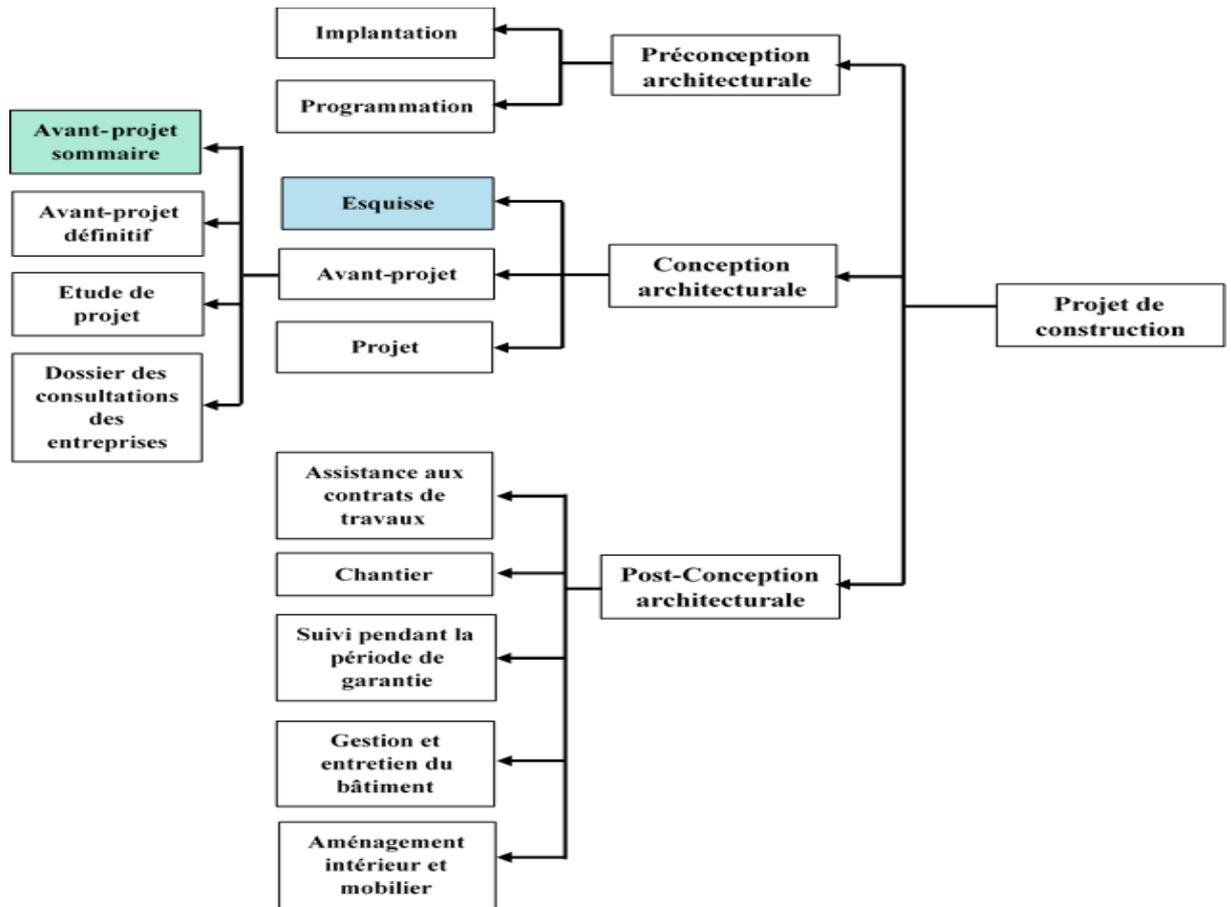


Figure 5- La phase amont de la conception architecturale du bâtiment dans notre recherche

2.2.1. Au point de vue de la durabilité :

Dans un projet nouveau, selon [McAloone et Bey, 2009], près de 80 % du profil environnemental d'un produit est fixé durant la phase de création de concept d'un produit nouveau (Figure 06).

Prenant l'hypothèse que chaque bâtiment, sauf dans les cas de construction en masse ou des plans types, est considéré comme un projet nouveau, la conception joue un rôle important vis-à-vis de son profil environnemental.

Plus précisément, les critères essentiels et les enjeux les plus déterminants par rapport aux enjeux environnementaux (ex. l'orientation, les principes constructifs) se font durant la phase amont de la conception, c'est-à-dire durant l'étape d'esquisse et l'APS.



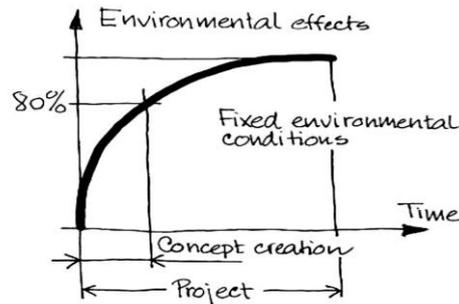


Figure 06 - La caractéristique déterminante de la phase amont de la conception dans le profil environnemental d'un produit nouveau [McAloon et Bey, 2009]

D'ailleurs, comme nous l'avons précédemment mentionné, l'objectif d'une démarche de conception dans le cadre du développement durable est de réduire les impacts environnementaux d'un bâtiment et cela par des actions simples, sans ajouter des charges économiques et sociales.

Donc, naturellement, afin de satisfaire les points précédents, une voie de solution consiste à prendre en compte des exigences environnementales durant la phase amont de la conception de bâtiment pour éviter les conséquences de changements tardifs.

2.2.2. Au point de vue de la créativité :

La conception architecturale d'un bâtiment se déroule dans une situation contrainte par les prédéfinis des étapes précédentes et par le temps. Ces contraintes seront réinterprétées et gérées par chaque concepteur à sa manière.

« *Un même programme d'architecture donne autant de projets différents qu'il a d'architectes ou de groupes de conception (ex. concours d'architecture).* » [Laarousi, 2007].

Une des stratégies souvent empruntée par les concepteurs est de reporter à plus tard le traitement des contraintes. [Darses, 1997] reconnaît ce comportement comme une stratégie de moindre compromission. Les réglementations environnementales sont parmi les contraintes souvent traitées de cette façon.

Cependant, il ne faut pas ignorer que malgré toutes ces contraintes imposées, la conception peut présenter aussi une activité créative. [Laarousi, 2007] confirme cette vision :

« *Comprendre la conception comme une activité contrainte est important, mais insuffisant. Il apparaît nettement que cette activité est aussi créative.* » [Laarousi, 2007].

En ce sens, selon [Rabardel et Béguin, 2001] la créativité est une : « *propriété ontologique* » de la conception.

La créativité nécessite certains degrés de liberté tandis que les contraintes à première vue sont un frein à cette dernière. Ce paradoxe existant dans la conception peut s'expliquer à l'aide





d'une logique abordée par [Midler, 1993] sur la notion de capacité d'action dans une dynamique de la situation du projet. En ce sens, les contraintes des prédéfinis se renforcent dans le temps, c'est-à-dire que la capacité d'action (liberté) se réduit. C'est pourquoi plus le concepteur agit en phase amont, plus il est facile de gérer les contraintes pour réussir un projet créatif. Dans le cadre d'un projet de conception de bâtiment, les premières lignes conçues par l'architecte en phase amont définissent la généralité de la forme créative (Figure 07).

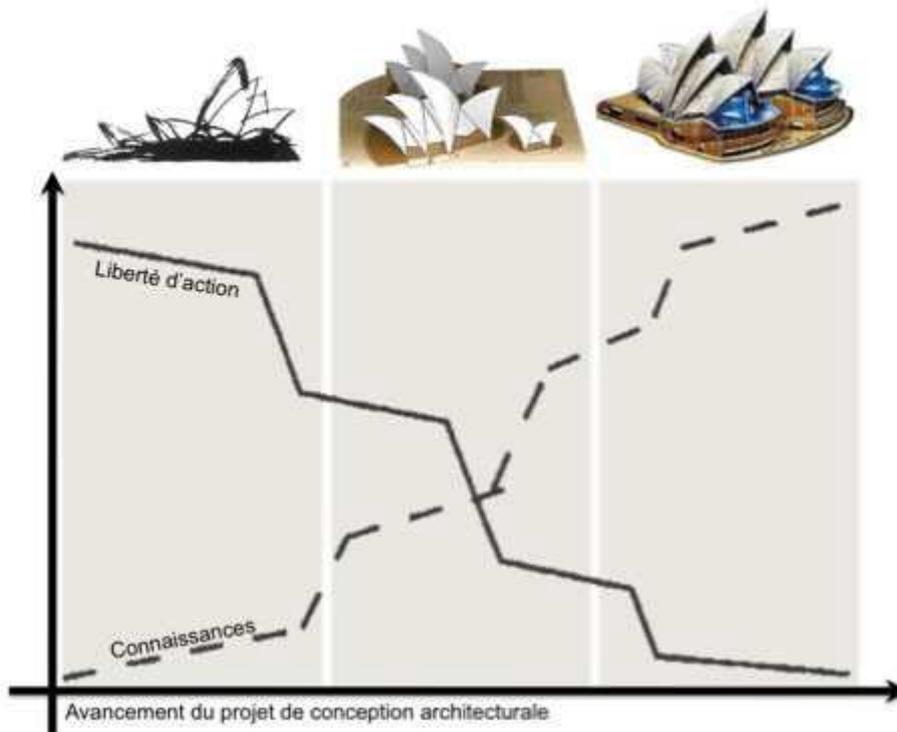


Figure 07 - L'importance de la phase amont dans la créativité de la forme architecturale - adapté de [Midler, 1993] pour un exemple de la conception architecturale.

La prise en compte des exigences environnementales dans les étapes avancées de la conception conduit à une vision de la conception *contrainte*. En effet, dans cette vision, les données environnementales sont considérées comme une étape supplémentaire pour la démarche de conception architecturale. En conséquence, elles induisent des contraintes matérielles supplémentaires et donc freinent la créativité architecturale.

Au contraire, en prenant en compte les exigences environnementales en phase amont le concepteur peut atteindre une vision différente et prendre d'avantage ces exigences pour augmenter le niveau de créativité de son projet. Poursuivant cette vision, plusieurs chercheurs [Hedstrom et al. 2000 ; Hartshorn et al. 2005 ; Larson, 2000] croient que le développement durable ouvre les voies vers des opportunités d'intégrer de nouvelles technologies et de trouver de nouveaux avantages.





Cependant, si agir en phase amont amène des avantages notamment en termes de capacité d'action du concepteur, ce dernier nécessite d'être accompagné, notamment en accédant à un niveau de connaissances satisfaisant, afin de mener une conception de qualité. C'est-à-dire que la conception va être sous certains aspects suffisamment robustes - certitude des données et faisabilité - pour ne pas faire l'objet de changements radicaux dans les étapes suivantes.

Une amélioration des connaissances pour augmenter la qualité des propositions en phase amont paraît donc nécessaire. C'est pourquoi, dans la partie 2 de ce travail de recherche, nous proposerons un outil d'aide à la conception permettant de remplir cet objectif.





Bibliographie :

[**Akin, 2001**] Akin, O., 2001, Simon Says: Design in Representation, Source web: www.andrew.cmu.edu/user/oa04/Papers/AradSimon.pdf [avril 2010].

[**Broadbent et Brebbia, 2006**] Broadbent, G., Brebbia, C.A., 2006, *Eco-architecture : Harmonisation Between Architecture and Nature*, Transactions on the Built Environment, 86, Édition du WIT Press, UK.

[**Van Hal, 2006**] Van Hal, A., 2006, *The keyword is quality not ecology*, In Proceeding of the First International Conference on Harmonisation between architecture and Nature : Eco-Architecture, Wessex Institute of Technology, UK, pp.35-39.

[**Morin, 1977**] Morin, E., 1977, *La Methode 1, La nature de la nature*, Seuil, Paris.

[**Malhorta, 2001**] Malhotra, Y., 2001, *Knowledge management and business model innovation*, Idea Group Inc (IGI), p. 453.

[**Seebohm, 2007**] Seebohm, T., 2007, *Paradigm Shift*, In : De Paoli, G., Zreik, K., Beheshti, R., (sous la direction de). *Digital Thinking in Architecture, Civil Engineering, Archaeology, Urban Planning and Design : Finding the Ways*. Proceedings of EuroIA'11 : 11th International Conference of Design Sciences and Technology, Paris, France.

[**Tidafi, 2007**] Tidafi, T., 2007, *New digital cultures Facing Complexity: Archaeology and Modeling*, In: De Paoli, G., Zreik, K., Beheshti, R., (sous la direction de). *Digital Thinking in Architecture, Civil Engineering, Archaeology, Urban Planning and Design : Finding the Ways*. Proceedings of EuroIA'11 : 11th International Conference of Design Sciences and Technology, Paris, France.

[**Morin, 1991**] Morin, E., 1991, *De la complexite: Complexus*, Les théories de la complexité, pp. 283-296.

[**Iordanova et al., 2009**] Iordanova, I., Tidafi, T., Guité, M., 2009, *Librairie de referents interactifs proposant des approches environnementales*, Actes de SCAN (Séminaire de Conception Architecturale Numérique), Nancy, France.

[**Conan, 1990**] Conan, M., 1990, *Concevoir un projet d'architecture*, Le Harmattan, Paris.

[**ADEME, 2002**] Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie, 2002, *Qualite environnementale des ba5timents : Manuel à l'usage de la mai5trise d'ouvrage et des acteurs du ba5timent*, avril.

[**Tichkiewitch et al., 1993**] Tichkiewitch, S., Tiger, H., Jeantet, A., 1993, *Ingenierie simultanee dans la conception de produits*, Université d'été du po(le productique Rho(ne Alpes, Aussois.

[**Halin, 2004**] Halin, G., 2004, *Modeles et outils pour l'assistance à la conception : Application à la conception architecturale*, Habilitation à Diriger les Recherches, Institut National Polytechnique de Lorraine, Nancy, France.

[**Lawson, 2006**] Lawson, B., 2006, *How Designers Think*, Architectural Press, Oxford.





[**Markus, 1969**] Markus, Th. A., 1969, *The role of building performance measurement and appraisal in design method*, in : Design Methods in Architecture, edited by Geoffrey Broadbent and Anthony Ward, George Wittenborn, New York.

[**Maver, 1970**] Maver, T., 1970, *A Theory of Architectural Design in which the Role of the Computer is Identified*, Building Science, 4, pp. 199-207.

[**Charline WEISSENSTEIN**] Éco-profil : un outil d'assistance à l'éco-conception architecturale UNIVERSITÉ DE LORRAINE ÉCOLE DOCTORALE : IAEM Lorraine Laboratoire MAP-CRAI (UMR n°3495/CNRS : Modèles et simulations pour l'Architecture, l'urbanisme et le Paysage) École Nationale Supérieure d'Architecture de Nancy.

[**Lawson, 2006**] Lawson, B., 2006, *How Designers Think*, Architectural Press, Oxford.

[**McAloone et Bey, 2009**] McAloone, T., Bey, N., 2009, *Environmental improvement through product development - a guide*, Press: SvendborgTryk, Denmark.

[**Laarousi, 2007**] Laarousi, A., 2007, *Assister la conduite de la conception en architecture : vers un système d'information orienté pilotage des processus*, Thèse de doctorat, Institut Nationale Polytechniques de Lorraine, Nancy, France.

[**Darses, 1997**] Darses, F., 1997, *L'ingénierie concourante : Un modèle en meilleure adéquation avec les processus cognitifs en conception*, in Brossard, P., Chanchevriér, C., Leclair, P., Ingénierie Concourante : de la technique au social, Economica, Paris.

[**Rabardel et Béguin, 2001**] Rabardel, P., Béguin, P., 2001, *Instruments and Design*, In W. Karwowski, International Encyclopedia of Ergonomics and Human Factors, 2, pp. 938-940.

[**Midler, 1993**] Midler, C., 1993, *L'auto qui n'existait pas*, Management des projets et transformation de l'entreprise, InterEditions, Paris.

[**Hedstrom et al., 2000**] Hedstrom, G. S., Shopley, J. B., LeDuc, C. M., 2000, *Realizing the sustainable development premium*, Prism, pp. 5-19.

[**Hartshorn et al., 2005**] Hartshorn, J., Maher, M., Crooks, J., Stahl, R., Bond, Z., 2005, *Creative destruction : building toward sustainability*, NRC Research Press, pp.170-80.

[**Larson, 2000**] Larson, A., 2000, *Sustainable innovation through an entrepreneurial lens*, Business Strategy and the Environment, 9, pp. 304-317.



CHAPITRE II : L'ASSISTANCE A ÉCO-CONCEPTION ARCHITECTURALE

Cette partie est consacrée à l'exploration l'écoconception architecturale. Nous avons identifié, les différents types d'assistance pouvant accompagner cette conception : approches par estimation et approches par suggestion. L'étude des méthodes et des outils existants a mis en avant un défaut d'assistance, en particulier dans les premières phases de conception.



1. De l'assistance à la conception architecturale à l'écoconception :

L'écoconception, initiée dans les années 1970, consiste à intégrer les dimensions environnementales, dans la phase de développement d'un produit, au même titre que les notions d'économies, de techniques ou encore de marketing.

« [...] nous définissons l'écoconception comme un processus d'intégration des aspects environnementaux dans la conception et le développement de produits qui a pour objectif la réduction des impacts environnementaux des produits tout au long de leur cycle de vie. » (Berneman et al., 2009).

C'est une approche développée, en premier lieu, pour les produits industriels, dont le concept s'étend désormais à l'architecture.

1.1. Assistance à l'écoconception :

Pour répondre à la foi à ce processus complexe de conception architecturale et à l'intégration des données environnementales, des assistances peuvent être apportées. Nous distinguerons les suivantes :

- 1) L'assistance à la formulation de problème, 2) l'assistance à l'émergence d'une solution primaire, 3) L'assistance à l'évaluation d'une proposition.

L'assistance à l'évaluation d'une proposition doit permettre au concepteur de prendre du recul par rapport à sa solution pour en analyser les points forts et les points faibles. Parthenios met en avant, lors d'études de cas, la notion de « Critical Points of change » (points critiques de changement). Ces moments permettent de percevoir une dimension particulière sur le projet, propice aux décisions critiques et aux changements et fortement liée au mode d'instrumentations (Parthenios, 2008).

« *Through the help of a new tool, the architect becomes able to "see" something that was not visible before and can decide to go back and a) alter the design idea, b) abandon it and begin from scratch, or c) abandon it and pick an idea that had been discarded [...].* » (Parthenios, 2008).

« *Grâce à l'aide d'un nouvel outil, l'architecte devient capable de « voir » quelque chose qui n'était pas visible avant et il peut décider de revenir en arrière et de modifier l'idée de conception, de l'abandonner et recommencer à zéro, ou de l'abandonner et prendre une idée qu'il avait mise de côté [...]* » (Notre traduction).

Les résultats de l'instrumentation ou de l'assistance (simulation, évaluation, etc.) peuvent être ce qu'appelle Alain Jeantet (Jeantet, 1998) « un objet intermédiaire » mettant en avant ainsi une vision nouvelle sur le projet. Une vision permettant au concepteur de prendre un recul vis-



à-vis de la proposition tout en suggérant un support de discussion entre l'équipe de conception et le maître d'ouvrage.

Dans le cadre de notre étude, l'écoconception, cet « objet intermédiaire » doit évoquer le bâtiment du point de vue environnemental. Un recul est nécessaire pour porter un jugement critique, permettant le bon déroulement du processus de proposition/validation. Nous considérons pour notre recherche que pour avoir le recul nécessaire, cette vision nouvelle doit être apportée par un élément tiers au projet (logiciel, expert externe, etc.).

L'assistance à l'évaluation d'une solution concrétisée ne permet pas directement d'aider à la conception, dans le sens où l'évaluation intervient après la conception. Néanmoins, cette évaluation a pour objectif, la plupart du temps, de valoriser les bâtiments et de ce fait, elle met en avant et diffuse certaines bonnes pratiques environnementales. Cette diffusion joue le rôle de référence pour les projets futurs et ainsi assistera l'écoconception.

1.2. Assistance et qualité environnementale architecturale :

1.2.1. La qualité environnementale en architecture :

La qualité environnementale, en architecture, est rapprochée en France à la « haute qualité environnementale ». Elle a été définie et initiée par l'association HQE®¹ dans le but de limiter l'impact d'une opération sur l'environnement, tout en assurant un habitat sain et confortable (Vu, 2006). Selon l'association HQE®, c'est une démarche dont le but est de tendre vers une diminution des impacts de la construction sur l'environnement, tout en laissant la possibilité de conserver les qualités attendues d'une construction telles que le confort, l'usage ou encore la longévité.

« La Qualité Environnementale d'un Bâtiment est l'aptitude de l'ensemble des caractéristiques intrinsèques du bâtiment, des équipements et de la parcelle à satisfaire les exigences liées à la maîtrise des impacts sur l'environnement extérieur et la création d'un environnement intérieur confortable et sain. » (Association HQE, WEB)

Nous trouvons différentes approches d'accompagnement des concepteurs vers une qualité environnementale. Dans leur recensement des outils utilisés, Nadine Adra et Fawar Maamari (ADRA et MAAMARI, 2007) mettent en avant plusieurs catégories : les bases de données, les guides, les check-lists, les logiciels, les méthodes d'évaluations, etc. Addelghani-Idrissin (Abdelghani-Idrissi et al. 2004), classe ces outils dans trois familles : les méthodes d'évaluation de cycle de vie, les méthodes de labélisation et les méthodes de type check-list.

¹ Créée en 1996, l'association HQE® (reconnue d'utilité publique par décret du 5 janvier 2004) propose de faire évoluer les cadres de références, mutualiser les connaissances, dans le but de développer la qualité environnementale des bâtiments. <http://assohqe.org>

Suite à notre travail d'analyse des différentes méthodes d'assistances à l'écoconception et à leurs manières d'accompagner le maître d'œuvre vers une qualité environnementale, nous retenons six approches : les approches dynamiques, les approches inventaires, les approches par liste/référentiels, les approches par base de connaissances, les approches par matrice et les approches génératives. Ces différentes approches sont définies et explicitées ci-dessous.

2. les différentes approches d'aide à l'écoconception :

2.1. Les approches dynamiques :

Les approches dynamiques (Thiers, 2008) permettent d'anticiper le futur comportement du bâtiment par le biais d'une simulation dynamique (orienté vers un domaine spécifique comme la thermique ou la lumière). Le calcul s'appuie d'une part, sur les informations de surface et d'ouvrage qui ont été renseignées sur le projet (matériaux, équipements, etc.) et éventuellement d'une modélisation, d'autre part, sur une base de données relative aux domaines spécifiques simulés. Le calcul dynamique reproduit l'interaction entre les éléments du bâtiment et les éléments extérieurs (Figure 08). Cette simulation permet d'anticiper le futur comportement de l'édifice et ainsi estimer, dans un certain domaine, une qualité environnementale spécifique.

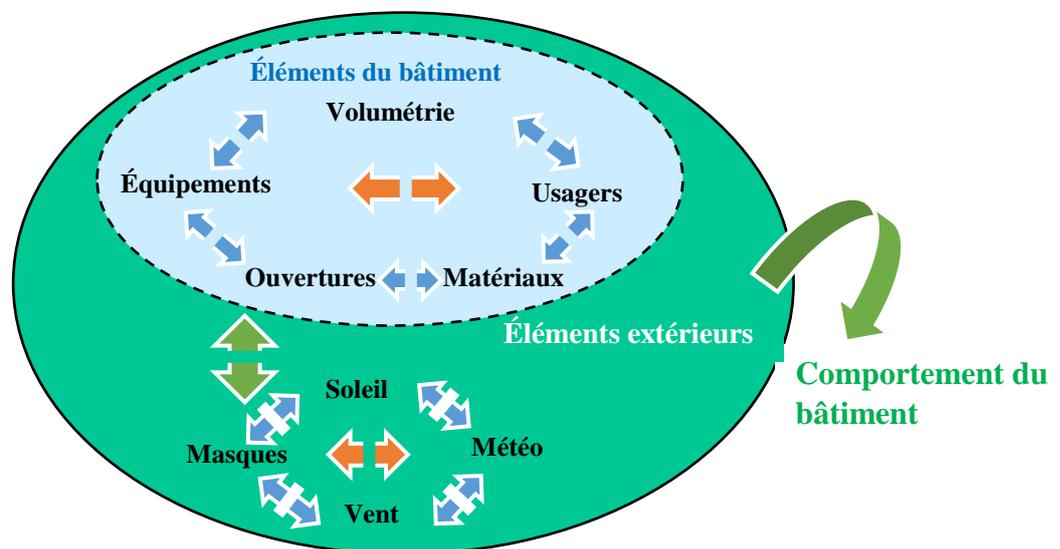


Figure 08 : Schématisation des approches dynamiques. développée dans le cadre de notre recherche.

La simulation dynamique modélise, pour un pas donné, le comportement de l'édifice en fonction des hypothèses et des contraintes renseignées. Ces approches s'effectuent notamment en trois étapes.

Premièrement, la définition des caractéristiques du bâtiment (volumétrie, matériaux, techniques, etc.) et de son site (masques, géographie, climat, etc.).

La deuxième étape consiste à la simulation. Le modèle renseigné est ensuite transféré vers un moteur de simulation dynamique.

Troisièmement, l'analyse des résultats ou comparaisons de différents scénarios, pouvant conduire à d'éventuelles modifications. Les algorithmes utilisés par les moteurs de simulation sont notamment confrontés à ceux d'autres logiciels, mais également comparés, lors d'expérimentations, aux données recueillies sur site (JOSEPH et al. 2011). Ces vérifications permettent de s'assurer de l'adéquation des modèles de simulation avec les réalités physiques. Nous retrouvons notamment dans cette catégorie d'approche, les logiciels suivants : Ecotect², TRNSYS³ (Transient System Simulation Tool), ESPr⁴, Pleiades+COMFIE⁵, ArchiWIZARD⁶, Eco Designer15⁷, etc.

2.2. Les approches inventaires :

Les approches inventaires, appelées aussi analyse de cycle de vie (ACV) ou encore écobilan (Jolliet et al. 2010), permettent d'effectuer une quantification précise des impacts environnementaux (Trocmé et Peuportier, 2007) des bâtiments, sur un certain nombre d'enjeux (l'épuisement des ressources, le réchauffement global, les déchets produits, etc.).

« L'analyse quantifie les flux de matières et énergies entrants et sortants à chaque étape du cycle de vie. À partir de ces données, on procède à l'évaluation d'un ensemble d'impacts environnementaux (consommation d'énergie, effet de serre, épuisement des ressources naturelles, acidification, eutrophisation, quantité de déchets générés...). » (ADEME, WEB)

Le concepteur renseigne les choix de projet, par le biais d'une base de données ouverte ou fermée, telle que les matériaux ou encore les types d'équipements utilisés (sanitaire, chauffage, etc.).

Un inventaire général est effectué (cf. Figure 09), des matières entrantes et sortantes de l'édifice, pour chaque enjeu environnemental et pour un certain temps donné, déterminant ainsi un scénario d'impact.

² Développé par Autodesk : <https://knowledge.autodesk.com/support/ecotect-analysis?sort=score>

³ Développé par l'université de Strathclyde en Écosse (Energy Systems Research Unit) : <http://www.trnsys.com/>

⁴ <http://www.esru.strath.ac.uk/Programs/ESP-r.htm>

⁵ Développé par le Centre Énergétique de l'École des Mines de Paris et par l'équipe IZUBA énergies : <http://www.izuba.fr/logiciel/pleiadescomfie>

⁶ Développé par les sociétés HPC-SA et TBC : <http://www.archiwizard.fr>

⁷ Développé par Graphisoft : <http://www.graphisoft.com/products/ecodesigner/>

Nous retrouvons une vingtaine d'outils et de méthodes énoncés dans les études sur les démarches d'analyses environnementales telles que (Abdelghani-Idrissi et al. 2004), (Lützkendorf et al. 2004), (Thiers, 2008) ou encore (ADRA et MAAMARI, 2007). Les plus cités sont notamment : BEES⁸, ECOQuantum⁹, Invest 2¹⁰, Equer¹¹, TEAM¹², LEGEP¹³, Environmental Impact Estimator¹⁴, Etc.

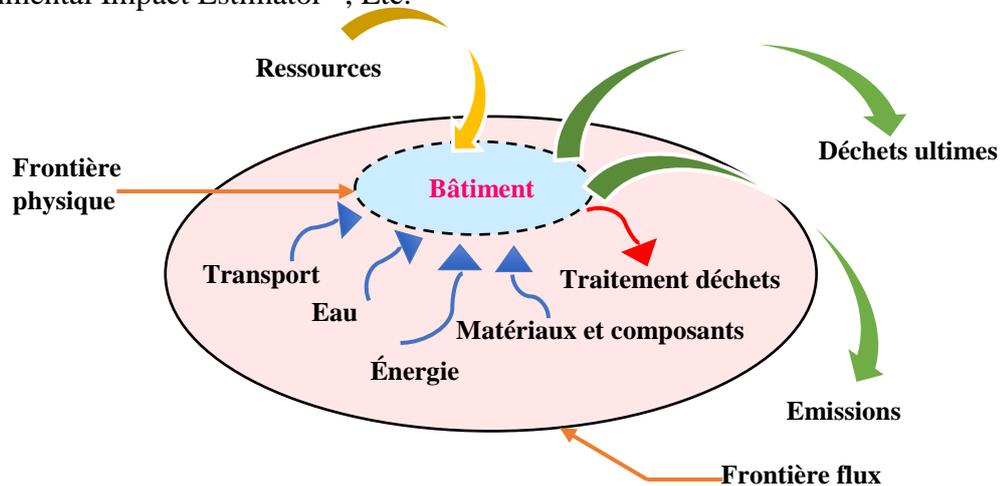


Figure 09 : Principe de calcul de l'inventaire général. Inspiré de (Trocmé et Peuportier, 2007).

2.3. Les approches par listes/référentiels :

Les approches par liste ou référentiel sont des méthodes qui énumèrent un certain nombre d'enjeux environnementaux. Pierre André, dans son ouvrage sur l'évaluation de l'impact sur l'environnement (André et al. 2003) différencie notamment :

- Les listes simples : énumération simple d'enjeux à prendre en compte.
- Les listes descriptives : énumération avec des compléments de définitions.
- Les listes avec seuil : énumération avec des seuils de valeur.
- Les listes avec échelle et pondération : une pondération des enjeux environnementaux, les uns par rapport aux autres.

⁸ Développée par NIST (National Institute of Standards Technology) : <http://www.nist.gov/el/economics/BEESSoftware.cfm>

⁹ Développé par IVAM University of Amsterdam : <http://www.ivam.uva.nl/>

¹⁰ Développé par BRE : <http://invest2.bre.co.uk/>

¹¹ Développé par le Centre Énergétique de l'École des Mines de Paris et par l'équipe IZUBA énergies : <http://www.izuba.fr/>

¹² Développé par Écobilan : <https://ecobilan.pwc.fr>

¹³ Développé par LEGEP Software GmbH. : <http://www.legep.de>

¹⁴ Développé par Athena Sustainable Materials institute : <http://www.athenasmi.ca>

• Les listes questionnaires : composé de questionnements et de réponses associées, dont l'ensemble est organisé par enjeux environnementaux.

Ces listes peuvent aider, dans un premier temps, à définir des exigences écologiques, et éventuellement leur importance à prendre en compte pour tendre vers une qualité recherchée.

Dans un second temps, elles peuvent servir de base pour une estimation de la qualité environnementale.

Chaque enjeu énoncé par la liste constitue un critère d'évaluation. Cet ensemble de critères forme un référentiel où le mode d'appréciation est explicité.

Les différentes approches de liste/référentiel peuvent être représentées par les méthodes suivantes : certification NF-Démarche HQE®¹⁵ , Certification LEED¹⁶, Certification BREAM¹⁷, Ecopass du Vorarlberg¹⁸, Bâtiment durable méditerranéen (BDM)¹⁹, Certification CASBEE²⁰, etc.

2.4. Les approches par matrices :

Les approches par matrices sont des tableaux à doubles entrées (ou plus) mettant en avant des liens de causes à effets. C'est notamment Léopold (Leopold et al. 1971) qui propose en 1971 l'utilisation de ce système pour l'évaluation de l'impact des projets de construction.

« Le système proposé par Léopold et al. Se fonde sur l'utilisation de matrices. On a sur un axe les actions causant un impact environnemental et sur l'autre, les conditions environnementales qui peuvent être affectées. » p218 (André et al., 2003)

Les approches par matrices se sont développées, répondant à des besoins spécifiques. Nous trouvons notamment quatre types : simple, descriptive, numérique et à symboles (Galvez-Cloutier et Guesdon, 2011). Elles servent essentiellement à l'identification des impacts et des enjeux environnementaux liés à un contexte donné.

Le développement, dans notre domaine d'étude, de ce type d'approche s'étant estompé ces dernières années, les exemples contemporains sont peu nombreux. Cependant, quelques méthodes, bien que datant, nous semblent pertinentes et toujours d'actualité. Il nous paraît

¹⁵ Une démarche tournée vers la certification française : <http://assohqe.org/hqe/>

¹⁶ Une certification reconnue internationalement : <http://www.usgbc.org>

¹⁷ Une certification reconnue internationalement : <http://www.breeam.org/>

¹⁸ Une méthode d'incitation par la valorisation financière dans le Lad du Vorarlberg en Autriche : <http://www.energieinstitut.at/>

¹⁹ Une assistance à la maîtrise d'oeuvre environnementale, développée dans le cadre méditerranéen : <http://polebdm.eu/>

²⁰ Une certification japonaise : <http://www.ibec.or.jp/CASBEE/english/index.htm>

important donc de citer : « Mahoney tables » Les Tables de Mahoney²¹ et Givoni bioclimatic chart²².

2.5. Les approches par bases de connaissances :

Les approches par bases de connaissances consistent en un ensemble d'informations plus ou moins ordonnées, apportant des connaissances spécialisées. Des indications de l'ordre de bonnes pratiques, de caractéristiques ou d'enjeux écologiques peuvent être renseignées. Ces bases de connaissances sont susceptibles d'apporter des informations utiles pour le concepteur afin de tendre vers une qualité environnementale. Elles peuvent se trouver sous forme de guides, de livres, ou encore de forums. Nous citons pour exemples: La maison des [nega]Watts²³(livre), Le traité d'architecture et d'urbanisme bioclimatique²⁴(livre), Energy and Environment in Architecture²⁵(livre), Environmental design²⁶(livre), Eco.mod²⁷(site), Forum « zoneVerte »²⁸.

2.6. Les approches génératives :

Les approches génératives appelées « generative system » (système génératif) (Caldas, 2002) font appel à un « mécanisme évolutionnaire » dans le but d'une optimisation créative. Cette logique d'affinement est devenue récurrente depuis les années 1990 avec l'avènement de l'informatique et l'intérêt grandissant de l'optimisation dans les domaines énergétiques, lumineux ou encore de coûts (Lamour, 2011).

« On entend par algorithme génétique, un processus informatique calqué sur le concept de sélection naturelle de Darwin : population, croisement, reproduction, sélection. Les concepts architecturaux sont exprimés sous forme de règles et leur évolution peut être testée rapidement. Un modèle numérique est transformé à partir de croisements successifs et évalué en fonction d'objectifs et de contraintes prédéfinies. L'intérêt des mécanismes évolutionnaires repose sur leurs capacités à parcourir un espace de solutions et à évoluer dans un système sous contraintes [...] » (EcCoGen, WEB).

Sous la forme de « Modélisation déclarative », le concepteur instance les propriétés environnementales auxquelles devraient répondre le projet. Le système génératif, sur la base de ces déclarations et d'algorithmes, propose une grande diversité de configuration

²¹ Une méthode composée d'une série de tables, guide pour une architecture bioclimatique. Développée par l'architecte Carl Mahoney, avec John Martin Evans et Otto Königsberger et publié en 1971 (United Nations. et al., 1971).

²² Une méthode suggérée par Givoni, en 1963, déterminant en fonction du climat les orientations constructives, sur la base du digramme de confort (Givoni B, 1978).

²³ « Le guide malin de l'énergie chez soi » (Salomon et Bedel, 2001)

²⁴ « Concevoir, édifier et aménager avec le développement durable » (Liébard et De Herde, 2006)

²⁵ « A Technical Design Guide » (N. Baker et Steemers, 2000)

²⁶ « an introduction for architects and engineers » (Randall Thomas, 2006)

²⁷ <http://www.crai.archi.fr/wp-ame/>

²⁸ <http://www.zone-verte.info/modules/newbb/index.php?cat=11>

(architecturales, formelles, techniques, etc.). Ces dernières peuvent servir de références environnementales pour la conception du projet.

Nous citons pour exemples : Ec-Co-Gen²⁹, BEopt³⁰, GenOpt³¹, JEplus³².

Conclusion :

Ces diverses approches envisagent de manières différentes la qualité environnementale. Certaines tendent à évaluer ou à estimer une pertinence à partir des choix effectués dans le projet, d'autres aspirent à orienter la proposition.

Dans le cadre de notre étude, nous adopterons la terminologie suivante, en distinguant les approches par suggestion des approches par estimation.

Les approches par bases de connaissances, génératives et à matrices, sont des approches par estimation. La clarification des enjeux écologique et l'incitation vers des solutions adaptées permettent d'orienter le concepteur vers des choix architecturaux spécifiques. De meilleures intégrations et compréhensions des enjeux environnementaux peuvent aboutir à un projet ayant une qualité environnementale supérieure. Ce type de méthode peut donc assister lors de la conception, la formulation des problèmes et l'émergence d'une solution primaire.

Les approches dynamiques et inventaires sont des méthodes estimatives. Évaluer la qualité environnementale, c'est dire si le bâtiment possède une certaine propriété écologique, à quel niveau ou encore sur quels aspects ou enjeux. Cette appréciation permet de faire un bilan environnemental à un instant particulier de la conception, le concepteur détient alors la possibilité de modifier les éléments qui ne seraient pas satisfaisants afin de les améliorer. Ce type d'approche intervient donc dans l'assistance à l'évaluation d'une proposition.

Les approches par listes/référentiels, qui servent à clarifier les enjeux environnementaux et à proposer des bases éventuelles pour une appréciation, peuvent, par conséquent, demeurer à la fois des méthodes à suggestion et des méthodes à estimation. Certaines méthodes estimatives peuvent posséder un caractère labélisant.

²⁹ <http://eccogen.crai.archi.fr/wordpress/>

³⁰ <https://beopt.nrel.gov/home>

³¹ <http://simulationresearch.lbl.gov/GO/>

³² <http://www.iesd.dmu.ac.uk/staff/>

Synthèse :

Nous avons vu, dans ce chapitre, diverses méthodes d'assistance à l'écoconception nous permettant de les classifier (Figure 10). La classification s'opère d'après les éléments suivants :

- Le moment d'intervention dans le processus de conception.
- Le type d'approche (par suggestion ou par estimation), qualifiant la manière d'accompagner le concepteur.
- Les enjeux environnementaux considérés. Ils sont de l'ordre global ou orienté vers un domaine Spécifique.

Bien que ces différentes approches et leurs caractéristiques soient distinctes, elles peuvent demeurer complémentaires.

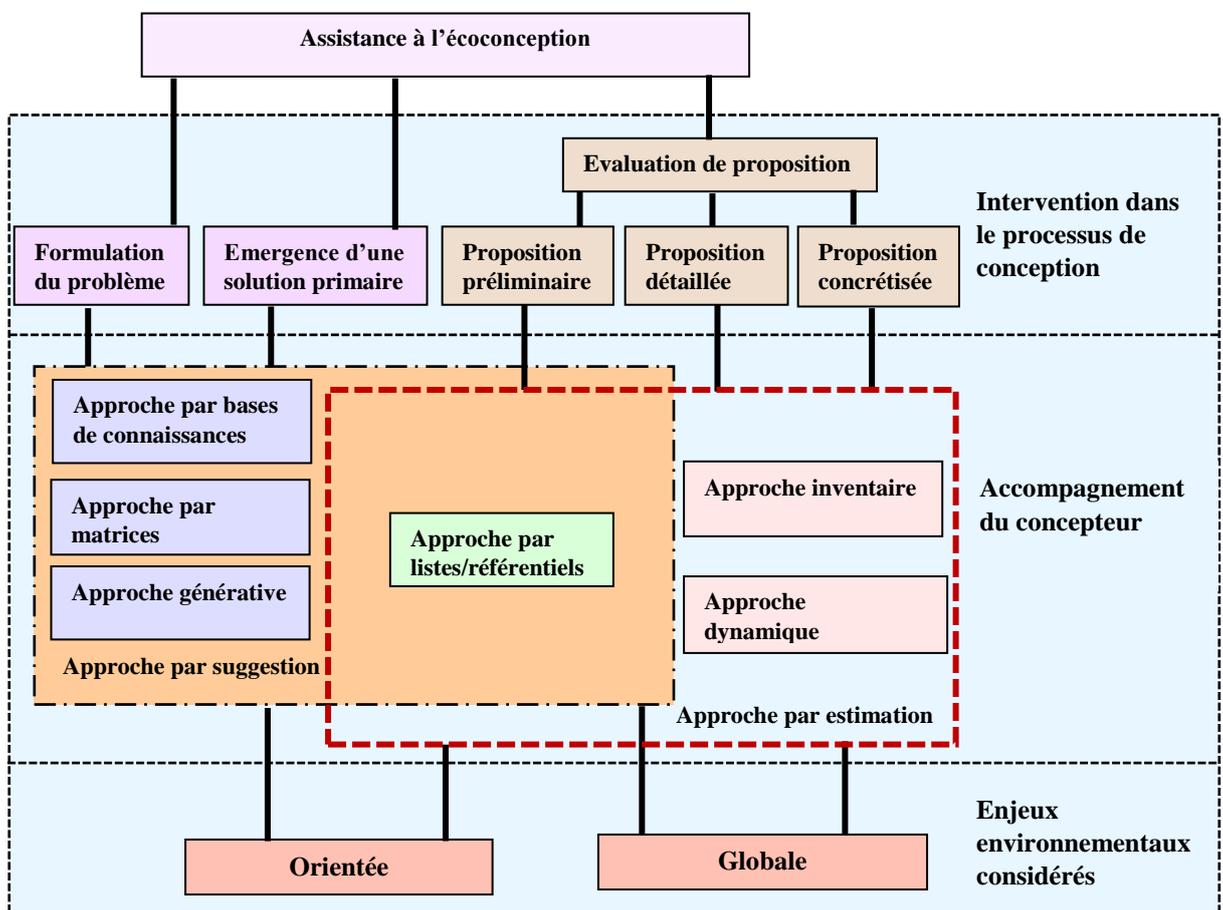


Figure 10 : Classification des assistances à l'écoconception. Figure développée dans le cadre de notre recherche.



Bibliographie

BERNEMAN C. et al. (2009) – L'éco-conception: Quels retours économiques pour l'entreprise, *Cahiers de recherche*.

PARTHENIOS (2008) – ANALOG VS. DIGITAL : WHY BOTHER ? The role of Critical Points of Change (CPC) as a vital mechanism for enhancing design ability, in *First International Conference on Critical Digital : Harvard University Graduate School of Design, Cambridge (USA)*.

JEANTET A. (1998) – Les objets intermédiaires dans la conception. Eléments pour une sociologie des processus de conception, *Sociologie du travail*, 40, 3, p.p. 291–316.

ADRA, MAAMARI (2007) – Recensement et analyse des outils utilisés dans le cadre d'une démarche HQE et développement d'une méthodologie d'aide à la décision. Etude sur les Outils HQE® –Rapport Final, Soft Energy Consultants.

ABDELGHANI-IDRISSI M.A. et al. (2004) – *Outils d'analyse environnementale des bâtiments*, durabuild, 2004.

THIERS S. (2008) – Bilans énergétiques et environnementaux de bâtiments à énergie positive, *Renewable energy*, 32, 5, p.p. 845–855.

JOSEPH D. et al. (2011) – Calcul des flux solaires pour le Bâtiment par méthode de Ray-Tracing. *Congrès français de Thermique*, SFT 2011, Perpignan

JOLLIET O. et al. (2010) – *Analyse du cycle de vie : Comprendre et réaliser un écobilan*, PPUR Presses polytechniques, 2012, 312p.

TROCMÉ M., PEUPORTIER B. (2007) – Analyse de cycle de vie d'un bâtiment, *J3eA*, 7, p.p. 0001.

LÜTZKENDORF, TANZ, MOFFATT (2004) – Directory of tools: A Survey of LCA Tools, Assessment Frameworks, Rating Systems, Technical Guidelines, Catalogues, Checklists and Certificates.

ANDRÉ P., DELISLE C.-E., REVÉRET J.-P. (2003) – *L'évaluation des impacts sur l'environnement : Processus, acteurs et pratique pour un développement durable*, 2e édition, Ecole Polytechnique Montréal, 2003.

LEOPOLD L.B. et al. (1971) – A Procedure for Evaluating Environmental Impact. *U.S. Geological Survey*, Washington, D.C.

GALVEZ-CLOUTIER R., GUESDON G. (2011) – Evaluation des impacts Environnementaux (EIE).





CALDAS L. (2002) –*Evolving three-dimensional architecture form. An application to low energy design*, Springer, 2002, 660p.

LAMOUR M. (2011) – Optimisation de l'énergie solaire par approches bio-mimétiques et simulations dynamiques.



CHAPITRE III : ÉTAT DE L'ART DES OUTILS D'ASSISTANCE A ECOCONCEPTION

Ce chapitre s'attache à dresser l'état de l'art des outils d'assistance à l'écoconception. Sans avoir un caractère exhaustif, nous essayons d'exposer un ensemble représentatif des différentes assistances, dont la finalité est d'illustrer notre classification. Nous présentons en particulier deux approches dynamiques.

Certains exemples cités sont de l'ordre de l'outil tandis que d'autres sont de l'ordre d'une démarche. Pour l'ensemble des illustrations, nous précisons leurs buts et leurs objectifs en les situant dans notre classification. Pour les outils, nous apportons une description du fonctionnement global en détaillant les éléments d'entrées, de sorties et les éventuelles interfaces proposées aux utilisateurs.

Nous proposons, en fin de chapitre, une critique des différentes approches identifiées.

1. Les outils de mesure :

1.1. Trnsys :

(Transient System Simulation Tool) est développé par l'université de Wisconsin et une entreprise privée TESS, le groupe TransSolar en Allemagne et le CSTB en France interviennent sur la diffusion du logiciel et l'interface pour les utilisateurs.

C'est un environnement modulaire et très flexible qui inclut une interface graphique et une librairie de composants pour modéliser les systèmes énergétiques appliqués aux bâtiments. Il intègre la possibilité de créer ses propres composants et peut être couplé à d'autres outils comme COMIS, CONTAM, EES, Excel, FLUENT, GenOpt et Matlab. De fonctionnalité analogue à EnergyPlus il est intéressant par son aspect modulaire qui facilite le développement de modèles spécifiques.

1.2. Pleiades+COMFIE :

Pleidaes+Comfie est une plate-forme de logiciels de simulations dédiée à l'aide à la conception énergétique, développée par le Centre Énergétique de l'École des Mines de Paris et par l'équipe IZUBA énergies. Ce logiciel permet de faire des simulations de la thermique et des ambiances d'une proposition, afin d'anticiper les performances futures.

Il est indiqué sur le site du développeur (IZUBA énergies), ou dans le travail sur les outils de simulation de Thierry Salomon (Salomon et al. 2005), que l'utilisation de ce logiciel est possible dès la phase d'esquisse jusqu'aux étapes les plus avancées de la proposition. Cependant certaines données à renseigner comme les types de techniques utilisés (chauffage, ventilation, etc.) ne sont pas toujours compatibles avec les périodes préliminaires d'un projet. Dans notre étude, nous cataloguons donc Pleiades+COMFIE dans les assistances à l'évaluation d'une proposition détaillée.

Pleiades+COMFIE propose trois modules aux utilisateurs, COMFIE (un noyau de calcul), Pleiades (une interface de saisie de bibliothèque, de gestion du projet et de résultats) et Alcyone (une interface de saisies et d'affichage du modèle de l'opération).

La simulation se base sur une modélisation dite simplifiée du bâtiment, effectuée grâce au module de saisie graphique Alcyone (cf. Figure 11). Par le biais d'une modélisation orientée objet, l'utilisateur associe les éléments pour former des objets complexes tels que des murs, des ouvertures, des zones thermiques, etc.

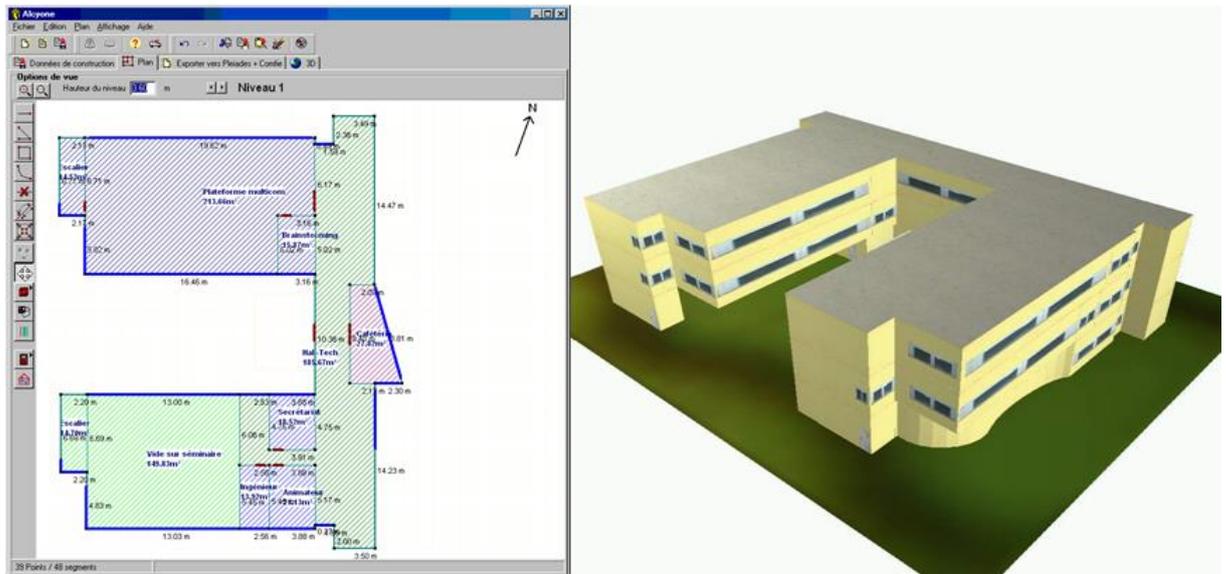


Figure 11 : Aperçu du module de saisie graphique Alcyone. (Images récupérées sur (IZUBA énergies, WEB).

« Afin d'être accessible aux professionnels, et de réduire le temps de calcul à quelques minutes sur micro-ordinateur, les modèles ont été simplifiés ici grâce à une technique nommée "analyse modale". (Peuportier, 2006)

La modélisation constitue une partie des données d'entrées nécessaires, elle est transférée vers le module Pleiades (cf. Figure 12). Elle est complétée par les caractéristiques du bâtiment telles que les scénarios (occupation, chauffage, etc.), les types de ventilations (naturelle, mécanique, etc.) ou encore les indications géographiques. Une fois toutes les propriétés informées, la simulation peut être effectuée, sur une période donnée et un pas déterminé.

« Dès que la simulation démarre, le cœur de calcul, à chaque pas de temps t_n et pour chaque zone du bâtiment, calcule la température de zone au temps t_{n+1} à partir de la température au temps t_n . Il active pour cela, séquentiellement, chacun des modules additionnels qui transmettent leur contribution sous la forme d'une puissance fournie à chaque zone thermique du bâtiment »⁴⁰ (Thiers, 2008)

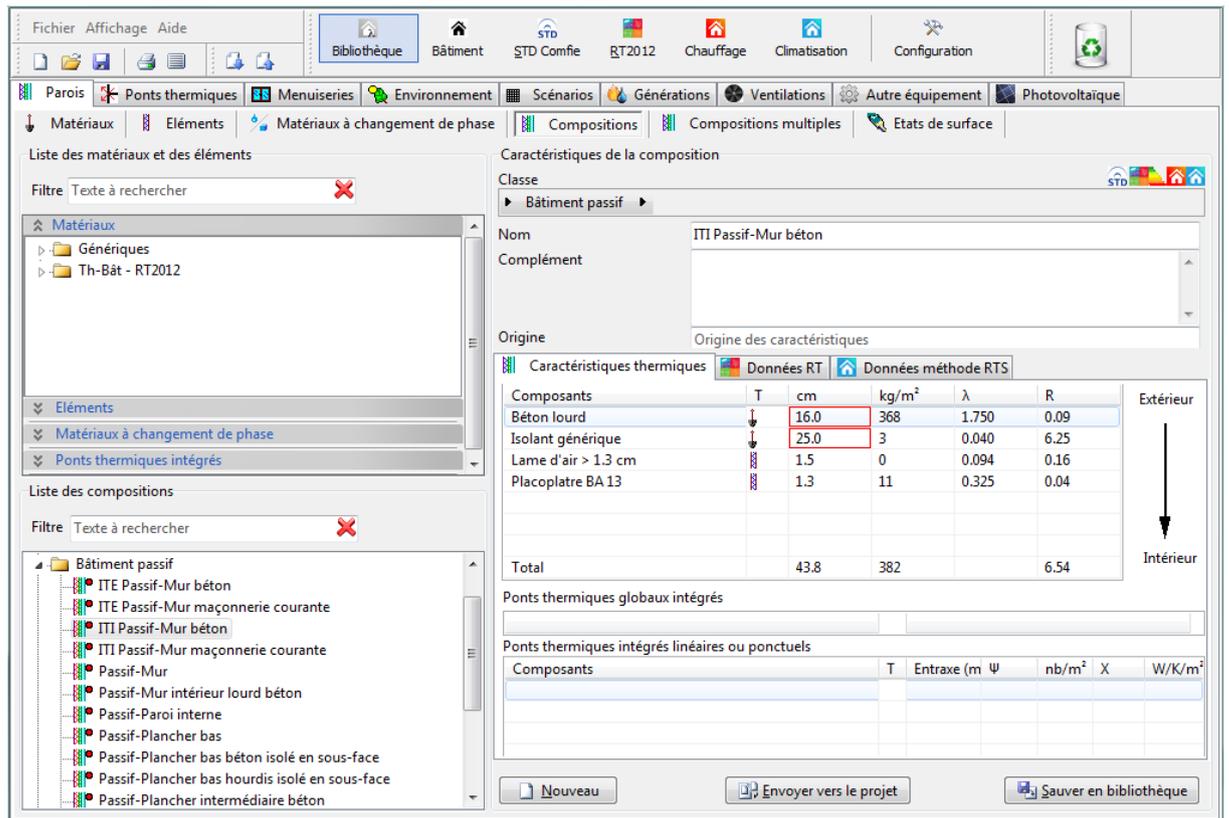


Figure 12 : Aperçu du module de saisie des données de scénarios Pleiades. (Image récupérée sur (IZUBA énergies, WEB).

Les résultats de la simulation sont présentés sous forme de graphes (Figure 11), de tableaux ou encore de diagramme de Sankey, renseignant les informations suivantes : températures des zones, rayonnements solaires, taux d'inconforts, besoins énergétiques (chauffages, climatisations), etc.

1.3. ArchiWIZARD :

Les sociétés HPC-SA et TBC, dans leur rapprochement technologique et dans le cadre du Grenelle de l'environnement, ont pour thème le développement de logiciels de simulation énergétique en environnement 3D. Autour de la problématique du bâtiment économe, le logiciel ArchiWIZARD est centré sur les démarches réglementaires françaises, par exemple la RT 2012.

Cet outil permet de déterminer les éléments suivants : les apports solaires précis et localisés, la thermique du projet, la lumière naturelle, les besoins d'éclairage artificiel, les besoins en eau chaude sanitaire, le potentiel de production énergétique intégrée, etc. Il propose ainsi une simulation de l'impact des choix architecturaux et techniques du bâtiment en temps réel.

Les développeurs ont centré ce logiciel sur une facilité d'intégration dans le processus de conception, par son aspect intuitif, sa rapidité et l'utilisation des outils de conception habituels (compatibilité de logiciel). Ils annoncent notamment son emploi dès les premières phases de conception. Cependant, tout comme le logiciel Pleiades+COMFIE plusieurs données à renseigner nécessitent un certain avancement dans la définition du projet. Dans notre étude, nous cataloguons donc ArchiWIZARD dans les assistances à l'évaluation d'une proposition détaillée.

Cet outil considère une qualité environnementale orientée principalement vers la performance énergétique et thermique du bâtiment, mais il analyse également la notion de qualité et quantité lumineuse.

« Les choix architecturaux et techniques étant les leviers majeurs pour améliorer la performance énergétique future d'un bâtiment, les Architectes et Bureaux d'études sont amenés à collaborer très en amont, dès les premières phases d'esquisse. ArchiWIZARD© est l'outil de dernière génération pour concevoir et rénover des bâtiments alliant performances éco énergétiques, intelligence créative et confort. » (ArchiWIZARD, WEB)

Une donnée d'entrée essentielle à la simulation est la modélisation de la proposition, cependant le logiciel ne possède pas de modéleur pour définir la géométrie du bâtiment à simuler. Une plate-forme de transfert des modèles CAO 3D est intégrée. L'utilisateur importe l'une des « 3D » réalisée sur son modéleur habituel (sketchup, ArchiCAD, AutoCAD 3D, Revit, etc.) et l'outil détecte automatiquement les pièces, les parois, les ponts thermiques ou encore les baies. Des valeurs par défaut sont alors attribuées (nature des baies, de l'isolation, des parois, etc.). Dès l'importation d'un modèle géométrique, le logiciel propose une estimation énergétique (avec ces valeurs par défaut).

L'utilisateur a ensuite la possibilité d'intervenir sur certains éléments : modification des données techniques des parois, des baies, des planchers. Il pourra également ajouter des baies, des protections solaires et des équipements solaires, etc. Le modèle importé ne pourra être modifié dans sa géométrie.

À chaque changement, une nouvelle simulation peut être effectuée.

Les résultats des simulations sont présentés sous forme de données chiffrées (cf. Figure 12), de graphiques ou de rapports (notamment les notes de calcul règlementaire RT 2012 avec le moteur du CSTB).

1.4. EQUER :

EQUER est un logiciel, basé sur un « inventaire », développé par le Centre Énergétique de l'École des Mines de Paris et par l'équipe IZUBA énergies. Il est associé à Pleiades+COMFIE.

Tout comme Pleiades+COMFIE, le développeur (IZUBA énergies, WEB) indique une utilisation dès la période d'esquisse jusqu'aux étapes les plus avancées du projet. Ce logiciel étant lié et dépendant de Pleiades+Comfie, nous cataloguons donc EQUER dans les assistances à l'évaluation d'une proposition détaillée.

EQUER considère douze paramètres environnementaux sur les quatre phases du cycle de vie du bâtiment tels que l'effet de serre (t CO₂), les déchets radioactifs (dm³), les déchets internes, etc. Ce logiciel s'oriente donc vers la mesure d'impacts quantifiables des choix architecturaux, techniques, et sociaux.

Les données informées sur Pleiades+COMFIE et les résultats de la simulation (quantité de matériaux, besoin de chauffage, etc.) servent de base pour EQUER. D'autres informations nécessaires sont ensuite renseignées par le concepteur (Figure 13) comme le mode de gestion de déchets, les comportements des occupants, les types de chaudières pour l'eau chaude sanitaire, les transports des usagers, la nature des énergies utilisées, etc. (IZUBA énergies, WEB).

Nom des zones	Poids de déchets en grammes par personne et par jour
Garage	1000
Séjour	1000
Chambre	1000
Salle de bain	1000
Bureau 1 Est	1000
Bureau 2 Ouest	1000
Bureau 3 Sud	1000
WC	1000

Figure 13 : Fenêtre de renseignement sur la gestion des déchets d'un projet dans EQUER. (Image issue du logiciel EQUER en mode démonstration).

L'outil se fonde sur les données renseignées ainsi que sur la base de données EcoInvent³³ pour effectuer l'inventaire des différents effets engendrés sur l'ensemble du cycle de vie du bâtiment (Peuportier, 2008) : la construction, l'utilisation, la rénovation et la démolition.

Les résultats des calculs inventaires sont présentés sous forme de tableaux, de graphiques à barres, ou de diagramme radar. Ces diverses visualisations permettent l'affichage des impacts sur le cycle de vie du bâtiment (Figure 14) et une comparaison graphique entre projets ou variantes sur les critères d'impact.

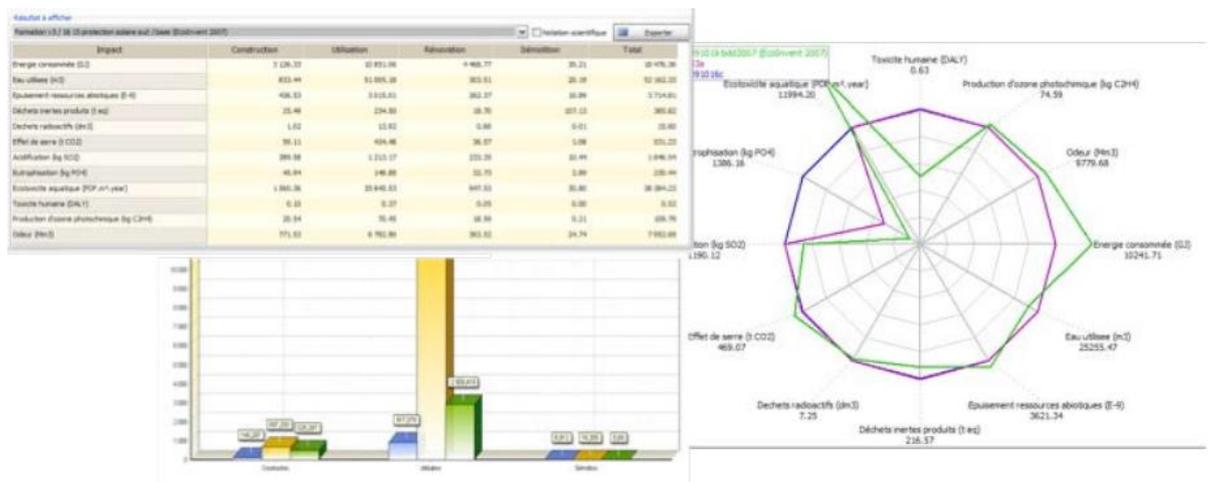


Figure 14 : Fenêtre de présentation des résultats du logiciel EQUER. Image issue du logiciel EQUER en mode démonstration ou du site développeur (IZUBA énergies).

2. Les approches par référentiels et labellisations :

2.1 Certification NF-Démarche HQE® :

La démarche HQE® a été initiée par « l'association HQE » créé en 1996, dans le but de promouvoir la qualité environnementale des bâtiments neufs et existants. Un regroupement d'institutions politiques, d'organismes officiels (PUCA³⁴, Ademe³⁵, CSTB³⁶, etc.) et d'associations professionnelles (artisans, architectes, industriels, etc.) ont abouti à la formalisation d'une approche au moyen d'une grille de quatorze cibles organisées autour de quatre objectifs (écoconstruction, écogestion, confort et santé) (Figure 15) qui a été publié notamment en 2002 sous forme de référentiel.

³³ Une centre de base des données, d'analyse de cycle de vie : <http://www.ecoinvent.ch/>

³⁴ Plan Urbanisme Construction Architecture : <http://rp.urbanisme.equipement.gouv.fr/puca/>

³⁵ Agence de l'Environnement et de la maîtrise de l'Énergie : <http://www2.ademe.fr>

³⁶ Centre Scientifique et Technique du bâtiment : <http://www.cstb.fr/>

Ce dernier est composé de deux volets. Un volet relatif au système de management environnemental des opérations (SME) et un volet relatif à la qualité environnementale du bâtiment (QEB). Cette démarche n'est pas un outil en soi, mais propose une approche par estimations de la qualité environnementale.

La méthode considérant un ensemble varié d'enjeux environnementaux, nous la classons comme une approche environnementale globale. Nous mettons tout de même une réserve sur le choix des objectifs par le maître d'ouvrage, bien que la méthode soit à la base globale, la certification peut être quelque peu orientée. Les critères considérés sont pour certains quantitatifs et pour d'autres qualitatifs. Elle n'est pas une aide à la conception, mais une méthode d'aide à l'évaluation. Cette dernière étant effectuée (pour la phase de conception qui nous intéresse dans ce cadre d'étude) une fois la conception terminée, il s'agit donc d'une assistance à l'estimation d'une solution concrétisée.



Figure 15 : Les 14 cibles de la démarche HQE®.

En 2004, par la signature d'une convention entre « l'association HQE » et l'organisme AFNOR³⁷, une première certification « NF ouvrage-démarche HQE® » a été mise en place. Nous retrouvons aujourd'hui trois organismes de certifications mandatés par L'AFNOR. Cerqual propose « NF logement - démarche HQE® », relative aux bâtiments de logements collectifs neufs. Certivéa présente « NF bâtiment tertiaire - démarche HQE® », concernant les

³⁷ Organisme de certification : <http://www.afnor.org>

opérations tertiaires neuves ou rénovées et « NF bâtiment tertiaire en exploitation- démarche HQE® », relative aux bâtiments tertiaires en exploitation. Cequami propose « NF maison individuel- démarche HQE® » et « NF maison rénovée - démarche HQE® », respectivement pour les maisons individuelles neuves et rénovées. Une certification « NF aménagement – démarche HQE® », relative aux aménagements urbains est en cours de développement par Certivéa.

Ces différentes labellisations françaises sont également utilisées, sans adaptation particulière, en Belgique, Luxembourg, Tunisie et en Algérie et d'autres référentiels sont en préparation pour le Liban, le Vietnam ou encore l'Argentine. (Association HQE, 2010)

L'ensemble de ces organismes de certification propose des référentiels multicritères (sur la base des travaux de « l'association HQE » et des quatorze cibles) et adaptés aux enjeux de l'opération.

Pour illustrer cette démarche, nous avons choisi la certification « NF bâtiment tertiaire – démarche HQE » délivrée par Certivéa. Le domaine d'application est tous les bâtiments ou parties de bâtiments tertiaires (à l'exception des établissements de santé).

La démarche de certifications se déroule de la manière suivante. La demande est faite par le maître d'ouvrage, dès la phase de programmation. Elle est composée de deux référentiels (SME et QEB) articulés autour de trois audits. À la programmation, le maître d'ouvrage sélectionne les niveaux d'exigences souhaités (au moins trois cibles de niveau « très performant - TP », sept cibles maximum au niveau « base -B »). Il exécute les évaluations selon les référentiels en vigueur pour chacune des trois phases. Les audits sont des processus indépendants qui ont pour but de vérifier que les exigences sont respectées et que l'estimation de la qualité est bien effectuée.

Dans le cadre de notre étude, nous nous intéressons au référentiel « QEB » relatif à la mesure de la qualité environnementale du bâtiment. Il est composé d'une liste de quatorze cibles décomposées en sous-cibles, eux même décrits de critères d'évaluation. Chaque critère possède des descriptions d'exigences à atteindre pour valider un niveau : B, T ou TP. Certaines exigences sont de l'ordre du générique, d'autres de l'ordre de l'additionnel concernant une situation programmatique particulière.

Ainsi l'évaluation de la qualité environnementale se réalise selon un schéma bien déterminé. Afin d'illustrer nos propos, nous prenons pour exemple la sous-cible « 4.2 réduction de la consommation d'énergie primaire » de la cible « 4. Gestion de l'énergie ».



Le critère « 4.2.1 réduire la consommation d'énergie primaire due au chauffage, au refroidissement, à l'éclairage, à l'ECS, à la ventilation et aux auxiliaires de fonctionnement » possède deux procédures d'évaluation. L'une utilise un moteur de calcul thermique réglementaire en vigueur afin de calculer le coefficient de consommation conventionnelle d'énergie primaire (Cep en kWhep/ an.m²). L'autre utilise un logiciel de simulation thermique dynamique pour calculer les consommations des postes règlementaires. Le niveau atteint par le critère dépend ensuite de la comparaison entre les résultats obtenus et une valeur de référence.

3. Les approches par matrice :

3.1 Table de Mahoney :

Les tables de MAHONEY sont des recommandations de constructions (typologie de plan, type de matériaux, etc.) en fonctions des données climatiques renseignées du projet. Elles ont été développées par les architectes Carl Mahoney, John Martin Evans et Otto Königsberger et publiées en 1971 dans (United Nations. et al. 1971).

C'est une assistance orientée vers le confort thermique. Elle permet notamment d'aider le concepteur dans la formulation des problèmes environnementaux liés au contexte climatique. En proposant des recommandations, elle guide la formulation de la proposition primaire du projet.

En identifiant des attitudes essentielles en fonction du climat de chaque mois, la méthode oriente le concepteur, par le biais de dix-sept recommandations réparties en huit catégories. Dans les premières tables, le concepteur renseigne les données climatiques correspondantes à la situation de son projet, les tableaux suivants retranscrivent les différentes recommandations (Liébard et De Herde, 2006). Le concepteur indique dans la table « 1 et 2 », la température de l'air moyenne (maximale et minimale), le taux d'humidité moyen (maximal et minimal) retranscrit sur quatre niveaux (0-30 % : niveau 1 ; 30-50 % : niveau 2, 50-70 % : niveau 3 ; + de 70 % : niveau 4) ainsi que la quantité de précipitation moyenne, pour chaque mois de l'année.

En fonction des températures, du taux d'humidité et des zones de confort (nuit et jour) définies par C. Mahoney, la table « 3 » (Tableau 01) de diagnostics désigne, pour chaque mois, la contrainte thermique (« thermal stress ») : H (« hot ») au-dessus des limites de confort, C (« cold ») en dessous des limites de confort ou « - » dans la zone de confort.

espacement entre les bâtiments avec protection contre le vent froid, pièce traversante pour mouvement d'air permanent, ouverture moyennes 20-40 %, mur léger avec faible déphasage thermique et toiture légère isolée.

H1	H2	H3	A1	A2	A3	LAYOUT
			0-10 11 ou 12		5-12 0-4	<input checked="" type="checkbox"/> 1- Buildings orientated on east-west axis to reduce exposure to sun <input type="checkbox"/> 2- Compact courtyard planning
						SPACING <input type="checkbox"/> 3- Open spacing for breeze penetration <input checked="" type="checkbox"/> 4- As 3, but protect from cold/hot wind <input type="checkbox"/> 5- Compact planning
11 ou 12						AIR MOVEMENT <input checked="" type="checkbox"/> 6- Rooms single banked. Permanent provision for air movement <input type="checkbox"/> 7- Double-banked rooms with temporary provision for air movement <input type="checkbox"/> 8- No air movement requirement
2-10 0-1			0-5 6-12			OPENINGS <input type="checkbox"/> 9- Large openings, 40-80% of N and S walls <input type="checkbox"/> 10 - Very small openings, 10-20% <input checked="" type="checkbox"/> 11- Medium openings, 20-40 %
			0 ou 1 11 ou 12		0 0 ou 1	WALLS <input checked="" type="checkbox"/> 12- Light walls; short time lag <input type="checkbox"/> 13- Heavy external and internal walls
			0-2 3-12			ROOFS <input checked="" type="checkbox"/> 14- Light insulated roofs <input type="checkbox"/> 15- Heavy roof; over 8 hours' time lag
				2-12		OUTDOOR SLEEPING <input type="checkbox"/> 16- Space for outdoor sleeping required
						RAIN PROTECTION <input type="checkbox"/> 17- Protection from heavy rain needed
		3-12				

Tableau 03 : Tableau des recommandations de la méthode des tables de Mahoney relative au climat de Paris. Image inspirée des tableaux proposés par C. Mahoney (United Nations. et al. 1971).

4. Les écomodèles :

4.1. Éco.mod :

Éco-mod est une approche développée dans le cadre du travail doctoral de Vida Gholipour (Gholipour, 2011), en collaboration entre l'ERPI³⁸ (Équipe de Recherche sur les Processus Innovatifs) et le CRAI³⁹ (Centre de Recherche en Architecture et Ingénierie) de Nancy.

³⁸ <http://laboratoire-erpi.wikispaces.com>

³⁹ <http://www.crai.archi.fr>

Le rôle principal de la méthode est d'assister la phase amont du processus de conception, en facilitant la prise en compte des enjeux environnementaux, en augmentant la certitude des stratégies environnementales visées. Nous classons éco-mod dans les méthodes d'assistance à la formulation du problème et d'assistance à l'émergence d'une solution primaire.

Éco-mod englobe des cibles variées dans l'objectif de répondre de manière générale à la problématique environnementale en architecture, elle est donc considérée comme une assistance aux enjeux environnementaux globaux.

Éco-mod est fondée sur des patrons de conception, orientée environnement, inspirée de la méthode du « pattern language » de Christopher Alexander (Alexander et al. 1977). Ces patrons appelés « éco-modèles » sont des solutions architecturales types, éprouvées par la pratique, remplissant certains critères et répondant à des problèmes environnementaux. L'étude d'un corpus de bâtiments (contemporain ou vernaculaire), dont la qualité environnementale a été reconnue (revues spécialisées, lauréats de concours, labélisation, etc.) a permis l'identification d'environ quatre-vingt-dix éco-modèles, organisés dans une base de données relationnelle.

Chaque éco-modèle défini est décrit par un problème environnemental qu'il résout, une solution générique et des contraintes éventuelles à prendre en compte (économiques, techniques, d'usages, etc.). Il est illustré par des exemples de réalisations contextualisées. Il entretient des relations typées (équivalence, combinaison, contradiction) avec d'autres éco-modèles et des relations avec des cibles environnementales (impact positif, neutre, négatif). Les cibles considérées sont les quatorze établies par l'association HQE, accompagnées d'une quinzième relative à la biodiversité.

Un support sous forme d'outil web⁴⁰ est proposé au concepteur, facilitant la navigation dans la base de données, la constitution de scénarios et la visualisation des conséquences.

L'utilisateur a notamment le choix de définir sa recherche par les éco-modèles, par les cibles environnementales ou par les réalisations. L'entrée par la sélection des éco-modèles permet à l'utilisateur d'explorer l'ensemble des éco-modèles ainsi que leurs descriptions. Il a la possibilité d'en sélectionner plusieurs afin d'effectuer un scénario d'éco-modèles, définissant ainsi un comportement face aux cibles environnementales : favorable, sans conséquence, divergeant ou défavorable (Figure 16). Cette approche permet notamment de vérifier que les éco-modèles choisis satisfont les objectifs environnementaux visés.

⁴⁰ <http://www.crai.archi.fr/eco.mod>

L'entrée par la sélection de cibles environnementales, permet à l'utilisateur de trouver une liste d'éco-modèles en fonction de leur comportement vis-à-vis des cibles (à privilégier, à éviter, ou à utiliser avec précaution).

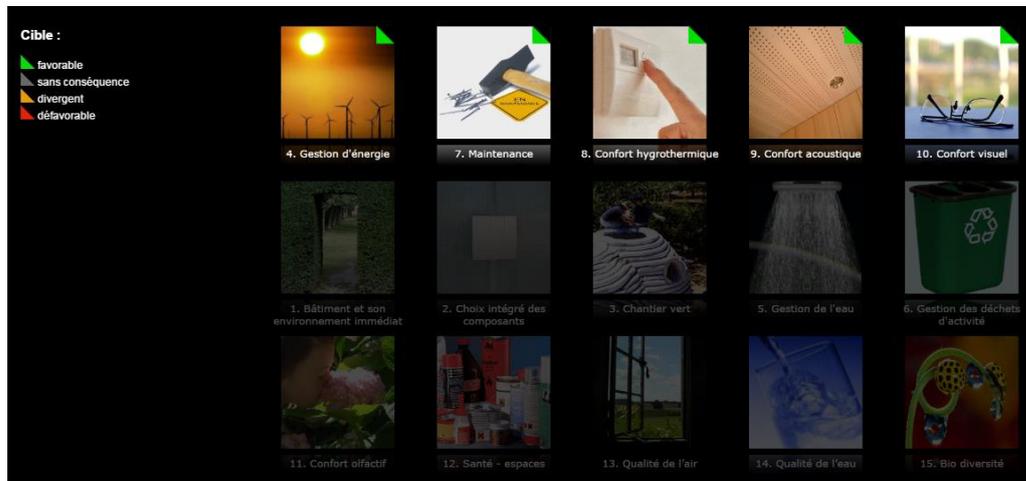


Figure 16 : Exemple de scénario de trois éco-modèles. Image issue de l'outil éco-mod (Éco.mod : WEB)

5. les outils de connaissance :

* Le traité d'architecture et d'urbanisme bioclimatique :

Il s'agit d'un ouvrage (Liébard et De Herde, 2006) traité, dans un premier temps, sous forme de guide de l'architecture bioclimatique, en six volumes. Il est édité dans le cadre du programme Learnet, avec l'appui du programme Altener⁴¹, de la Direction générale Énergie et Transports de la Commission européenne et celui de l'Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Énergie. Il est disponible également en version navigable sur internet⁴², grâce à la réalisation du navigateur Learnet (proposé par Obser'ER) suggérant plusieurs modes de recherche (rapide, avancée ou guidée).

Ce guide intervient premièrement, dans l'assistance à la formulation du problème. La communication des différents intérêts environnementaux, en fonction du contexte, peut permettre aux concepteurs de cibler les enjeux concernant leur projet. Deuxièmement, la mise en avant de solutions peut potentiellement aider le maître d'œuvre à exprimer une proposition. Cet ouvrage est également une assistance à la formulation d'une proposition.

Nous considérerons ce guide comme une assistance à la qualité environnementale globale. En effet, les auteurs tentent d'exposer un maximum d'enjeux environnementaux : des

⁴¹ Programme visant à promouvoir les énergies renouvelables : <http://www2.ademe.fr/servlet/doc?&id=33175&ref=16846>

⁴² <http://www.energies-renouvelables.org/observ%2Der/learnet/learnet/accueil.asp>

6. Les outils génératifs :

6.1. Ec-Co-Gen :

Ec-Co-Gen (éco-conception générative) est un projet de recherche menée depuis janvier 2011, dans le cadre du programme Création-Processus, Acteurs, Objets, Contextes-édition 2012 de l'ANR⁴³.

Ce travail rassemble trois équipes : MAP-CRAI⁴⁴, MAP-ARIA⁴⁵ et Codisant-Sitcom⁴⁶. La thématique de recherche repose sur les capacités des dispositifs numériques génératifs à stimuler une conception architecturale créative dans le contexte du développement durable.

« C'est l'instrumentation numérique de la conception architecturale qui est au centre de nos préoccupations. Nous cherchons à caractériser les mécanismes de la créativité dans une situation d'assistance générative, à travers laquelle l'outil numérique révèle une part d'autonomie et intègre des contraintes environnementales. » (EcCoGen, Web).

Cette recherche a notamment abouti à deux méthodes : Ec-Co-Gen-L et Ec-Co-Gen-N. Elles interviennent dans les prémises de la conception architecturale afin de définir les hypothèses formelles du projet. Dans notre étude, nous classons Ec-Co-Gen dans les assistances à la formulation d'une proposition primaire, orienté qualité énergétique.

6.2. Ec-Co-Gen-L :

Ec-Co-Gen-L est destiné à aider les concepteurs à générer de solutions architecturales aux performances environnementales (économie d'énergie, confort thermique et minimisation de l'impact sur le voisinage). L'utilisateur renseigne certaines contraintes liées aux projets : le climat du site, les règles d'urbanisme (retrait, mitoyenneté, hauteur maximale, etc.), la forme du contexte urbain (pour les ombres et les masques solaires) et les surfaces objectives.

L'espace de construction est divisé en « unités fonctionnelles » en trois dimensions : VOXELS. Le logiciel, avec les données de contexte, fait varier la position du bâti sur ces « unités fonctionnelles » et ainsi génère un certain nombre de solutions. Ces solutions sont évaluées sur les critères environnementaux et celles jugées efficaces seront croisées pour déterminer d'autres solutions. L'utilisateur a la possibilité d'interagir avec l'outil en sélectionnant des propositions qui lui semblent intéressantes (pour l'esthétique, les performances, etc.). Le logiciel privilégiera ces suggestions pour les itérations et les générations

⁴³ Agence nationale de recherche : <http://www.agence-nationale-recherche.fr/>

⁴⁴ <http://www.crai.archi.fr/>

⁴⁵ <http://www.aria.archi.fr/>

⁴⁶ http://www.univ-nancy2.fr/pers/gregori/Nicolas_Gregori.html

suivantes. Ec-Co-Gen-L ne propose pas la solution la plus efficace, mais des familles de solutions potentiellement efficaces pour des critères choisis.

6.3. Ec-Co-Gen-N :

Ec-Co-Gen-N rassemble :

- Une plate-forme de modélisation paramétrique « Grasshopper » associée au modèleur « Rhinoceros ».
- Un moteur évolutionnaire « Galapagos ».
- Un moteur d'évaluation énergétique « EnergyPlus ».

Le lien entre « Grasshopper » et « EnergyPlus » est assuré par le plug-in DIVA.

L'utilisateur évolue dans un environnement paramétrique où il définit un premier modèle de conception, situé dans son contexte (bâtiments voisins, etc.), qu'il va soumettre à l'évolution et à l'optimisation. Sur ce modèle paramétrique de départ, le concepteur sélectionne les éléments à faire évoluer (position d'un point, transformation géométrique, taille des ouvertures, position des masques solaires, etc.) appelés des gènes. Le moteur évolutionnaire fait varier ces différents gènes, proposant ainsi diverses solutions. L'ensemble de ces propositions est soumis à l'évaluation. La pertinence d'une solution appelée « fitness » est notamment mesurée sur quatre composantes : le respect d'une surface de plancher, le respect de la limite du terrain, l'unité du bâtiment et la performance énergétique.

L'interface développée permet la visualisation des meilleures solutions. L'utilisateur peut en sélectionner une qui lui semble intéressante et relancer ce processus.

7. Bilan des assistances à l'écoconception :

Ces différentes méthodes que nous avons exposées dans ce chapitre possèdent des caractéristiques variées que nous avons cherchées à clarifier. Elles sont représentées notamment dans le tableau de synthèse (Tableau 4).



Tableau 4 : Tableau de synthèse des méthodes d'assistances présentées.

	Outils et méthodes	Type d'approches	Type d'assistance	Enjeux environnementaux
Approche à estimations	Pléiades- COMFIE	Dynamique	Évaluation d'une proposition détaillée	Orientés et quantitatifs
	AcrhiWIZARD ENVEST II			
	Equer	Inventaire	Évaluation d'une proposition détaillée	Globaux et quantitatifs
Approche par suggestion / Approche par estimation	Démarche HQE BDM Ecopass du Vorarlberg	Liste/référentiel	Formulation du problème Évaluation d'une proposition concrétisée	Globaux quantitatifs ou qualitatifs
Approche à suggestion	Eco-Mod	Base de connaissances	Formulation du problème	Globaux
	Le traité d'architecture et d'urbanisme bioclimatique		Émergence d'une solution primaire	
	Mahoney tables	Matrice	Formulation du problème Émergence d'une solution primaire	Orientés
	Ec-Co-Gen	Génération	Émergence d'une solution primaire	Orientés

En dépit du fait que l'assistance à l'écoconception paraisse bien instrumentée et bien diversifiée, l'étude de ces méthodes et outils a fait ressortir une discontinuité. La période préliminaire dans le processus de proposition/validation ne possède pas d'assistance adaptée (Figure 18). Ce défaut s'explique notamment par la caractéristique spécifique de cette phase où les évaluations sont limitées par le manque d'informations disponibles sur le projet ou leur caractère incertain.

Nous avons énoncé dans le chapitre 2.1, l'importance de cette étape dans le processus d'écoconception où les choix définissent à ce moment-là, près de 80 % de l'impact environnemental. Les approches environnementales devraient donc être fortement présentes, lors de cette phase. C'est à cette étape qu'il est possible de modifier la proposition. En effet, une évaluation trop tardive ne permet que de constater les éléments positifs ou négatifs sur l'impact environnemental.

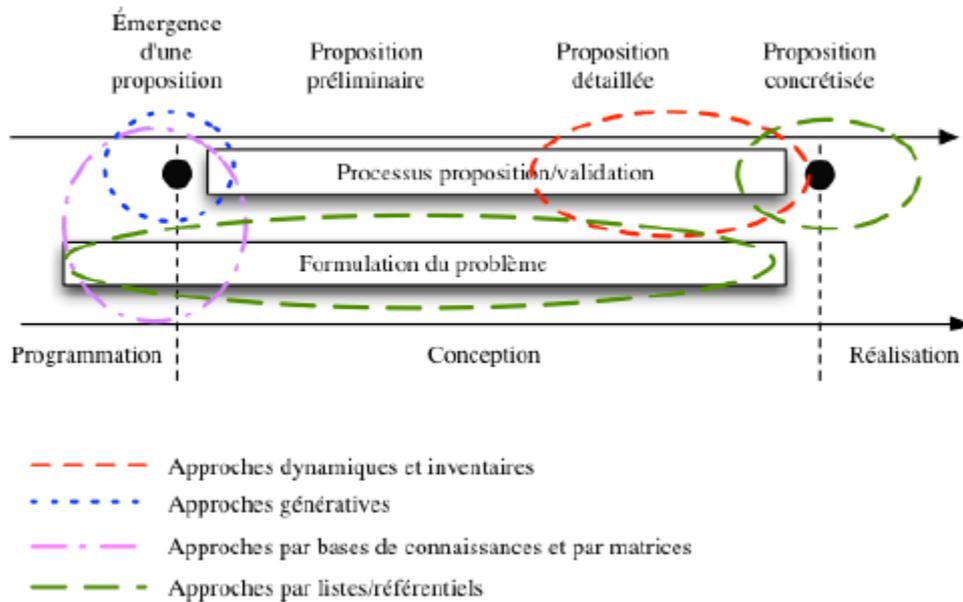


Figure 18 : Schéma de positionnement des assistances dans le processus de conception architecturale. Figure développée dans le cadre de notre recherche.

Le principal risque encouru par ces évaluations tardives est le « rattrapage technique » à défaut de solutions architecturales efficaces. En effet, une estimation dans une phase avancée encourage l'emploi des solutions techniques, plus faciles à mettre en œuvre, surtout en fin de conception. Il paraît donc essentiel de combler ce manque, en proposant une méthode adaptée pour la conception en général, s'adaptant également à cette phase.

Les approches par estimation existantes (dynamiques, inventaires ou liste/référentiels) peuvent-elles être adaptées ? Quelles sont les limites actuelles de ces approches pouvant expliquer les difficultés d'adaptation ?

8. Critique des approches estimatives :

Pour les approches dynamiques et inventaires, bien qu'elles anticipent le futur comportement du bâtiment, et cela avant qu'il ne soit construit, nous avons identifié quelques limites qui semblent importantes pour notre étude, et qui freinent leur utilisation précoce.

Ces méthodes, pour la plupart, sont difficiles à prendre en mains. Elles sont souvent réservées et accessibles qu'aux ingénieurs, mais elles s'orientent peu à peu vers une utilisation par les architectes.

Les interfaces plus visuelles telles qu'Alcyone pour Pleiades+COMFIE ou encore les relations facilitées entre les logiciels de conception architecturale (Eco Designer avec ArhciCAD ou ArchiWIZARD avec Revit et AutoCAD) permettent l'intégration de ces outils dans les agences d'architecture. Cependant, bien que les interfaces soient de plus en plus intuitives, une formation à l'utilisation et à l'interprétation des résultats reste indispensable.

Ces méthodes et leur précision de simulation dépendent, dans la majorité des cas, de la qualité et de la quantité des données renseignées. Certains outils laissent la possibilité d'évaluer sur la base de valeurs par défaut. L'évaluation des performances du bâtiment nécessite le plus souvent de renseigner un ensemble de données relativement ciblées. Les modèles de simulation présents peuvent également limiter la finesse de la simulation. En effet, pour anticiper les comportements des différentes techniques ou matériaux, le comportement de ces derniers doit être modélisé et donc implémenté par le développeur. Les techniques innovantes, nouvelles ou encore inhabituelles peuvent ne pas être considérées par le logiciel.

« Les outils de calcul, destinés, pour certains, à l'aide à la conception des bâtiments, ne sont pas encore totalement adaptés à l'étude des bâtiments à énergie positive. En effet, ces derniers peuvent comporter des équipements ou des techniques constructives relativement nouvelles ou innovantes que les outils de calcul n'ont pas encore intégrés. » p 43 (Thiers, 2008)

L'utilisateur peut avoir des difficultés d'intervention sur le modèle du bâtiment à simuler. Si pour le logiciel Ecotect, le modeleur est intégré et permet donc une intervention facile sur le modèle 3D, ce n'est pas forcément le cas de l'ensemble des approches. Les passerelles entre modules de modeleur et modules de simulation ne sont pas toujours aisées. Une fois la modélisation 3D transférée vers le module de simulation, les modifications formelles restent difficiles.

Les analyses sont centrées sur les impacts quantifiables. Les différents enjeux envisagés dans ces approches (consommation énergétique, acidification, effet de serre, etc.) sont des



impacts mesurables. Les aspects tels que les effets plus locaux souvent difficilement quantifiables (sur le voisinage par exemple) ne sont pas considérés.

L'interprétation des résultats peut être délicate. Les différents impacts environnementaux sont exprimés dans leur unité propre, ils ne sont pas toujours évidents à analyser pour une personne non initiée (Tittlein, 2008). Pour illustrer, si des résultats nous annoncent comme valeur pour l'eutrophisation⁴⁷, 418 kg PO₄ (kilogramme de phosphate), est-ce un résultat convenable pour un projet d'architecture ? Certaines approches tentent de compenser le problème en intégrant des repères, comme des valeurs de projets types, ou encore des « Ecopoints ».

La nécessité de formation et les difficultés de modification du modèle (et donc de comparaison formelle) peuvent rendre l'utilisation de ces logiciels assez lourde. Cette lourdeur tend à limiter le nombre de simulations pouvant être effectuées. De plus, cette difficulté de comparaison et la nécessité de renseigner des éléments détaillés du projet peuvent amener à utiliser ces rares évaluations à la fin de la conception.

Bien que ces méthodes tendent de plus en plus de s'adapter à une conception préliminaire, l'état actuel des outils présents reste axé sur une optimisation orientée dans un domaine précis. Les modèles informatiques de modélisations et de simulations orientent vers une estimation quantitative nécessitant des données relativement précises, de ce fait l'adaptation en phase préliminaire semble délicate.

Les approches par listes/référentiels possèdent un certain nombre de qualités. Elles permettent notamment de fixer des objectifs environnementaux, avant la conception et ainsi, incitent le concepteur et le maître d'ouvrage à les atteindre. Malheureusement, certaines limites perturbent le bon déroulement de ces approches.

La phase de conception est trop peu considérée. Que ce soit pour les méthodes labélisantes ou les assistances à la maîtrise d'ouvrage, nous retrouvons souvent le même schéma de fonctionnement : à la programmation, mise en place d'objectifs à atteindre ; une évaluation en fin de conception ; une évaluation finale en fin de réalisation. Le suivi ne se fait pas pendant chaque phase, mais à la fin de ces dernières.

La contextualisation est trop sectorisée. Ces méthodes ont bien mis en évidence l'importance du contexte du projet qui influence les enjeux environnementaux, en proposant des référentiels adaptés à un domaine d'application. Cependant, une sectorisation trop forte

⁴⁷ L'eutrophisation est la modification d'un milieu naturel aquatique, lors qu'il perçoit trop de matières nutritives. (<http://www.cnrs.fr/cw/dossiers/doseau/decouv/ecosys/eutrophisat.html>)

limite la perméabilité des programmes. Par exemple, dans la méthode « NF-démarche HQE », l'organisme Certivéa est chargé de certifier les bâtiments tertiaires et Cerqual les habitats collectifs. Néanmoins si une opération possède à la fois une partie tertiaire et une partie de logements collectifs, aucune certification ne se sera adaptée à sa situation. Nous soulignons également que certains contextes sont rarement considérés, par exemple le milieu dans lequel s'inscrit le projet (urbain, isolé, village, etc.) qui influe pourtant grandement sur l'importance de certains enjeux environnementaux.

Les certifications sont souvent trop peu exigeantes, comme le souligne Ricciotti :

« [...] il s'agira d'atteindre 30 points au minimum sur 110 au maximum pour obtenir la précieuse certification commerciale, soit 5 cibles au minimum sur 14 : c'est à dire que même un caniche saoul attaché à un arbre avec baillons dans la gueule énoncerait la solution à l'énigme HQE.NF. Finalement, le plus sérieux obtenant plus de points serait de dindon de la farce, car les constructeurs de maisons individuelles auront droit au fameux label commercial HQE.NF sans se casser le cul, avec quelques fenêtres double vitrage, une isolation thermique par l'extérieur et une VMC [...] » p35 (Ricciotti, 2009)

Les méthodes d'aspects souvent simples et intuitives se trouvent parfois très complexes.

Elles sont composées au minimum d'une liste de critères environnementaux et éventuellement de leurs mécanismes d'évaluation. Néanmoins, dans les différentes approches explorées, certains référentiels comportent trois voire quatre niveaux hiérarchiques, accompagnés de procédures parfois contrastées.

Certains critères s'évaluent de manière qualitative, d'autres font appel à des opérations quantitatives ou à des logiciels de simulation.

Le caractère labélisant de nombreuses méthodes entraîne des visualisations de la qualité environnementale pas toujours très détaillées, souvent de l'ordre de la note moyenne. Bien que la vision globale soit utile pour exposer la qualité générale du projet, elle rend délicate l'analyse des points forts et points faibles du projet.

Ces approches semblent plus facilement adaptables aux phases préliminaires, cependant le développement actuel de ces dernières s'oriente vers des évaluations en fin de conception. Un recadrage de ces méthodes vers les phases de conception plus en amont nécessite de repenser certaines limites énoncées plus haut.

Conclusion :

Nous avons vu dans ce chapitre un échantillon d'outils d'assistance environnementale, illustrant notre classification. L'étude de ces derniers nous a conduits à conclure que certaines phases de conception semblent ne bénéficier que de peu d'assistance. En particulier, les phases préliminaires du processus de conception architecturale, qui pourtant paraissent essentielles à l'intégration d'enjeux environnementaux.

Pour tenter de combler ce manque et suggérer une méthode d'assistance englobant l'ensemble du processus de proposition/validation, nous avons identifié les limites pouvant expliquer en partie les difficultés d'intégration. Dans la mesure où les approches par listes/référentiels paraissent plus facilement adaptables, nous proposons le développement d'une méthode appelée Éco-profil qui se fonde sur une telle approche. Au vu des critiques évoquées, nous posons les cinq hypothèses suivantes pour que la méthode Éco-profil s'adapte à l'ensemble du processus de proposition/validation.

Elle doit être globale. Les divers critères d'évaluation qui composent le référentiel doivent englober l'ensemble des enjeux environnementaux lié au monde de la construction, permettant de considérer les interactions multiples qui peuvent exister entre les différents intérêts environnementaux.

Elle doit être adaptée à l'avancement du projet. Le référentiel et l'estimation doivent prendre en compte la qualité et la quantité de données disponibles influant sur la manière d'évaluer les critères environnementaux, et permettant ainsi d'apprécier des critères le plus tôt possible. L'estimation doit pouvoir s'effectuer tout au long du processus, en adéquation avec les données disponibles.

Elle doit être qualitative. La notion d'évaluation qualitative semble indispensable afin de renforcer les deux premiers points, pour considérer l'ensemble des critères environnementaux, même ceux n'étant pas quantifiables, et pour estimer le plus tôt possible les critères, même ceux qui ne seraient pas encore quantifiables.

Elle doit être contextualisée. Nous avons noté, plus haut, l'influence du contexte sur les enjeux environnementaux. La contextualisation doit être souple et permettre des variations et des combinaisons programmatiques afin de s'adapter aux situations propres de chaque projet.

Elle doit posséder une instrumentation visuellement analysable. La visualisation des résultats des estimations environnementales doit permettre l'analyse des points forts et faibles du profil environnemental du projet. Elle ne doit pas posséder uniquement un caractère général, mais elle doit présenter un certain niveau de précision, afin de guider le concepteur.

Conclusion de la partie 1 :

Le premier chapitre a été consacré à la notion de développement durable, nous nous sommes efforcés de montrer la place que cette notion prenait et prend dans le domaine de l'architecture. Bien que la pensée environnementale existe depuis longtemps, elle est à l'heure actuelle au centre de nombreux débats. L'effet des constructions sur l'environnement n'étant plus à démontrer, les concepteurs comme les maîtres d'ouvrage tentent aujourd'hui de l'intégrer. Nous avons également souligné l'importance de la conception architecturale sur les différents impacts environnementaux.

Cette influence nous a conduits à analyser dans le second chapitre, le processus de conception architecturale et d'écoconception afin d'identifier des moments clés pour l'assister. Par l'exploration des méthodes et outils existants d'assistance à l'écoconception, nous avons mis en avant que la phase préliminaire du processus de proposition/validation n'était pas ou que peu assistée. Cependant, elle apparaît comme une étape clé dans le processus de conception pour l'intégration d'une démarche environnementale.

Dans les approches estimatives, les approches dynamiques et les approches inventaires, par leurs caractéristiques complexes et quantitatives, paraissent peu adaptées à cette phase.

Néanmoins, les approches par liste/référentiels se révèlent être une solution plus adaptable.

Ces conclusions nous ont permis de nourrir notre démarche et de proposer une méthode estimative de la qualité environnementale pour assister l'écoconception, qui soit **globale, qualitative, progressive et contextualisée** et qui possède **une instrumentation visuelle analysable**.

Bibliographie :

- GHOLIPOUR (2011)** – *Éco-conception collaborative de bâtiments durables*. Thèse: Génie des systèmes industriels, INPL, NANCY
- LIÉBARD A., DE HERDE A. (2006)** – *Traité d'architecture et d'urbanisme bioclimatiques : Concevoir, édifier et aménager avec le développement durable*, Le Moniteur Editions, 2006.
- ECCOGEN (Web)** – EcCoGen | Eco Conception Générative, Consultable à <http://eccogen.crai.archi.fr>.
- ÉCO.MOD (WEB)** – éco.mod, Consultable à <http://www.crai.archi.fr/eco.mod/eco.mod/N1Accueil.html>.
- SALOMON T., MIKOLASEK R., PEUपोर्टIER B. (2005)** – Outil de simulation thermique du bâtiment, Comfie, *Journée thématique SFT-IBPSA, La Rochelle*.
- PEUपोर्टIER B., THIERS S., OTHERS (2006)** – Des éco-techniques à l'éco-conception des bâtiments.
- THIERS S. (2008)** – Bilans énergétiques et environnementaux de bâtiments à énergie positive, *Renewable energy*, 32, 5, p.p. 845–855.
- IZUBA ÉNERGIES (WEB)** – IZUBA énergies - accueil, Consultable à <http://www.izuba.fr/>.
- PEUपोर्टIER B. (2008)** – *Eco-conception des bâtiments et des quartiers*, Les Presses-Mines Paris.
- UNITED NATIONS. et al. (1971)** – *Climate and house design*, United Nations, 1971.
- ALEXANDER C., ISHIKAWA S., SILVERSTEIN M. (1977)** – *A Pattern Language: Towns, Buildings, Construction*, Oxford University Press, 1977, 1217p.
- TITTELEIN P. (2008)** – Environnements de simulation adaptés à l'étude du comportement énergétique des bâtiments basse consommation. Thèse : Génie Civil et Sciences de l'Habitat, Université de Savoie, 2008.
- RICCIOTTI R. (2009)** – *HQE: Les renards du temple*, Editions Al Dante, 2009, 78p.

PARTIE II : LE CAS D'ETUDE

SIMULATION ET INTERPRETATION DES RESULTATS

Le présent travail a pour objectif l'étude de l'impact des mesures d'efficacité énergétique passives sur les besoins énergétiques thermiques d'un bâtiment résidentiel conditionné par des données météorologique de la ville de Tébessa, pour l'optimiser afin de le rendre le plus performant. Cet objectif exige une méthodologie axée sur les méthodes numériques par la simulation thermique dynamique à l'aide du logiciel de simulation TRNSYS. La simulation se fera sur un bâtiment modélisé et qui servira de cas de base et de référence, pour déterminer l'impact des mesures d'efficacité énergétique passives séparément et ressortir à chaque fois les paramètres des cas optimaux qui seront regroupés pour former le cas optimisé.



Introduction :

Notre but c'est d'évaluer l'évolution des besoins énergétiques en fonction des mesures d'efficacité énergétique choisies, sur un bâtiment conçu sur la base des habitudes constructives et de données géographiques et météorologiques locales.

Le logiciel TRNSYS sera utilisé pour faire les simulations :

La première est la simulation de cas de base, qui intègre les données spécifiques du bâtiment (cas de base) afin de simuler les besoins énergétiques de ce dernier. La deuxième, la simulation du cas optimisé qui consiste à appliquer une-à-une les mesures d'efficacité pour dégager en chaque mesure -suivant l'impact de cette dernière- sur le besoin énergétique du cas de base ; le cas optimisé serait la somme des cas optimaux de chaque mesure.

Méthodologie du travail :

Dans un premier temps on s'intéresse sur les paramètres du bâtiment cas de base, qui est créé selon des paramètres qui reflètent au plus près la réalité de la construction résidentielle en Algérie ; ces paramètres impliquent les dimensions, les différentes zones, les caractéristiques des matériaux qui composent l'enveloppe du bâtiment en plus des coordonnées géographiques.

Le second temps sera l'occasion de développer la méthodologie choisie pour l'étude des besoins énergétiques, ainsi que la pertinence du choix de l'outil de simulation.

En dernier lieu on évoquera les mesures d'efficacité énergétiques passives, qui impliquent des modifications sur la structure du cas de base, ces modifications seront mentionnées pour chaque mesure.

Objectif de l'étude :

L'objectif de la présente étude est d'évaluer l'évolution des besoins énergétiques en fonction des mesures d'efficacité énergétique passives et les conditions de confort thermique, d'un bâtiment de base créé selon des paramètres qui reflètent au plus près la réalité de la construction résidentielle en Algérie.





Dans Le but de Afin d'obtenir la conception architecturale la plus optimale Pour un bâtiment résidentiel. Nous avons choisis comme cas d'étude un logement individuel à la commune de -Tébessa, Le volet pratique de ce travail consiste à baser sur l'usage de l'outil de recherche qui est : la mesure à l'aide d'un logiciel de simulation thermique " TRNSYS " pour effectuer des bilans énergétiques du bâtiment et par suite interpréter les résultats obtenus.

1. Présentation de la région de Tébessa :

À une latitude de 35°24 au nord, une longitude de 08°06 à l'est et une altitude de 867M, la ville de Tébessa est située à l'extrême Est algérien sur les Hauts plateaux.

Délimitations

- Au Nord par la wilaya de Souk-Ahras
- A l'Ouest par les wilayas d'Oum El Bouaghi et Khenchela
- Au Sud par la wilaya d'El- Oued
- A l'Est par la Tunisie.

Ainsi : du côté Nord par la commune de Boulhaf Dyr, au Sud par la commune d'Elma -Labioud, à L'Ouest par la commune de Bir - Mokadem et au Nord -Ouest par la commune de Hammamet.

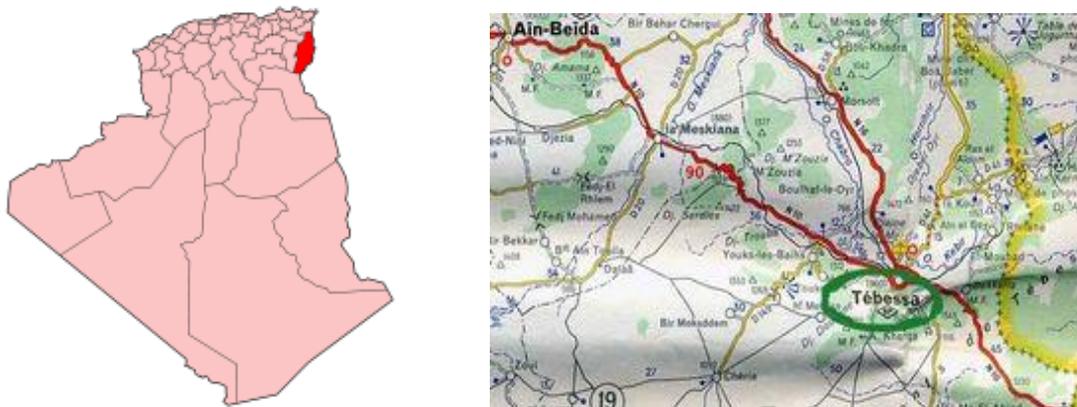


Figure 19 : Situation de la ville de Tébessa





1.1. le climat de la ville de Tébessa :

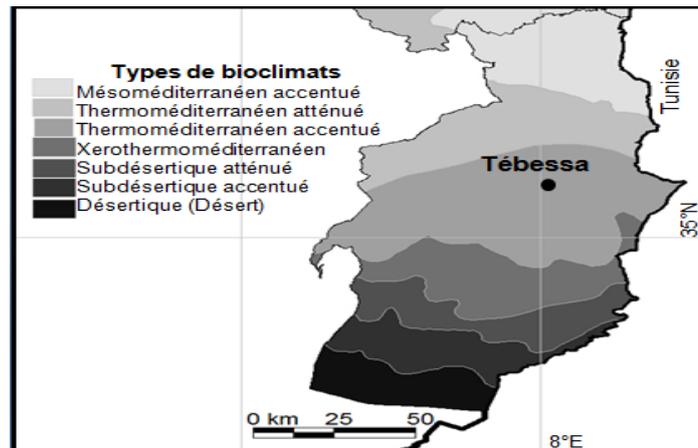


Figure 20 : Type de bioclimat de la ville de Tébessa

Source : station météorologique de la ville de Tébessa

Cette région étant une zone de transition météorologique, est considérée comme une zone agropastorale avec une présence d'un nombre important de phénomène : (pluie, neige, chasse neige, gelée, grêle, crue, et vent violent)

La wilaya de Tébessa se distingue par quatre étages bioclimatiques :

- le sub – humide de (400à 500mm /an) : très peu étendus, il ne couvre que quelques îlots limités « les sommets des reliefs : djebel-serdiés et djebel Bournouane)
- le semi-aride de (300à 400mm /an) : représenté par le sous étage frais et froid, il couvre toute la partie nord de la wilaya.
- Le sub-aride (200 à 300 mm /an) : il couvre les plateaux steppiques :, d'oum ali, saf saf El Ousra thligene et bir EL Ater)
- L'aride ou sub- saharien (inférieur à 200 mm/an): commence et se prolonge au-delà de l'atlas Saharien et couvre les plateaux de negrine et Férken.

La région d'étude se caractérise par un hiver froid et pluvieux neigeux et un été chaud et sec.





1.2. Données climatique de la ville de Tébessa :

1.2. a. Rayonnement solaire et durée d'insolation :

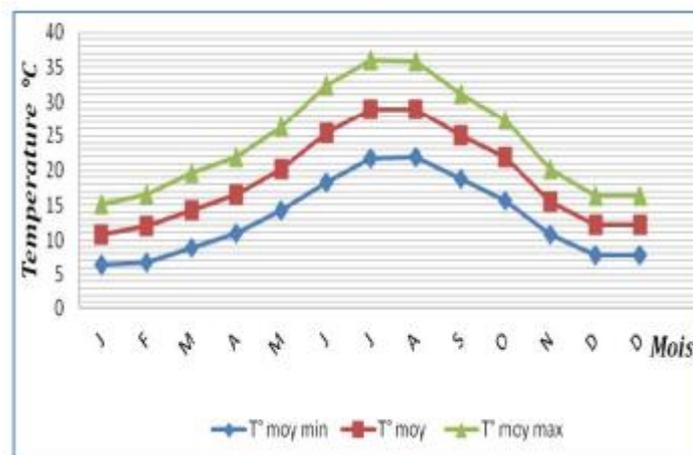
À partir des données climatiques recueillis de la station météorologique de la ville de Tébessa. La durée d'ensoleillement est intense est de l'ordre de 7480wh/m²/jour sur une surface horizontale pendant le mois de juillet. La durée de jour maximale est de 11h5mn le mois ou le ciel est plus clair, reçoit une fraction d'insolation importante de 80%.

En hiver le rayonnement solaire global atteint son maximum en janvier est de l'ordre de 2334Wh/m²/jour avec une durée de 151h/mois (le mois ou le ciel est couvert, une fraction d'insolation de 45%)

Ces valeurs montrent que l'intensité des radiations globale augmente durant la période chaude et sèche et diminue pendant la période froide et humide. L'ensoleillement joue un rôle très important dans la variation de la température.

Ce facteur doit être pris en considération lors de la conception afin d'empêcher d'éventuels problèmes de surchauffes en prévoyant des protections ainsi il représente une source d'énergie gratuite pour un chauffage solaire passif en hiver.

1.2.b. Les températures :



Graphe01 : valeurs des températures moyennes mensuelles

Pour la période 2002-2012

Source : station météorologique de la ville de Tébessa





L'interprétation des données climatiques de Tébessa montre qu'on peut distinguer d'après le (tableau ...) et le (graphe ...) que la courbe des températures moyennes mensuelles évolue d'une manière régulière et que la température moyenne annuelle est de 16°C. La température moyenne minimale est de 7.2°C en janvier, le mois le plus froid.

Les amplitudes ne sont pas trop contrastées, par contre l'amplitude annuelle est de 19.3°C, ce qui distingue les deux périodes qui forment l'année.

- Une période chaude s'étend depuis juin jusqu'au septembre où les températures moyennes varient entre 39°C et 42°C. Toutefois les températures les plus élevées, sont enregistrées pendant les mois le plus chaud de l'année : Juillet avec une température moyenne de 27.4°C et août avec une température moyenne de 28.3 °C et maximale de 41.7 °C

Ces températures élevées sont dues à son éloignement des surfaces maritimes.

- Une deuxième saison froide s'étend d'octobre jusqu'au mars où les températures moyennes sont comprises entre 19.1°C et 8.7°C, et une température qui peut atteindre un minimum en janvier de -3.8°C.

Mois/année 2014	jan	fév	mars	avr	mai	jui	juil	aou	sept	oct	nov	dec
Total précipitation	38.7	48.4	27.9	2.3	19.9	29.0	22.5	8.7	49.3	7.1	43.2	49.5
Moy mens T°	7.8	8.9	8.7	15.2	19.0	23.6	27.4	28.3	24.6	19.1	14.0	7.9
T° Max	20.5	23.6	21.7	29.2	35.3	38.2	41.6	41.7	38.7	34.8	27.6	17.6
T°Min	-3.8	-2.6	-1.3	2.0	2.5	7.0	13.9	14.6	13.3	3.5	3.6	-2.8
Moy mens Humidité	69.5	69.9	74.8	55.1	55.6	51.3	44.4	46.0	56.0	58.4	63.2	75.0
Vent max mens	30/22	22/25	32/25	22/25	24/24	02/29	34/27	32/23	30/36	20/25	20/25	30/22
Vent moy mens	3.5	3.5	4.9	4.2	4.2	3.5	3.7	2.8	2.7	2.8	3.1	4.1

Tableau 05 : Données météorologiques de la ville de Tébessa (période de 2013- 2014)

Source : station météorologique de la ville de Tébessa

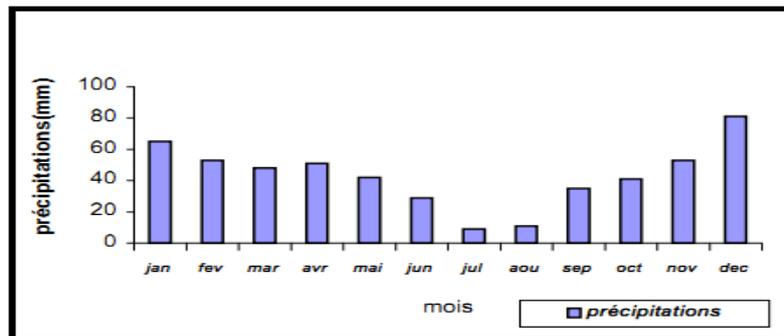




1.2. c. Les précipitations:

Les précipitations sont influencées notamment par les mouvements des vents et les changements des régimes de températures. Elles sont considérées comme un élément déterminant dans la classification des climats.

Les précipitations à Tébessa (Graphe 02) sont marquées par une période courte de sécheresse, durant laquelle les précipitations sont très faibles et tombent sous forme d'orage.



Graphe02 : Précipitation en (mm) période 2013-2014

Source : station météorologique de la ville de Tébessa

1.2. d. L'humidité :

La valeur moyenne de l'humidité dépasse les 45% pour tous les mois de l'année et varie entre un maximum de 75% au mois de décembre et un minimum de 51.3% au mois de juillet (voir tableau...)

Les humidités augmentent ; Ce qui suggère que le climat de la ville de Constantine soit humide et froid en hiver et assez sec et chaud en été.

1.2. e. Le vent:

Cet élément est défini par deux paramètres : Sa vitesse moyenne et Sa direction.

Les vents qui prédominent à Tébessa sont ceux de direction Nord-ouest en période Hivernale avec une moyenne de 3.8 m/s, et de direction sud-est en période estivale Avec une moyenne de 4.5 m/s

<i>direction</i>	<i>N</i>	<i>NE</i>	<i>E</i>	<i>SE</i>	<i>S</i>	<i>SW</i>	<i>W</i>	<i>NW</i>
<i>vitesse</i>	4	5	7	12	7	16	15	34

Tableau 06 : fréquence des vents

Source : SELTZER





On peut utiliser le vent comme moyen de rafraîchissement passif des espaces intérieurs durant la nuit, pendant le jour, il servira à la ventilation naturelle.

1.3. Conclusion de l'analyse climatique :

D'après cette analyse il se révèle que le climat de Tébessa est :

- ✓ Très dure, surtout en été, à cause du rayonnement solaire intense, avec des températures très élevées.
- ✓ Très froid en hiver.
- ✓ Une humidité relative moyenne.
- ✓ Une précipitation assez considérable en hiver et presque rare en été.
- ✓ Un écart de températures diurne très important.

En effet le climat de Tébessa à travers les données est un climat froid en hiver et chaud sec en été.

À partir de l'analyse climatique effectuée, il s'avère essentiel de prendre le climat en considération lors du processus de la conception. Cela veut dire que la variété des climats sur le globe terrestre implique obligatoirement une diversité architecturale, cette dernière doit répondre en premier lieu aux apports thermiques spécifique à chaque zone climatique, ainsi elle peut servir de jalon à déterminer des caractéristiques spécifique architecturale.

2. Présentation du bâtiment cas d'étude :

Nous avons choisis pour cette étude un logement individuel à la commune de -Tébessa-

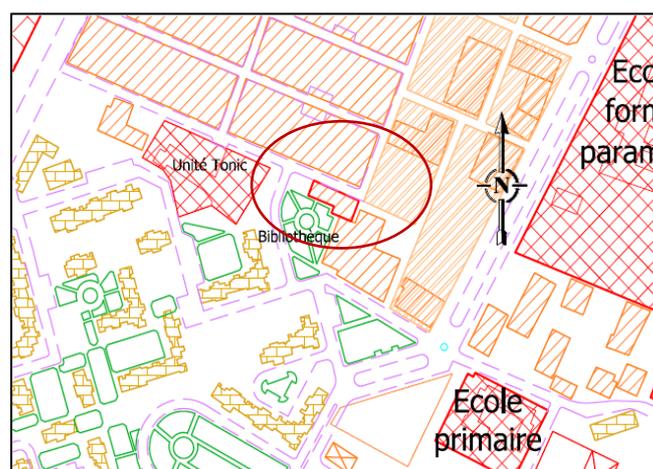


Figure 21 : la situation du bâtiment cas d'étude Source : POS Tébessa





Le bloc est d'une forme géométrique simple **-carré-**, qui représente une forme compacte –monobloc-, les éléments porteurs du projet sont réalisés en système poteaux-poutre et ceci caractérise la majorité des bâtiments résidentiels à Tébessa, et une couverture en toiture terrasse, non isolée elle est simplement recouverte d'une étanchéité et de gravillons .

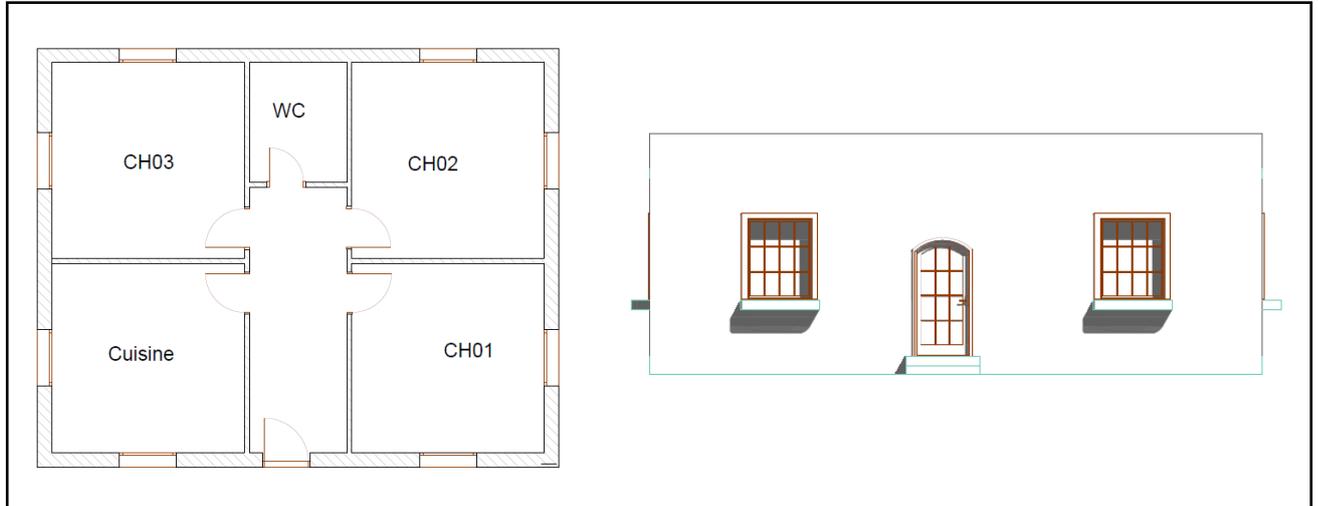


Figure 22 : vue en plan et façade principale du logement. (Source BET)



Figure 23 : modèle 3d du logement. (Source BET)

a. Paramètre du bâtiment (cas de base) :

a.1. Dimensions et zonage du projet :

Le bâtiment a une surface de 80 m^2 , pour un volume de 240 m^3 . L'entrée du bâtiment est orientée vers le nord comme l'indique la figure ci-dessus. Les murs extérieurs non isolés sont en brique creuse d'une épaisseur de 15 cm avec un enduit extérieur en mortier de ciment et l'intérieur en plâtre ; alors que les séparations sont en brique creuse de 10 cm l'enduit est en plâtre sur les deux côtés. Le plancher bas est constitué d'une couche en pierre d'une épaisseur de 20 cm suivie de 10 cm de béton, couvert de carrelage (la sous-chape est en mortier de ciment d'une épaisseur de 2 cm). La toiture est en béton-hourdi d'une épaisseur de 20 cm et une chape





en mortier de ciment et un enduit intérieur en plâtre. Dans notre cas, chaque pièce est modélisée par une seule et unique zone thermique, le tableau présente les caractéristiques de chaque zone.

Tableau 7 : Zones et dimensions du cas de base

	Hauteur	Largeur	Longueur	Surface	Volume
Zones	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)
A1 (CH1)	3	4	4	16	48
A2 (CH2)	3	4	4	16	48
B1 (Couloir)	3	2	4	8	24
B2 (Salle d'eau)	3	2	4	8	24
C1 (Cuisine)	3	4	4	16	48
C2 (CH3)	3	4	4	16	48
Total				80	240

Les surfaces vitrées sont de 10% de la surface du plancher (ce qui représente environ 6.67 % surface vitrée par façade). Avec des fenêtres à simple vitrage qui ont un coefficient $U=5.74$ $W/(m^2.K)$ et un coefficient $g=0.87$.





a.2. Caractéristiques thermiques des matériaux :

Les caractéristiques thermiques des matériaux utilisés dans le cas de base sont représentées dans le tableau :

Tableau 8 : Caractéristiques thermiques des matériaux

Matériaux	Conductivité thermique ($KJh m K/$)	Chaleur spécifique ($KJkg K/$)	Densité (kg/m ³)	Épaisseur (m)
Brique creuse	1.7	0.79	720	0.15
Brique creuse	1.8	0.79	720	0.10
Enduit extérieur	4.15	1	1700	0.01
Enduit plâtre	1.26	1	1500	0.01
Mortier	4.15	0.84	2000	0.01
Carrelage	6.14	0.7	2300	/
Béton	7.56	0.8	2400	0.1
Pierre	5	1	2000	0.2
Béton Hourdi	4.801	0.65	1300	0.2

b. Méthodologie de l'étude des besoins énergétiques :

L'étude des besoins énergétiques du projet passe par la réalisation de séries de simulations thermiques dynamiques :

- Une simulation **du cas de base**, qui repose sur un modèle de base et de laquelle on déduit la consommation du cas de base.
- Des simulations **du cas optimisé** qui repose sur un modèle du projet exploitant les mesures d'efficacité énergétique et de laquelle on déduit la consommation du cas optimisé.

On distinguera alors deux types de données d'entrée :

- ❖ Les données identiques entre le modèle de base et les modèles du projet. Il s'agit :

De la **volumétrie** (surface, volume, surface des façades...)

Des **données météorologiques**

Et des **schémas d'utilisation** (apports internes et consignes de température...)

Consignes de température : Selon le document technique réglementaire en application en Algérie, les températures de confort pour le chauffage et la climatisation dans les





chambres sont respectivement (21°C , 24°C) et les autres espaces (cuisine, salle d'eau et couloir) sont (18°C , 27°C).

- ❖ Les données qui seront autorisées à évoluer entre le modèle de base et les modèles du projet et qui traduiront ainsi le gain énergétique. Il s'agit :
- ✓ De La **compacité du bâtiment**.
- ✓ De la **répartition des pièces d'intérieures**.
- ✓ Des **types des fenêtres**.
- ✓ Des **surfaces vitrées**.
- ✓ Des **types des matériaux de construction**.
- ✓ De l'**impact de l'isolation**.
- ✓ De La **protection solaire permanente**.

c. Outils de simulation :

c.1. Logiciel de simulation :

Il existe un nombre important de logiciels dédiés à la simulation énergétique. Les logiciels existants diffèrent entre eux par les algorithmes qu'ils utilisent, par leur interface utilisateur et finalement par leurs vocations et leurs domaines d'application.

Le logiciel utilisé dans le cadre de cette présente étude est : **TRNSYS** version **16**.

Présentation du logiciel TRNSYS

TRNSYS est :

- ✓ un programme réalisant des simulations dynamiques
- ✓ un programme basé sur une approche modulaire
- ✓ une méthode pour créer de nouveaux modèles en plus de ceux de la bibliothèque de modèles de systèmes thermiques et de composants auxiliaires (données météo, histogrammes, ...)
- ✓ un solveur pour la résolution de systèmes d'équations

Développeurs :

- ❖ *SOLAR ENERGY LABORATORY* (Code source de TRNSYS, TRNSED),
- ❖ *TRANSOLAR* (Type 56, PREBID = TRNBUILD),
- ❖ *CSTB* (Interface graphique IISiBat) = Simulation Studio.

TRNSYS prend en compte :

- ✓ Les variations horaires :
 - Du taux d'occupation
 - De la puissance de l'éclairage et des équipements divers.





- Des consignes de températures et du fonctionnement du système chauffage et climatisation.
- ✓ Les effets d'inertie thermique
- ✓ Les effets de ventilation naturelle
- ✓ Cent zones thermiques au maximum et les échanges thermiques entre ces zones (par conduction, convection et rayonnement)
- ✓ Couplage avec systèmes : systèmes solaires, mur trombe, serre, production d'électricité...
- ✓ Sorties : + 80 sorties possibles (énergie sensible et latente, échanges radiatifs des fenêtres, stores...)

Modèle d'humidité pour la prise en compte des phénomènes de sorption aux parois (TRNSYS, 2005).

c.2. Les données météorologiques :

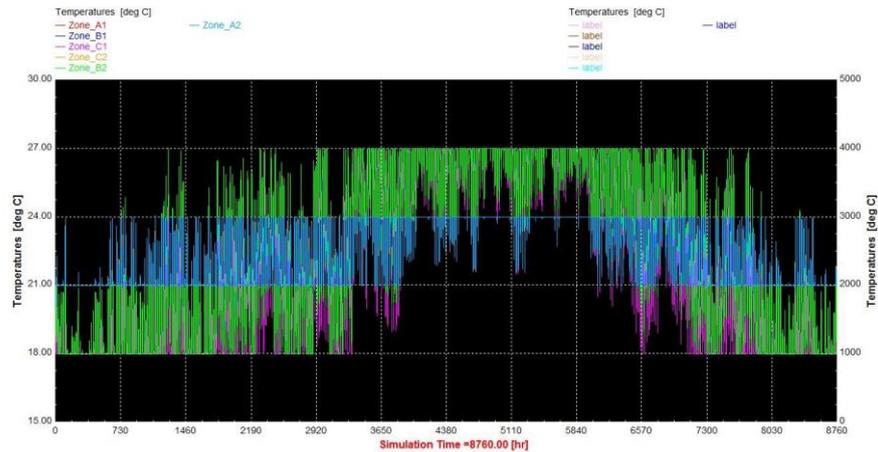
Dans notre cas, les données météorologiques du modèle de base sont identiques en tout point à celles des modèles du projet :

- ✓ La température.
- ✓ L'humidité.
- ✓ La vitesse et direction du vent.
- ✓ Le rayonnement solaire.

d. Etat des lieux des besoins thermiques du cas de base :

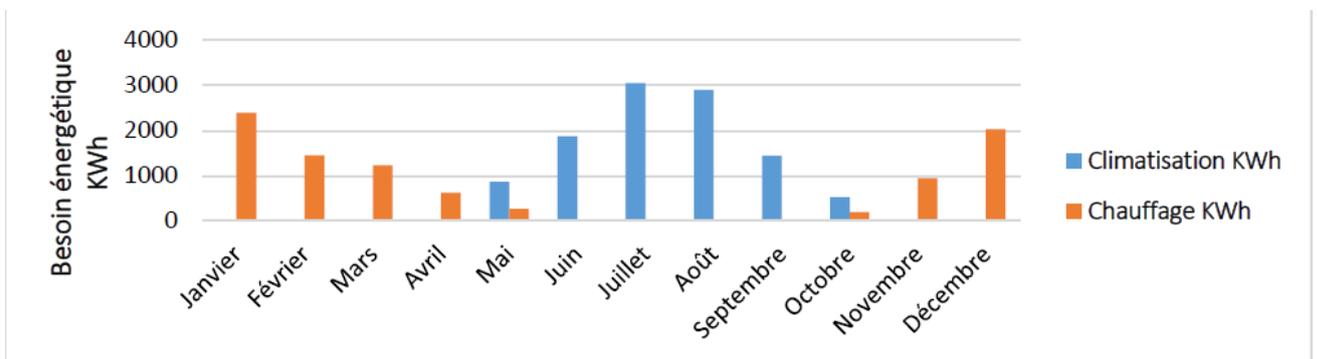
Cette étape consiste à paramétrer le logiciel TRNSYS avec les données caractéristiques du cas de base à l'aide du TRNBUILD (Type 56) ainsi que les données météorologiques de la ville de Tébessa ; on fixe le pas de calcul à une heure pour chaque itération, enfin on simule pour obtenir l'évolution de la température moyenne de l'air à l'intérieur de chaque zone ainsi que les besoins énergétiques de chauffage et de climatisation en énergie utile (*EU*). La figure ci-dessous montre l'évolution de la température.





Graphe03 : Evolution annuelle de la température intérieure (TRNSYS Simulation studio).

Les besoins énergétiques de chauffage et de climatisation en énergie utile (*EU*) du bâtiment (cas de base) se révèlent être de l'ordre de 9180 (*KWh/an*) pour le chauffage et de 11060 (*KWh/an*) pour la climatisation soit un besoin total annuel de 20240 (*KWh*).

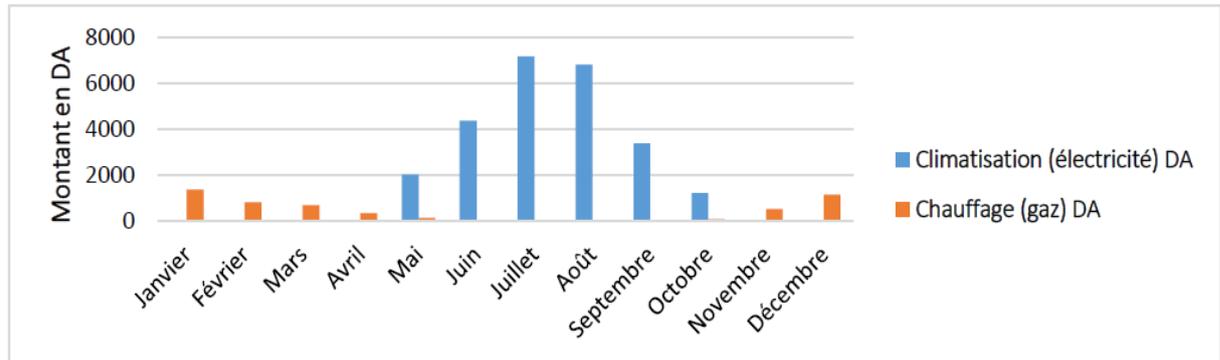


Graphe04 : L'évolution mensuelle des besoins énergétiques. (TRNSYS Simulation studio).

La performance énergétique de notre cas est de l'ordre de 253 *KWhEUm2an'* (on obtient cette performance on divisant le besoin total annuel par la surface du bâtiment 80 *m2*).

On estime la facture énergétique annuelle (Energie finale) selon le prix de la 2eme tranche de l'électricité et du gaz à 31346,00 *DA* soit une moyenne trimestrielle de 7836,50 *DA*, on obtient ce résultat si on considère que le système de climatisation a un *COP=2* et le rendement du système de chauffage est $\eta=0.6$.





Graphe 05 : Montant des factures énergétiques mensuelles (TRNSYS Simulation studio).

e. Les mesures d'efficacité énergétique :

On s'intéressera uniquement aux mesures d'efficacité énergétique passives qui nécessitent ni une assistance énergétique ni une intervention des occupants, ces mesures concernent l'enveloppe du bâtiment et visent à rendre le cas de base le plus efficace possible. La simulation se fera selon sept scénarios, qui prennent en compte ces paramètres :

- ✓ La compacité du bâtiment.
- ✓ La répartition des pièces d'intérieures.
- ✓ Les types des fenêtres.
- ✓ Les surfaces vitrées.
- ✓ Les types des matériaux de construction.
- ✓ L'impact de l'isolation.
- ✓ La protection solaire permanente.

Dans ce qui suit on présentera la méthode de la mise en œuvre de ces mesures à travers la simulation qui a trait à chaque cas et ainsi dégager le cas optimale qui réunira l'ensemble de l'optimale de chaque cas, chaque mesure implique des modifications par rapport au cas de base du point de vue de chaque scénario.

e.1. La compacité du bâtiment :

La première mesure consiste à simuler et étudier l'impact de la compacité, ainsi nous retiendrons trois formes spécifiques en dégradant la compacité du cas de base comme le montre le tableau ci-dessous.




Tableau 9 Zones et dimensions des formes (Compacité du bâtiment)

Forme 01 (Cas de				Zones	Hauteur	Largeur	Longueur	Surface	Volume
				A1 CH1	3	4	4	16	48
				B1 COULOIR	3	2	4	8	24
				B2 WC	3	2	4	8	24
	A1	B1	C1	C1 CUISINE	3	4	4	16	48
				A2 CH2	3	4	4	16	48
	A2	B2	C2	C2 CH3	3	4	4	16	48
				Somme				80	240
Forme 02				Zones	Hauteur	Largeur	Longueur	Surface	Volume
				A1 CH1	3	4	4	16	48
				B1 Couloir	3	2	4	8	24
				C1 Cuisine	3	4	4	16	48
				B2 WC	3	2	4	8	24
				C2 CH2	3	4	4	16	48
				C3 CH3	3	4	4	16	48
				Somme				80	240
Forme 03				Zones	Hauteur	Largeur	Longueur	Surface	Volume
				A1 CH1	3	4	4	16	48
				B1 COULOIR	3	2	4	8	24
				B2 WC	3	2	4	8	24
				C2 CUISINE	3	4	4	16	48
				C3 CH2	3	4	4	16	48
				D3 CH3	3	4	4	16	48
				Somme				80	240





e.2. La répartition des pièces :

Tableau 10 : Zones et dimensions des formes (Répartition des pièces)

	Zones	Hauteur	Largeur	Longueur	Surface	Volume
Forme 01 (Cas)	A1 CH1	3	4	4	16	48
	B1 COULOIR	3	2	4	8	24
	B2 WC	3	2	4	8	24
	C1 CUISINE	3	4	4	16	48
	A2 CH2	3	4	4	16	48
	C2 CH3	3	4	4	16	48
	Somme				80	240
	Zones	Hauteur	Largeur	Longueur	Surface	Volume
Forme 02	A1 CUISINE	3	4	4	16	48
	B1 COULOIR	3	2	4	8	24
	B2 WC	3	2	4	8	24
	C1 CH1	3	4	4	16	48
	A2 CH2	3	4	4	16	48
	C2 CH3	3	4	4	16	48
	Somme				80	240
	Zones	Hauteur	Largeur	Longueur	Surface	Volume
Forme 03	A1 CH1	3	4	4	16	48
	B1 COULOIR	3	2	4	8	24
	B2 WC	3	2	4	8	24
	C1 CH2	3	4	4	16	48
	A2 CUISINE	3	4	4	16	48
	C2 CH3	3	4	4	16	48
	Somme				80	240
	Zones	Hauteur	Largeur	Longueur	Surface	Volume
Forme 04	A1 CH1	3	4	4	16	48
	B1 COULOIR	3	2	4	8	24
	B2 WC	3	2	4	8	24
	C1 CH3	3	4	4	16	48
	A2 CH2	3	4	4	16	48
	C2 CUISINE	3	4	4	16	48
	Somme				80	240

Notre cas de base se compose de six zones, pour déterminer la meilleure répartition de ces six zones par rapport au besoin énergétique on inter changera la position des zones comme l'indique le tableau et simuler à chaque fois le besoin énergétique annuel.





e.3. Les types de fenêtres :

Tableau 11 : Caractéristiques des fenêtres

Fenêtres	Coefficient de déperdition ($W m^2 K /$)	Coefficient de transmission g (%)	Hauteur (m)	Largeur (m)
Simple vitrage	5.74	87.00	1.00	0.80
Double vitrage	2.95	77.70	1.00	0.80
Triple vitrage	2.00	70.00	1.00	0.80
Double vitrage peu émissif	1.76	59.70	1.00	0.80

Ce cas présent sera l'étude de l'influence du type des fenêtres sur les besoins énergétiques utiles, cela on employant quatre types de fenêtres dont les caractéristiques sont résumées dans le tableau qui suit :

e.4. Les surfaces vitrées :

Ce cas aura comme objet l'étude de la simulation de la proportion de la surface vitrée par rapport aux façades extérieures (de 0% à 90% surface vitrée par façade), pour déterminer le pourcentage optimal de la surface vitrée pour chaque façade. L'opération sera renouvelée pour les quatre types de fenêtres (Simple vitrage, double vitrage, triple vitrage et double vitrage peu émissif).

e.5. Les types des matériaux de construction :

La simulation se fera sur la pertinence du choix des matériaux des façades extérieurs, ainsi nous retiendrons cinq types de matériaux en plus de notre cas de base qui est construit en brique creuse, à savoir le parpaing, le béton, la paille, la pierre, la terre crue ainsi que deux composition : Double murette en briques creuses (15cm et 10cm) avec une lame d'air (5cm) et le mélange terre crue paille. La simulation intègrera deux épaisseurs différentes pour la brique et le parpaing. Le choix des épaisseurs des matériaux est motivé par leurs disponibilités sur le marché algérien sous cette forme, ce qui porte le nombre de cas à dix. Les caractéristiques des matériaux sont décrites dans le tableau suivant :



**Tableau 12 : Caractéristiques thermiques des matériaux**

Matériaux	Conductivité thermique (KJh m K/)	Chaleur spécifique (KJkg K/)	Densité (kg/m3)	Epaisseur (m)
Brique creuse	1.70	0.79	720	0.15
Brique creuse	1.80	0.79	720	0.10
Lame d'air	9.216	1.227	1	0.05
Parpaing	4.007	0.65	1300	0.10
Parpaing	3.79	0.65	1300	0.20
Béton	7.56	0.80	2400	0.1
Paille	0,252	1.70	100	0.45
Terre crue	0.72	1.00	750	0.45
Terre crue-paille	0.603	1.17	580	0.45
Pierre	5.00	1.00	2000	0.45

e.6. L'impact de l'isolation :

L'impact de l'isolation sera au cœur de cette simulation en effet nous avons opté uniquement pour le polystyrène expansé comme isolant pour les matériaux conventionnels dont les caractéristiques thermiques sont :

$\lambda=0.141(KJh m K/)$, $C=1.38 (KJkg K/)$ et $d=25 (kg/m3)$.

L'isolant sera utilisé selon plusieurs épaisseurs qui varient entre 1 cm et 10 cm, pour les façades extérieures, la toiture et le plancher bas ; afin de déterminer à la fois la partie qu'il faut isoler en priorité et l'épaisseur de l'isolant qui garantit un besoin énergétique optimal.

Pour les cas dont les murs extérieur sont en matériaux « naturelles », la toiture sera doté d'une isolation avec de la paille (une demi botte d'épaisseur 22,5cm), les caractéristiques thermiques de la paille sont les même que ceux définit dans le tableau 12.





e.7. La protection solaire permanente :

L'objectif sera de déterminer l'opportunité d'une protection solaire permanente comme mesure passive d'efficacité énergétique sur le cas de base avec fenêtres simple vitrage ; en modifiant la dimension de la protection solaire (d et s) en fonction de la hauteur de la fenêtre comme le montre la figure.

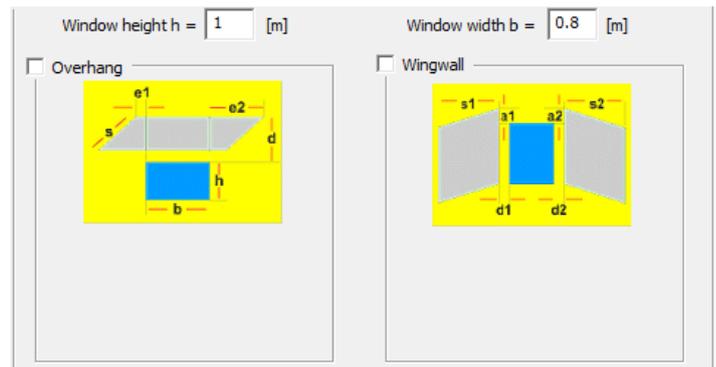


Figure 24 : Dimensions de la protection solaire (trnsys)

Résultats et discussion :

1. Introduction :

Ce chapitre se focalisera sur la simulation de l'impact des mesures d'efficacité énergétique passives sur les besoins énergétiques du bâtiment de base, L'objectif assigné à ce travail est de faire sortir le modèle qui correspond à un bâtiment le plus efficace possible en tenant compte des mesures précédemment citées. Cet objectif passe par la comparaison de l'influence de chaque mesure passive avec le cas de base pour faire ressortir l'impact de chaque paramètre indépendamment et ainsi éviter l'effet des interactions des paramètres.

L'impact des mesures d'efficacité énergétique sera étudié séparément en se référant au cas de base pour chaque mesure. Après avoir préalablement paramétrer le cas de base et simuler ces besoins énergétiques. Cette démarche permettra de déterminer l'impact de chaque mesure qui sera matérialisé par une évolution du besoin énergétique du nouveau cas, s'en suit la comparaison de l'influence des mesures par rapport à la proportion d'énergie économisée.

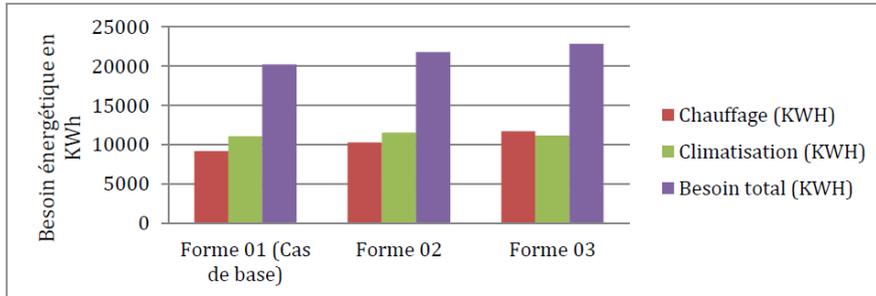




2. Résultats de la simulation :

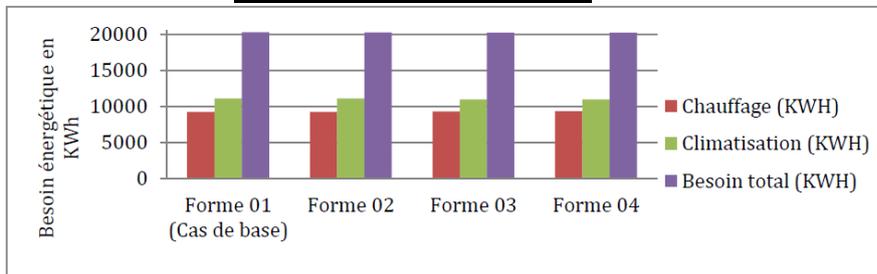
2.1. L'impact des mesures d'efficacités énergétiques passives :

2.1.1 La compacité du bâtiment :



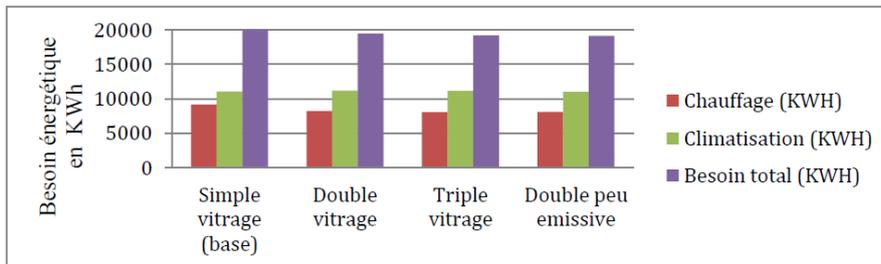
Graphe 06 : Besoin énergétique annuel (Compacité du bâtiment)

2.1.2 La répartition des pièces :



Graphe 07 : Besoin énergétique annuel (répartition des pièces)

2.1.3 Les types de fenêtres :

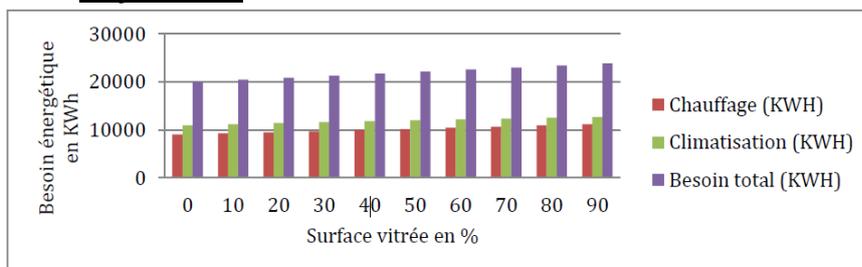


Graphe 08 : Besoin énergétique annuel (Type de fenêtres)

2.1.4 Les surfaces vitrées :

2.1.4.1 Simples vitrages :

Façade Est :

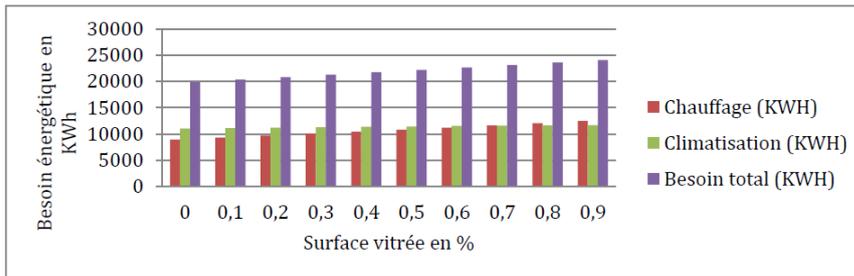


Graphe 09 : Besoin énergétique annuel (Simple vitrage, façade Est)



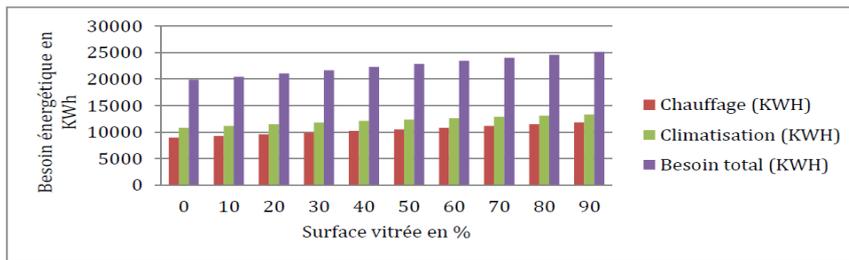


Façade Nord :



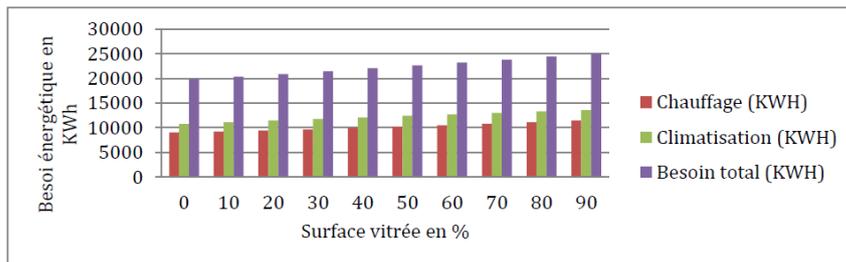
Graphe 10: Besoin énergétique annuel (Simple vitrage, façade Nord)

Façade Ouest :

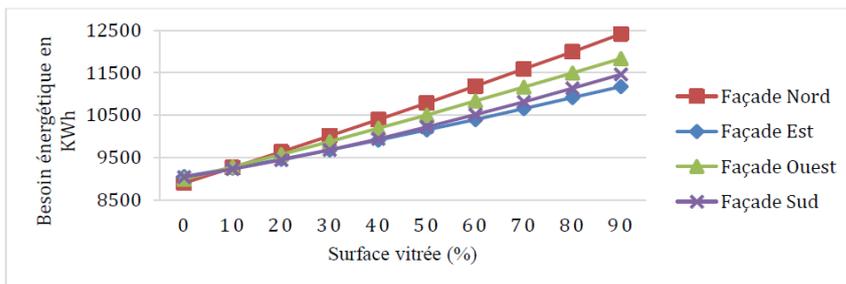


Graphe 11: Besoin énergétique annuel (Simple vitrage, façade Ouest)

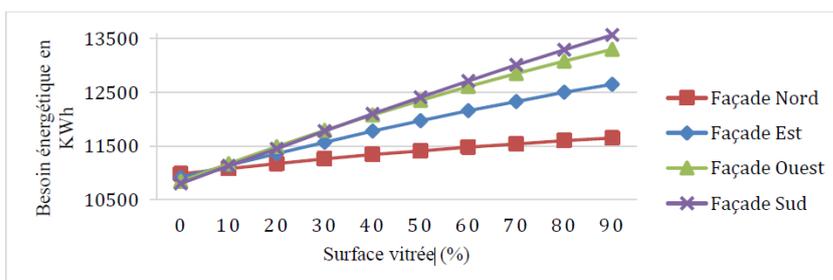
Façade Sud :



Graphe 12: Besoin énergétique annuel (Simple vitrage, façade Sud)

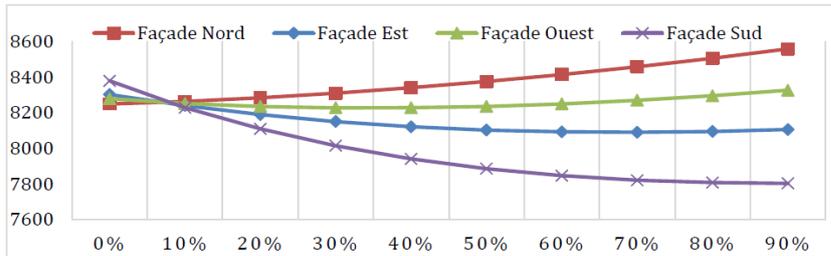


Graphe 13 : Besoin énergétique du chauffage en fonction des surfaces vitrées ; simple vitrage.

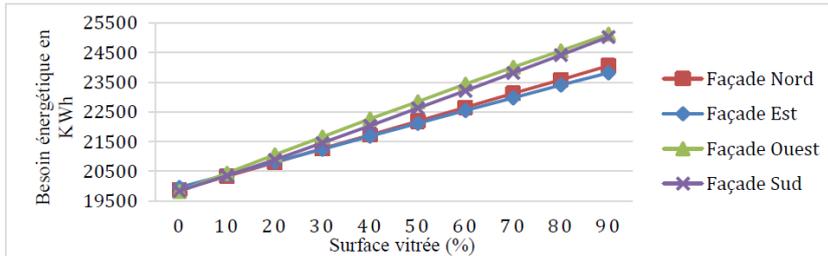


Graphe 14 : Besoin énergétique de la climatisation en fonction des surfaces vitrées ; simple vitrage



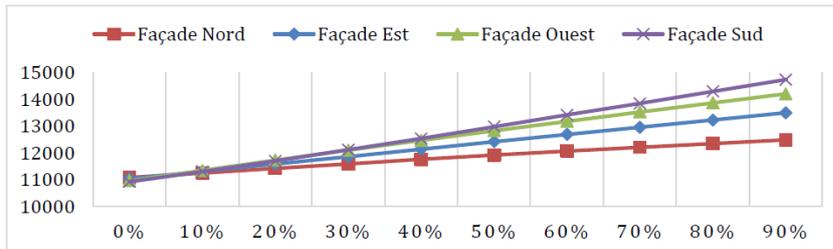


Grappe 15: Besoin énergétique total en fonction des surfaces vitrées simple vitrage

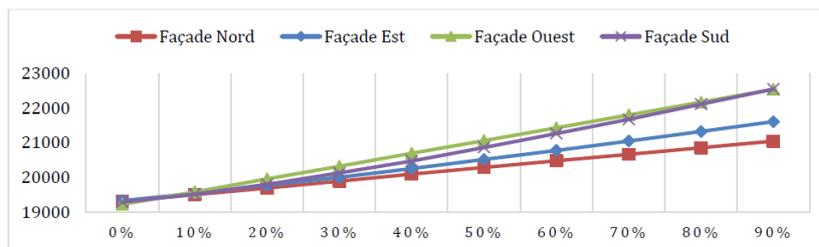


Grappe 16: Besoin énergétique du chauffage en fonction des surfaces vitrées double vitrage

2.1.4.2 Doubles vitrages :

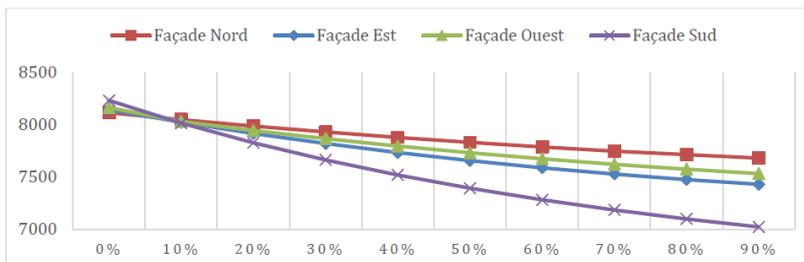


Grappe 17: Besoin énergétique de la climatisation en fonction des surfaces vitrées double vitrage



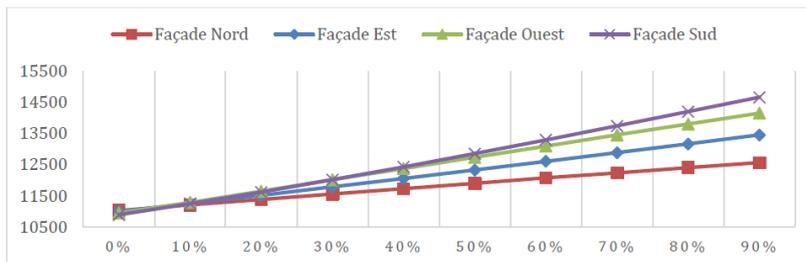
Grappe 18 : Besoin énergétique total en fonction des surfaces vitrées double vitrage

2.1.4.3 Triples vitrages :

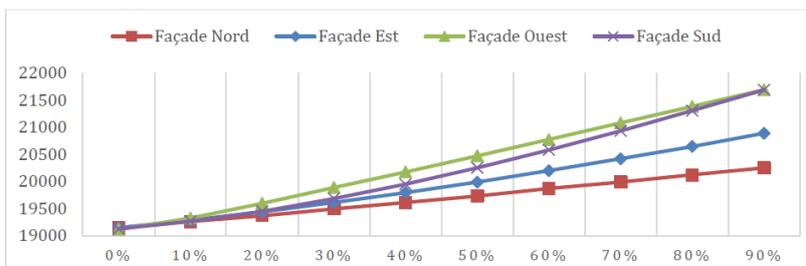


Grappe 19 : Besoin énergétique du chauffage en fonction des surfaces vitrées triple vitrage



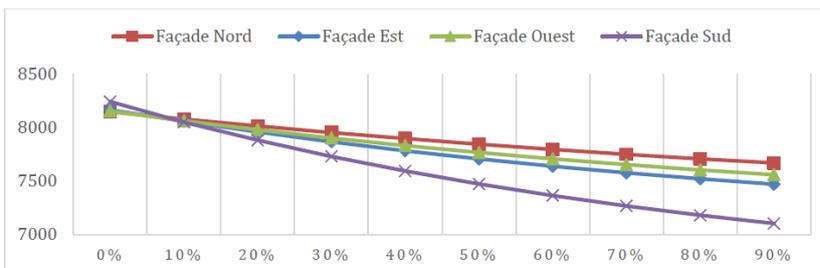


Graphe 20 : Besoin énergétique de la climatisation en fonction des surfaces vitrées triple vitrage

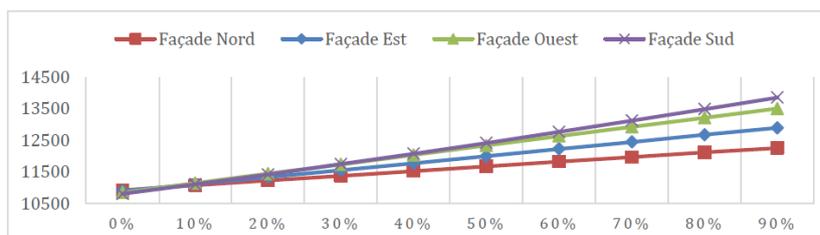


Graphe 21 : Besoin énergétique total en fonction des surfaces vitrées triple vitrage

2.1.4.4 Double vitrage peu émissif :



Graphe 22 : Besoin énergétique du chauffage en fonction des surfaces vitrées double vitrage peu émissif

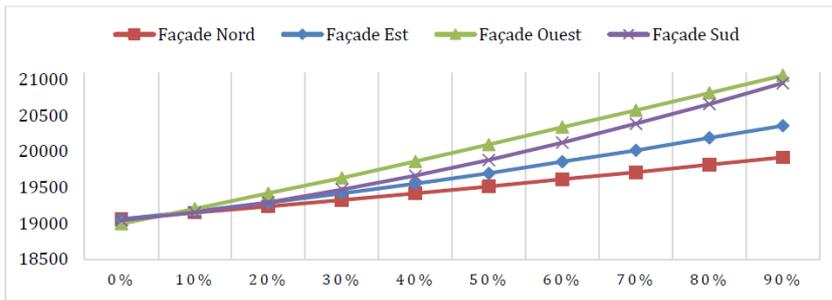


Graphe 23 : Besoin énergétique de la climatisation en fonction des surfaces vitrées double vitrage peu émissif

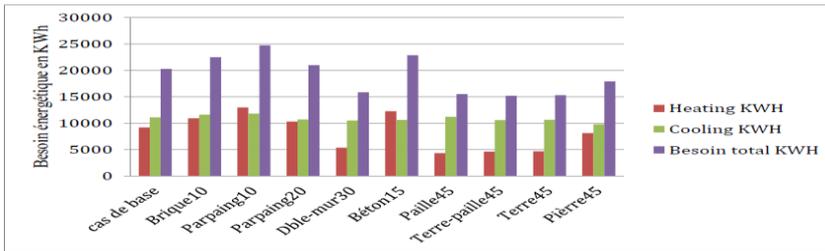




2.1.5 Les types des matériaux de construction :

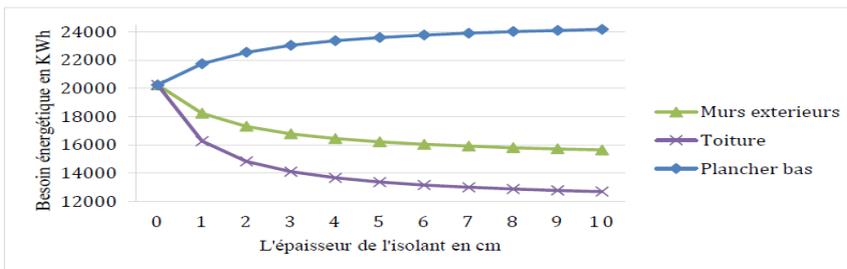


Graphe 24: Besoin énergétique annuel (Types des matériaux)



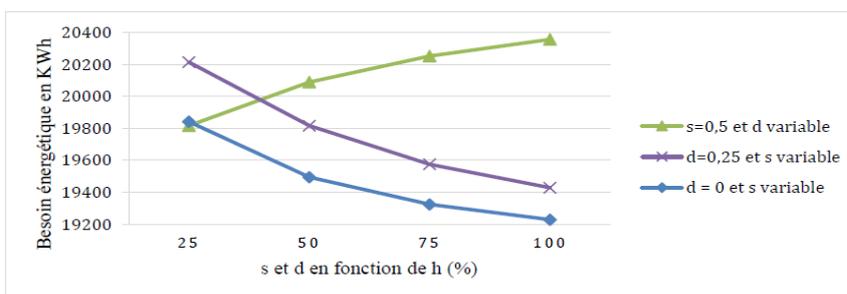
Graphe 25 : Besoin énergétique total en fonction des surfaces vitrées double vitrage peu émissif

2.1.6 L'impact de l'isolation :



Graphe 26 :L'évolution du besoin énergétique annuel (L'impact de l'isolation).

2.1.7 La protection solaire permanente:

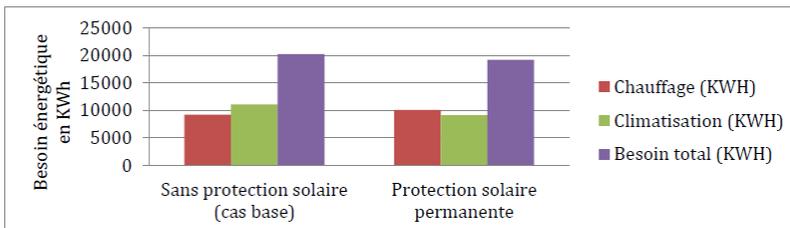


Graphe 27 : Dimensionnement de la protection solaire



**Tableau 13 : Besoin énergétique annuel (Protection solaire permanente)**

Besoin énergétique (KWh)	Sans protection solaire (cas base)	Avec protection solaire
Chauffage	9180	10090
Climatisation	11060	9110
Besoin total	20240	19200
Performance énergétique	253,00	240,00
Energie économisée (%)		5,14

**Graphe 28 : Besoin énergétique annuel (Protection solaire permanente)**

3. Discussions des résultats :

3.1. Analyse des résultats :

La simulation du cas de base a donné un besoin énergétique total annuel de **20240 (KWh)** soit **9180 (KWh)** pour environ sept mois de fonctionnement du chauffage alors que pour plus de cinq mois de climatisation le résultat obtenu est de **11060 (KWh)**. Ce qui donne une performance énergétique pour le bâtiment d'une valeur de **253 KWh_{EU}/m^2an** , cette valeur inclus **114,75 KWh_{EU}/m^2an** uniquement pour le chauffage.

Afin d'atténuer les besoins énergétiques du cas de base nous avons proposé une série de mesure suivie de la simulation de leur impact sur le besoin énergétique du bâtiment.

3.1.1. Compacité du bâtiment :

Les résultats pour la première mesure en occurrence la compacité de l'architecture montrent que la performance énergétique se détériore au fur et à mesure que la surface des façades extérieures augmente ainsi une baisse de la performance énergétique pour la **forme 02** de **7,81%** et pour la **forme 03** (encore moins compacte) une baisse de l'ordre de **13%**. La compacité qui souvent n'est pas prise en compte au cours de la conception et même lors des études thermiques alors que l'étude a montré sans ambiguïté le rôle non négligeable de la compacité pour la maîtrise énergétique. La forme du cas de base sera gardée car elle s'est avérée la plus compacte donc la plus efficace.





3.1.2. Répartition des pièces :

Le bâtiment étudié a une répartition plutôt symétrique des zones, en plus le rapport des surfaces vitrées aux surfaces des façades est identique, ce qui a pour résultat une performance énergétique quasi identique en dépit du changement de répartition des pièces ainsi un gain d'énergie total de seulement **0,36%** pour la **forme 03** par rapport au cas de base, mais le gain pour la climatisation est quatre fois plus importants (**1,45%**) par rapport au gain total ;

L'influence de la répartition des pièces sur le besoin énergétique pour notre cas de base a été très limité cela n'interdit nullement que cette mesure sera bénéfique pour une autre conception.

3.1.3. Types de fenêtres :

Les résultats qui accompagnent le changement de type de fenêtre montrent que la qualité du vitrage influe sur le besoin énergétique total du bâtiment ainsi l'utilisation des fenêtres double vitrage peu émissif ont apporté un gain substantiel de **5,46%** alors que le triple vitrage a apporté **4,97%** de gain. En conséquence le gain énergétique n'est pas proportionnel au nombre de vitrage qui constitue la fenêtre mais de la qualité thermique de la fenêtre elle-même, car une fenêtre double vitrage performante a apporté un gain énergétique supérieur à celui obtenu par une fenêtre triple vitrage.

L'utilisation d'une fenêtre qui dispose d'un coefficient U_w trois fois inférieur à celui des fenêtres utilisées dans notre cas de base a apporté un gain modeste par rapport au cout d'investissement ce qui prolonge le temps du retour sur investissement. Cet état rend cette mesure non pas nécessaire mais complémentaire d'une approche globale, cependant la fenêtre double vitrage peu émissif sera retenu comme le cas optimale dans cette étape de simulation.

3.1.4. Les surfaces vitrées :

L'étude de l'impact de la répartition du pourcentage des surfaces vitrées dans chaque façade a pour but l'examen du gain énergétique en chauffage grâce aux apports solaire.

La première simulation a gardé les fenêtres à simple vitrage du cas de base qui disposent d'un grand coefficient de déperdition (**5.74 W/(m².K)**) qui a conduit à rendre la simulation des besoins énergétiques insensible aux gains énergétiques en modifiant la proportion des surfaces vitrées, pour toute les façades y compris la façade Sud.

Les fenêtres doubles vitrages ont été au centre de la deuxième simulation, concluant qu'il faut absolument éviter de disposer des fenêtres dans la façade Nord sous peine de voir ses besoins énergétiques exposés simultanément avec l'accroissement de la surface vitrée. Pour les autres façades un gain énergétique pour le chauffage est enregistré proportionnellement à





l'augmentation des surfaces vitrées toutefois la façade sud, le gain est plus important et se stabilise au-delà de la moitié de la surface de la façade, par contre pour les façades **Est** et **Ouest** le gain augmente lentement pour atteindre le maximum quand la surface vitrée atteint le **1/3** de la façade.

Les deux derniers types de fenêtre (le triple vitrage et le double vitrage peu émissif), ont donné approximativement les mêmes résultats, à savoir un gain pour le chauffage de **23,51%** au maximum pour le triple vitrage et **22,64%** pour le double vitrage peu émissif pour leurs façades Sud, les trois autres façades elles enregistrent un pour cent de gain au moyenne pour dix pour cent de surface vitrée en plus.

La détermination de la proportion des surfaces vitrées pour chaque façade ne peut être défini à ce stade, car l'intégration de la protection solaire qui a pour objectif de baisser le besoin en climatisation et d'augmenter celui du chauffage contrairement à l'augmentation de la surface vitrée, l'intégration de ces deux facteurs produit le cas optimal.

3.1.5. Type des matériaux de construction :

Le choix du type du matériau de construction c'est révélé fondamental dans la détermination du besoin énergétique total, en effet les résultats de la simulation ont montré que lors de l'utilisation de la botte de paille comme matériau de construction le gain énergétique peu atteindre jusqu'à **25,52%**, alors que l'emploi du parpaing peut engendrer une baisse de la performance énergétique de pas moins de **22,13%**. L'intervalle de l'impact du choix des matériaux de construction sur le besoin en énergie utile, peut atteindre jusqu'à **50%**.

Le parpaing (l'un des matériaux les plus utilisés) à une performance énergétique lamentable contrairement à la double murette en brique creuse qui a un gain énergétique de **21,92%**.

Le détail des résultats montre que, le premier résultat doit être nuancé. En effet il faut intégrer d'autres paramètres qu'il faut retenir séparément : les besoins en climatisation et en chauffage. Sachant que l'énergie finale pour la climatisation est beaucoup plus importante, les matériaux qui privilège le rafraichissement passif tout en abaissant le besoin de chauffage sont les plus performants. Cette particularité va être confirmée grâce à l'optimisation finale qui retiendra les matériaux suivants : la botte de paille, le mélange terre crue paille, la double murette en brique et la pierre ; car leurs taux de gain sont proches. D'un autre coté quand certain matériaux minimisent le besoin en chauffage passif les autres favorisent le rafraichissement.





3.1.6. L'impact de l'isolation :

Les résultats ont montré que l'isolation du plancher bas avait un impact négatif sur le gain énergétique total, par contre l'isolation de la toiture et des murs extérieurs ont un impact non négligeable bien que ce soit dans des proportions différentes.

L'isolation des murs extérieurs peut apporter un gain de l'ordre de **22,73%**, mais l'isolation de la toiture dépasse largement celles des murs extérieurs, en plus l'isolation de la toiture permis une baisse du besoin énergétique en chauffage et en climatisation simultanément contrairement à l'isolation des murs extérieurs qui abaisse seulement le besoin en chauffage. Concernant l'épaisseur de l'isolant, on distinguera entre l'isolation des murs extérieurs et celle de la toiture car pour l'isolation des murs extérieurs on constate qu'après une épaisseur de **3cm** la courbe du besoin énergétique en climatisation remonte contrairement à la courbe de l'isolation de la toiture.

3.1.7. La protection solaire permanente :

L'étude de la protection solaire permanente a montré que le besoin énergétique pour le chauffage a augmenté inversement à la climatisation qui a enregistré une baisse de plus de **19%**, pour au final arrivé à un gain énergétique total de plus de **5%**.

Cette étude a intégré uniquement une protection solaire permanente (une avancée architecturale) qui manque d'un appoint pour protéger le vitrage par exemple la protection solaire végétale qui a l'avantage de protéger les surfaces vitrées du rayonnement solaire en été et de favoriser le solaire passif en hiver.

En dépit de ce manque qui s'explique par le souci de garder simplement les mesures complètement passives. Le gain énergétique total occasionné par la protection solaire permanente est proche de celui obtenu grâce au plus performant des fenêtres à savoir la fenêtre à double vitrage peu émissif.

3.2. Le cas optimisé :

Le cas de base a subi les mesures d'efficacité énergétique passives, en premier lieu la compacité et la répartition des pièces, ensuite l'ajout de la protection solaire. Ces trois mesures ont permis un gain énergétique de plus de **5%**, puis l'ajout -au cas de base optimisé avec ces trois mesures- de l'optimisation du type de fenêtre a engendré un gain de plus de **10%**.

Comme cela était prévu la prochaine étape consistait à définir le type du matériau le plus performant, ainsi les matériaux suivants sont retenu : la botte de paille, la pierre et la double murette en brique creuse. Le mélange terre-paille étant exclus car présentant un gain





énergétique moindre au niveau du chauffage et de la climatisation par rapport aux trois autres matériaux.

La simulation du type des matériaux a montré que la paille représente le meilleur gain énergétique total, alors que la pierre présente le meilleur gain énergétique pour la climatisation. Bien que la double murette en brique creuse ne soit pas le meilleur matériau en terme d'optimisation énergétique, elle est retenue encore à ce stade dans l'optique de simuler son impact combiné avec son isolation par l'extérieur avec un isolant conventionnelle, suite à cela la double murette a prouvé une économie énergétique de **30,70%** en dessous de celui de la paille qui s'établit à **31,79%**, mais en ce qui concerne le gain énergétique pour la climatisation elle bénéficie d'un avantage par rapport à la paille.

A ce niveau de l'optimisation, trois matériaux sont à retenir : La botte de paille et la pierre sans isolation par l'extérieur et la double murette avec isolation. Le cas en botte de paille et en pierre ont leurs toitures isolées en paille d'une épaisseur de **22,5cm**. Alors que la toiture du cas en double murette en brique creuse, est isolée avec du polystyrène expansée d'une épaisseur de **10cm**.

Le résultat final donne la double murette en position avec une performance énergétique totale de **107 KWh_{EU}/m^2an** ce qui représente près de **2/3** d'économie d'énergie par rapport au cas de base (**253 KWh_{EU}/m^2an**), mais la botte de paille et la pierre comme matériaux de construction s'en tirent bien car la botte de paille demande un besoin énergétique du chauffage de seulement **29,62 KWh_{EU}/an** ce qui en fait le matériaux idéal si le but est de s'en passer du besoin énergétique du chauffage, alors que la pierre privilégie la diminution du besoin énergétique pour la climatisation jusqu'à près de la moitié (**47,08%**) par rapport au cas de base, ce qui en fait l'unique et la seule mesure qui a permis d'atteindre une telle efficacité.

3.3. Validations des résultats :

Les méthodes de simulation sont très performantes dans les analyses énergétiques de bâtiments, car elles traitent la majorité des paramètres significatifs reliés à la consommation d'énergie. Ainsi plusieurs études numériques ont été réalisées sur l'efficacité énergétique et sur l'optimisation des bâtiments résidentiels. Pour mettre en perspective la présente étude et dégager les points communs et les dissemblances,

La structure du bâtiment est en béton armé et doté d'une enveloppe assez légère en parpaings dans la ville de Constantine. Les mesures simulées sont : l'isolation des murs et la





surface du vitrage et l'emploi des fenêtres double vitrage puis la meilleure orientation des façades.

La simulation du comportement thermique du logement en période froide a montré que l'isolant a permis, à lui seul, de réduire les déperditions de l'ordre de **25%**, la diminution des surfaces des ouvrants dans ce logement a fait économiser **14%** d'énergie, Le double vitrage représente **11%** de gain d'énergie. La réorientation de la façade principale du Nord-Ouest vers le Sud -Est a enregistré un gain de **14%**.

Le ratio de consommation énergétique totale est de **165 kWh/an/m²SU**. Au final, le bâtiment consommera quatre fois moins d'énergie électrique qu'un bâtiment standard avec un ratio énergétique de **17 kWh/an/m²SU**

CONCLUSION :

Le choix de simuler uniquement les mesures d'efficacité énergétique passives c'est au final révélé pertinent, car rien que en isolant la toiture le gain énergétique total obtenu est plus de 1/3 à l'aide d'un isolant conventionnel. Alors que ce résultat peut très bien être obtenu par l'emploi des matériaux naturels respectueux de l'environnement, sans prendre en considération la notion d'énergie grise ni même l'analyse du cycle de vie qui exclurait de fait les matériaux conventionnels. Les mesures d'efficacité énergétique passives ont chacune de leurs côté apporté un gain énergétique mais dans des proportions différentes, c'est ainsi qu'il faut distinguer l'ordre de priorité suivant l'objectif assigné et les moyens financiers consacrés.





Conclusion générale :

Quelle que soit l'application, la simulation thermique dynamique peut être un outil au service du projet et permettant au concepteur d'optimiser des choix techniques dans le but d'atteindre un objectif qui doit être précisément explicité à l'avance. Pour cela, il est important que le calcul puisse être fait dès les phases amont, parfois dès l'esquisse, plus fréquemment en APS (Avant-Projet Sommaire), sachant que plus le calcul sera fait tardivement dans l'étude de conception et moins il va pouvoir avoir d'impact sur la performance du

Pour réussir une simulation thermique dynamique, il faut que la personne en charge du calcul soit au fait du projet, qu'elle soit formée sur l'outil de façon à pouvoir l'utiliser de façon correcte en fonction de la question posée. Il faut aussi que le maître d'ouvrage explique très clairement les conditions d'occupation du bâtiment et valide des hypothèses de fonctionnement. Pour cela, il est important que les hypothèses soient explicitées par un technicien de façon claire et intelligible. De même, les objectifs de la simulation thermique dynamique doivent être précisément définis : il faut bien garder à l'esprit que la simulation thermique dynamique est un outil permettant de répondre à une question posée, en lien avec la qualité technique et énergétique du projet. C'est à cette condition que la simulation thermique dynamique peut-être un outil au service du projet.

Donc 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.





BIBLIOGRAPHIE

Fezzioui, N, et al. 2008. Influence des caractéristiques dynamiques de l'enveloppe d'un bâtiment sur le confort thermique au sud Algérien. *Revue des Energies Renouvelables*. CDER, 2008, Vol. 11, 1.

Foura, S et Zerouala, M.S. 2007. Simulation des paramètres architecturaux du confort d'hiver en Algérie. *Sciences & Technologie D*. 2007, Vol. 1, 26.

Garde, François, et al. 2006. *Réalisation d'un bâtiment à énergie positive à l'île de la réunion. De la phase programme à la conception*. Chambéry : INES, 2006.

Guechhati, R, et al. 2010. Simulation de l'effet de l'isolation thermique des bâtiments: Cas du centre psychopédagogique SAFAA à Oujda. *Revue des Energies Renouvelables*. CDER, 2010, Vol. 13, 2.

Samar , Jaber et Salman, Ajib. 2011. Optimum, technical and energy efficiency design of residential building in Mediterranean region. *Elsevier*. ScienceDirect, 2011, Vol. Energy and Buildings, 43.





LISTE DES TABLEAUX :

Tableau 01 : Tableau 3 de la méthode des tables de Mahoney relative au climat de Paris. Image inspirée des tableaux proposés par C. Mahoney (United Nations. et al. 1971).	37
Tableau 02 : Tableau 4 de la méthode des tables de Mahoney relative au climat de Paris. Image inspirée des tableaux proposés par C. Mahoney (United Nations. et al. 1971).	37
Tableau 03 : Tableau des recommandations de la méthode des tables de Mahoney relative au climat de Paris. Image inspirée des tableaux proposés par C. Mahoney (United Nations. et al. 1971).	38
Tableau 04 : Tableau de synthèse des méthodes d'assistances présentées.	44
Tableau 05 : Données météorologiques de la ville de Tébessa (période de 2013-2014).	57
Tableau 06 : Fréquence des vent.	58
Tableau 07 : Zones et dimensions du cas de base.	61
Tableau 08 : Caractéristiques thermiques des matériaux.	62
Tableau 09 : Zones et dimensions des formes (Compacité du bâtiment).	67
Tableau 10 : Zones et dimensions des formes (Répartition des pièces).	68
Tableau 11 : Caractéristiques des fenêtres.	69
Tableau 12 : Caractéristiques thermiques des matériaux.	70
Tableau 13 : Besoin énergétique annuel (Protection solaire permanente).	77





LISTE DES FIGURES :

Figure 01 : Schéma représentant la démarche d'ajustement progressif du concepteur [Vida Gholipour/Éco-conception collaborative de bâtiments durables/2011]	03
Figure 02 : Les phases et étapes d'un projet de bâtiment - adapté de [ADEME, 2002]	5
Figure 3 : La représentation du processus de conception [Lawson, 2006]	7
Figure 4 : Les évaluations progressives partagent les modifications durant le processus et réduisent le risque des changements tardifs qui sont grands et coûteux [notre recherche]	8
Figure 5 : La phase amont de la conception architecturale du bâtiment dans notre recherche	9
Figure 06 : La caractéristique déterminante de la phase amont de la conception dans le profil environnemental d'un produit nouveau [McAloon et Bey, 2009]	10
Figure 07 : L'importance de la phase amont dans la créativité de la forme architecturale - adapté de [Midler, 1993] pour un exemple de la conception architecturale.	11
Figure 08 : Schématisation des approches dynamiques. développée dans le cadre de notre recherche.	18
Figure 09 : Principe de calcul de l'inventaire général. Inspiré de (Trocmé et Peuportier, 2007).	20
Figure 10 : Classification des assistances à l'éco-conception. Figure développée dans le cadre de notre recherche.	24
Figure 11 : Aperçu du module de saisie graphique Alcyone. (Images récupérées sur (IZUBA énergies, WEB).	29
Figure 12 : Aperçu du module de saisie des données de scénarios Pleiades. (Image récupérée sur (IZUBA énergies, WEB).	30
Figure 13 : Fenêtre de renseignement sur la gestion des déchets d'un projet dans EQUER. (Image issue du logiciel EQUER en mode démonstration).	32
Figure 14 : Fenêtre de présentation des résultats du logiciel EQUER. Image issue du logiciel EQUER en mode démonstration ou du site développeur (IZUBA énergies).	33
Figure 15 : Les 14 cibles de la démarche HQE®.	34
Figure 16 : Exemple de scénario de trois éco-modèles. Image issue de l'outil éco-mod (Éco.mod : WEB)	40
Figure 17 : Gauche : feuillet concernant l'énergie solaire. Milieu : feuillet sur les enjeux d'un climat chaud et sec. Droite : feuillet de l'impact sur l'aérodynamisme de la forme de la toiture. Images issues de (Liébard et De Herde, 2006).	41
Figure 18 : Schéma de positionnement des assistances dans le processus de conception architecturale. Figure développée dans le cadre de notre recherche.	45
Figure 19 : Situation de la ville de Tébessa. Source : POS Tébessa	54
Figure 20 : Type de bioclimat de la ville de Tébessa Source : station météorologique de la ville de Tébessa	55
Figure 21 : la situation du bâtiment cas d'étude Source : POS Tébessa	59
Figure 22 : vue en plan et façade principale du logement. (Source BET)	60
Figure 23 : modèle 3d du logement. (Source BET)	60
Figure 24 : Dimensions de la protection solaire (trnsys)	71





LISTE DES GRAPHES :

Graphe 01 : valeurs des températures moyennes mensuelles Pour la période 2002-2012.	56
Graphe02 : Précipitation en (mm) période 2013-2014.	58
Graphe03 : Evolution annuelle de la température intérieure	65
Graphe04 :L'évolution mensuelle des besoins énergétiques.	65
Graphe 05 : Montant des factures énergétiques mensuelles.	66
Graphe 06 : Besoin énergétique annuel (Compacité du bâtiment)	72
Graphe 07 : Besoin énergétique annuel (répartition des pièces)	72
Graphe 08 : Besoin énergétique annuel (Type de fenêtres)	72
Graphe 09 : Besoin énergétique annuel (Simple vitrage, façade Est)	72
Graphe 10 : Besoin énergétique annuel (Simple vitrage, façade Nord)	73
Graphe 11 : Besoin énergétique annuel (Simple vitrage, façade Ouest)	73
Graphe 12 : Besoin énergétique annuel (Simple vitrage, façade Sud)	73
Graphe 13 : Besoin énergétique du chauffage en fonction des surfaces vitrées ; simple vitrage.	73
Graphe 14 : Besoin énergétique de la climatisation en fonction des surfaces vitrées ; simple vitrage	73
Graphe 15 : Besoin énergétique total en fonction des surfaces vitrées simple vitrage	74
Graphe 16 : Besoin énergétique du chauffage en fonction des surfaces vitrées double vitrage	74
Graphe 17 : Besoin énergétique de la climatisation en fonction des surfaces vitrées double vitrage.	
Graphe 18 : Besoin énergétique total en fonction des surfaces vitrées double vitrage.	74
Graphe 19 : Besoin énergétique du chauffage en fonction des surfaces vitrées triple vitrage.	74
Graphe 20 : Besoin énergétique de la climatisation en fonction des surfaces vitrées triple vitrage.	75
Graphe 21 : Besoin énergétique total en fonction des surfaces vitrées triple vitrage.	75
Graphe 22 : Besoin énergétique du chauffage en fonction des surfaces vitrées double vitrage peu émissif.	75
Graphe 23 : Besoin énergétique de la climatisation en fonction des surfaces vitrées double vitrage peu émissif.	75
Graphe 24 : Besoin énergétique annuel (Types des matériaux).	76
Graphe 25 : Besoin énergétique total en fonction des surfaces vitrées double vitrage peu émissif.	76
Graphe 26 :L'évolution du besoin énergétique annuel (L'impact de l'isolation).	76
Graphe 27 : Dimensionnement de la protection solaire.	76
Graphe 28 : Besoin énergétique annuel (Protection solaire permanente).	77



RESUME :

On construit puis on constate...pourquoi pas le contraire.. . L'accélération des modes de construction rendent cette démarche de plus en plus acceptable .c'est pourquoi des outils ont été développés pour permettre à l'architecte de simuler les résultats de son travail dès la phase de la conception. Disposant des données plus précises sur le comportement probable de son projet, l'architecte corrige alors son esquisse en connaissance de cause. Notre travail c'est de rechercher un outil efficace permet de soutenir, valider et comparer les choix de conception. Pour analyser et prédire le comportement futur d'un bâtiment et avant sa mise en œuvre, Le concepteur possède peu d'informations pour évaluer ou comparer ces choix par rapport à leur impact sur la performance globale du bâtiment C'est pourquoi l'élaboration d'un outil d'aide à la conception, adapté à la phase esquisse, peut être une solution pour répondre aux besoins du concepteur lors de cette phase et pour combler son besoin en informations à propos de ce choix conceptuels.

Mot clé : écoconception architecturale, outil d'aide à la décision, performance du bâtiment. Le comportement probable d'un bâtiment.

ABSTRACT

We build and then we see ... for what not the contrary ... The acceleration of the construction methods make this approach more and more acceptable. This is why tools have been developed to allow the architect to simulate the results of his work at the design stage. Having more precise data on the probable behavior of his project, the architect then corrects his sketch in full knowledge of the facts. Our job is to look for an effective tool to support, validate and compare design choices. To analyze and predict the future behavior of a building and before its implementation, the designer has little information to evaluate or compare these choices with respect to their impact on the overall performance of the building. A design aid tool adapted to the sketch phase can be a solution to meet the needs of the designer during this phase and to fulfill his need for information about this conceptual choice.

Key word: architectural eco-design, decision-making tool, building performance. The likely behavior of a building.