



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique



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

جامعة العربي التبسي – تبسة
كلية العلوم والتكنولوجيا
قسم الهندسة المعمارية

MEMOIRE DE FIN D'ETUDES

Présenté pour l'obtention du **diplôme** de Master **Académique**
En Domaine : Architecture, Urbanisme et Métiers de la ville

Filière : Architecture

Spécialité : Architecture

Thème :

**Les apports de la façade solaire adaptative
sur l'efficacité énergétique du bâtiment.
Cas d'un centre commercial à Tébessa.**

Elaboré par : Bouafane Soumaya

Présenté et soutenu publiquement, devant le jury composé de :

01 : Dr Gherbi Mouhamed

Président

02 : Dr Fezzai Soufiane

Encadreur

03 : Amokrane Radhwane

Co-Encadreur

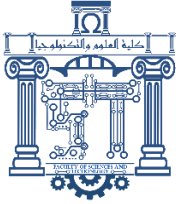
04 : Deghiche Salim

Examineur

05 : Zeghichi Sarra

Examinatrice

Année universitaire : **2020/2021**



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique



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

جامعة العربي التبسي – تبسة
كلية العلوم والتكنولوجيا
قسم الهندسة المعمارية

MEMOIRE DE FIN D'ETUDES

Présenté pour l'obtention du **diplôme** de Master **Académique**
En Domaine : Architecture, Urbanisme et Métiers de la ville

Filière : Architecture

Spécialité : Architecture

Thème :

**Les apports de la façade solaire adaptative
sur l'efficacité énergétique du bâtiment.
Cas d'un centre commercial à Tébessa.**

Elaboré par : Bouafane Soumaya

Présenté et soutenu publiquement, devant le jury composé de :

01 : Dr Gherbi Mouhamed

Président

02 : Dr Fezzai Soufiane

Encadreur

03 : Amokrane Radhwane

Co-Encadreur

04 : Deghiche Salim

Examineur

05 : Zeghichi Sarra

Examinatrice

Année universitaire : **2020/2021**

Remercîment

En premier lieu, je remercie le bon DIEU, le tout puissant, de m'avoir donné la force de pouvoir dépasser toutes les difficultés et qui m'a permis de mener à bien ce travail.
Je tiens aussi à remercier toutes les personnes qui m'ont encouragée durant tout mon cursus et qui ont contribué au succès de ce travail.

Commençant, par ma chère maman Yousfi Zahia , qui a fait preuve qu'elle est une maman en or , forte et exemplaire, et qui est toujours à la disposition de ces enfants , que DIEU la protège.

Je tiens aussi à remercier ma sœur Fatma et mon frère Amor pour leurs soutien et leur encouragement.

Je désire aussi remercier mes deux chères copines qui ont toujours été à mes côtés pour le meilleur, et pour le pire, les rires et les pleurs Bendar Safa et Messai Chahinez , MERCI pour ce joli parcours ,le reste est à venir.

Je voudrais remercier en particulier, mon professeur Le Docteur Fezzai Soufiane et Amokrane Radhwan à qui je resterai toujours reconnaissante pour leurs patience, disponibilité, et surtout leurs judicieux conseils, qui ont contribué à alimenter ma réflexion. C'est grâce à leurs aides et à leurs efforts que ce travail a été réalisé ; MERCI pour tout.

Je remercie spécialement les membres de jury, Dr. Gherbi Mouhamed, Mr. Zeghiche Salim et Mme. Zeghichi Sarra, pour le grand honneur qu'ils me font en acceptant de juger ce travail.

Je tiens à remercier, monsieur Bentaib Rodwan, monsieur Faycel de leur gratitude et leur bienveillance durant toute ces années

Dédicace

Je dédie ce travail à feu mon père Abd Elhamid et en souhaitant qu'il soit fier de moi là où il est.

Sommaire

Remercîment	I
Dédicace	I
Sommaire.....	II
Introduction.....	1
Problématique	2
Chapitre 1 : L'efficacité énergétique et la façade adaptive	
Introduction.....	6
1. L'efficacité énergétique	6
1.1 Définitions	6
1.2 Les paramètres de l'efficacité énergétique	7
1.2.1 Les gains énergétiques	7
1.2.2 Les déperditions énergétiques	8
1.3 Évaluation de l'efficacité énergétique	8
1.3.1 Définition du bilan énergétique d'un bâtiment	8
1.3.2 Méthodes d'évaluations de bilan énergétique	8
1.4 Amélioration de l'efficacité énergétique	9
1.4.1 Efficacité énergétique passive	9
a) Les techniques de l'efficacité énergétique passive :.....	9
1.4.2 Efficacité énergétique active.....	11
a) L'intégration des énergies renouvelables comme technique de l'efficacité énergétique active	12
2. Façade adaptive	13
2.1 Définitions de la façade adaptive	13
2.2 Type de la façade adaptive	13

2.2.1	Façade ventilée à double peau	13
2.2.2	Le Verre rayonnant (chauffant)	14
2.2.3	Façades cinétiques	15
2.2.4	La façade adaptative solaire.....	15
3.	La façade adaptative solaire à cellules photovoltaïques.....	17
3.1	Les composantes de la façade adaptative solaire à cellules photovoltaïques	17
3.1.1	Cellule photovoltaïque.....	18
a)	Les Technologies des cellules photovoltaïques.....	18
b)	Les facteurs jouent sur la production d'un panneau photovoltaïque.....	19
3.1.2	L'actionneur pneumatique	19
3.1.3	Cantilever (le pilier / Porte-à-faux).....	20
3.1.4	Cadre de support et le câble.....	20
3.2	Système de fonctionnement de la façade adaptative solaire à cellules photovoltaïques...	21
3.3	Contrôle de la façade adaptative solaire à cellules photovoltaïques par l'utilisateur ...	21
3.4	L'objectif de la façade adaptative solaire à cellules photovoltaïques.....	21
3.5	Processus de conception de la façade adaptative solaire à cellule photovoltaïque.....	22
4.	Amélioration de l'efficacité énergétique à travers la façade adaptative solaire à cellules photovoltaïques	22
	Conclusion	24

Chapitre 02 : Recherche sur l'équipement (Centre commercial)

	Introduction.....	26
1.	Définitions du centre commercial :	26
2.	Le rôle du centre commercial :.....	26
3.	Classification des centres commerciaux.....	27
4.	Évolution historique du centre commercial.....	27
5.	Organisation spatiale et fonctionnelle d'un centre commercial	28
5.1	Les utilisateurs et les usagers	28

5.2	Classification des fonctions.....	28
5.3	Type des centres commerciaux	29
5.4	Les circuits d'un centre commercial	29
5.5	Type de Circulation dans les centres commerciaux.....	30
5.5.1	La circulation verticale	30
5.5.2	La circulation horizontale	31
5.6	Systèmes de circulation (parcours)	32
6.	Les exigences techniques et conceptuelles des centres commerciaux	34
6.1	Type des magasins :	34
6.2	La grande surface	34
6.3	La circulation verticale.....	35
6.4	Stationnement.....	36
6.5	Stationnement et entrée	37
7.	Analyse des exemples.....	37
	Conclusion :	41

Chapitre 03 : Approche conceptuelle du centre commercial

	Introduction.....	43
1.	Présentation de la wilaya de Tébessa	43
1.1	Situation géographique.....	43
1.2	Etude générale du climat de Tébessa	43
2.	Analyse de terrain.....	45
2.1	Critères de choix du terrain	45
2.2	Situation du terrain	45
2.3	L'environnements immédiat	46
2.4	L'accessibilité du terrain	47
2.5	Le repérage de terrain.....	48
2.6	Surface et morphologie du terrain.....	48

2.7	Relief et topographie du terrain.....	49
2.8	Analyse climatique du terrain :	50
3.	Présentation du programme de centre commercial	51
4.	Objectifs et principes conceptuels	53
5.	Zoning.....	54
6.	Processus conceptuel	55
	Conclusion	56

Chapitre 04 : Amélioration de la conception de la façade adaptative solaire à cellules photovoltaïques

	Introduction.....	58
1.	Recherches précédentes.....	58
2.	Méthodes d'évaluation	61
3.	Présentation du protocole de la simulation.....	62
3.1	Objectif de la simulation	62
3.2	Paramètre de la simulation	62
3.3	Outils de la simulation	62
3.3.1	Logiciel ECOTECT	63
3.3.2	Logiciel PVGIS.....	63
3.3.3	Logiciel Rhinoceros.....	64
a)	Grasshopper.....	64
b)	Ladybug / grasshopper	64
c)	Honeybee / grasshopper	65
3.4	Le protocole de la simulation.....	66
	Conclusion	73

Chapitre 05 : Application et résultats de la simulation

	Introduction.....	75
1.	Les résultats de la simulation et discussion.....	75

2. Les apports de la façade adaptative solaire à cellules photovoltaïques sur l'efficacité énergétique.....	85
2.1 Les besoins énergétiques du bâtiment.....	85
2.1.1 La consommation d'énergie pendant la période de refroidissement (cooling)...	86
2.1.2 La consommation d'énergie pendant la période de chauffage (heating).....	86
2.2 L'estimation de l'énergie annuelle produite par l'enveloppe adaptative.....	88
Conclusion.....	90
Conclusion générale	91
Bibliographies et références.....	94
Liste des tableaux	
Liste des graphes	
Liste des figures	
المخلص	
Résumé	

Introduction générale :

Le monde entier est confronté à une augmentation de la consommation énergétique d'une façon accrue depuis déjà plusieurs décennies, dont des combustibles fossiles tels que le pétrole ; le gaz nature ; charbon...etc. constituent la grande partie d'énergie consommée, d'où l'utilisation massif de ces énergies non renouvelables mènent à l'épuisement de ces réserves et menacent réellement l'environnement à travers la pollution et le réchauffement global de la terre.

Plus d'un tiers des émissions anthropiques de gaz à effet de serre proviennent de l'exploitation des bâtiments (chauffage, refroidissement et électricité), en raison de leur fonctionnement à base de combustibles fossiles la réduction de la consommation énergétique est un enjeu pour le secteur du bâtiment qui absorbe 40% de cette énergie (Lucon et al,2014). L'efficacité énergétique, qui consiste à diminuer cette consommation tout en maintenant la performance des installations, et par l'intégration des nouvelles innovations technologiques en exploitant des énergies renouvelables est une solution de développement durable qui a de l'avenir.

L'Algérie dispose d'un potentiel énergétique très important notamment d'énergies solaires, ou elle lance un programme ambitieux de développement d'énergies renouvelables et d'efficacité énergétique s'appuie sur une stratégie axée par la mise en valeur des ressources inépuisables telle que le soleil et ses emplois pour varier les sources énergétiques et préparer l'Algérie de demain (Ministère de l'énergie et des mines,2021).

Le niveau de la consommation énergétique dans le cycle de vie du bâtiment est lié, en plus de sa configuration et de son enveloppe, aux conditions climatiques, aux systèmes thermiques adoptés, aux exigences de confort, et au comportement des utilisateurs (Manfred et al 2011). Les bâtiments doivent être conçus pour se protéger du climat afin de fonctionner correctement, d'assurer le confort et d'être efficace énergétiquement chaque construction doit être conçue spécifiquement pour son propre climat, avec le besoin minimal de l'énergie.

La façade sert d'interface entre l'espace intérieur et extérieur elle ne peut pas répondre aux exigences fonctionnelles par elle-même, des dispositifs issus des nouvelles innovations technologiques doit être ajoutés au niveau de la façade pour atteindre l'objectif cherché.

Ces innovations ont donné un caractère nouveau et spécial à l'architecture par la capacité de s'adapter à l'environnement. Parmi les plus importantes innovations les façades solaires adaptatives. Elles sont devenues l'un des plus réussis ajouts touchant l'aspect architectural

grâce à son remarquable rôle ou elle s'adapte avec les conditions climatiques afin de produire un maximum d'énergie ce qui permet d'améliorer l'efficacité énergétique des bâtiments.

Cette recherche s'intéresse à étudier les apports de la façade adaptative sur l'efficacité énergétique et comment peut-on l'exploiter dans un climat semi-aride froid comme il est le cas dans la ville de Tébessa à travers la conception d'un centre commercial.

Problématique :

Aujourd'hui l'énergie représente un enjeu économique, social, géographique à l'échelle planétaire. Nos activités basées sur les énergies fossiles telles que la climatisation, le chauffage, la ventilation, etc. représentent plus de 30% des émissions de gaz à effet de serre (Lucon et al,2014). Les énergies renouvelables peuvent être intégrées dans les bâtiments comme une alternative viable pour récolter cette énorme source d'énergie.

Le secteur du bâtiment est directement concerné par la nécessité de limiter la consommation énergétique, ou plusieurs recherches ont prouvé que les centres commerciaux font aujourd'hui des bâtiments les plus consommateurs d'énergie dans sa gestion (machine, éclairage, ascenseur, escalator) (Alice Baroi et al,2018).

L'enveloppe est l'un des éléments essentiels d'un bâtiment qui participe à la réduction la consommation d'énergie, elle n'est plus considérée comme une barrière passive, mais comme une couche adaptative, active et sensible entre les environnements extérieur et intérieur.

L'un des objectifs les plus importants d'une façade de bâtiment est de la faire fonctionner comme un médiateur ou une frontière où une pléthore de technologies avancées peut être intégrée pour la réalisation de divers objectifs. Les façades solaires adaptatives peuvent apporter une contribution significative et viable à la réalisation de ces objectifs.

L'objectif de ces façades adaptatives est de faire face à de multiples exigences telles que l'atténuation des impacts environnementaux, l'économie et la récupération d'énergie, et bien plus encore. Grâce à leurs caractéristiques adaptatives, ces façades visent à améliorer l'efficacité énergétique du bâtiment.

L'Algérie dispose un potentiel riche en matière d'énergie renouvelable notamment l'énergie solaire ou son exploitation reste inconsiderable.

Dans ce contexte et sur cette base, on arrive à poser les questions suivantes :

- Quels sont les apports de la façade adaptive solaire sur l'efficacité énergétique d'un centre commercial ?

Cette question peut être décortiquée en question secondaires :

- C'est quoi une façade adaptive solaire ?
- Quel type de façade adaptive solaire choisir ?
- Comment peut-on utiliser la façade adaptive solaire pour assurer l'efficacité énergétique dans un centre commercial ?

On part de l'hypothèse que la façade adaptive solaire à cellules photovoltaïques peut améliorer l'efficacité énergétique, par la réduction de la consommation énergétique du bâtiment grâce à sa capacité de changer son comportement en temps réel en fonction des paramètres intérieurs et extérieurs ce qui permet de diminuer la demande du chauffage et du climatisation ainsi que produire un maximum d'énergie qui assure les besoins énergétiques du centre commercial. Autrement dit, La façade adaptive solaire à cellules photovoltaïques peut assurer un gain énergétique et une protection grâce à son évolutivité.

L'objectif de cette recherche est :

- Minimiser la consommation d'énergie en intégrant une nouvelle innovation technologique (façade adaptive solaire à cellules photovoltaïques) qui offre une protection et une production d'énergie afin d'assurer les besoins énergétiques du centre commercial.
- Maîtriser la façade adaptive solaire à cellules photovoltaïques et son usage en tant que dispositif conceptuel afin d'assurer l'efficacité énergétique du bâtiment.

Pour aboutir à des réponses objectives aux questions posées au préalable pour bien maîtriser notre sujet de recherche, et avoir le maximum d'informations nécessaires pour le bien traité, nous avons poursuivi la méthodologie suivante :

La première étape c'est la partie théorique qui s'est orientée vers la recherche documentaire et bibliographique récente qui était consacrée à cerner toutes les notions qui convergent vers la compréhension de la technique de la façade adaptive solaire, son principe de fonctionnement, ses paramètres et ses apports sur l'efficacité énergétique ainsi que quelques informations concernant le centre commercial. Elle est suivie par l'approche conceptuelle qui se base sur la

recherche théorique et sur les concepts et les principes retenus ou on va essayer de concevoir une première composition basée sur les aspects fonctionnels, spatiales et environnementaux.

La deuxième étape c'est la partie expérimentale : consiste à créer un modèle de façade adaptive solaire et tester la fiabilité et les apports de ce dispositif en termes d'efficacité énergétique, dans un climat semi-aride froid dans un bâtiment à caractère commercial à l'aide d'un outil de simulation.

Cette recherche est structurée en 05 chapitres qui sont :

Chapitre 01 : consiste d'un aperçu théorique sur les techniques de la façade adaptive solaire et son principe de fonctionnement, ces composantes et comment elle contribue à améliorer l'efficacité énergétique d'un bâtiment.

Chapitre 02 : il s'agit d'un support théorique sur l'équipement (Centre commercial) et une étude des exemples pour déterminer les différentes fonctions à insérer dans le projet souvent et tous les informations architecturales, techniques et normatives qui aide à l'élaboration de la conception du projet.

Chapitre 03 : il va être consacré à la présentation du cas d'étude, l'analyse du terrain, analyse climatique et la présentation du programme du projet, ainsi qu'on va exposer les processus conceptuels d'une première composition basée sur les principes de fonctionnement et la logique conceptuelle des centres commerciaux, selon le terrain et les principes de la conception d'une façade solaire adaptive.

Le chapitre 04 : Dans ce chapitre on va explorer les recherches précédentes afin de comprendre les méthodes et les outils qu'on va utiliser dans ce type de recherche, ainsi on va créer un protocole de la simulation dans le but d'améliorer la conception de départ du projet.

Chapitre 05 : chapitre qui finalisera le travail, vise à analyser et interpréter les résultats de la simulation et l'application de la technologie des façades solaires adaptives dans la conception architecturale du projet.

Chapitre 01 :

L'efficacité énergétique

Et la façade adaptive

Introduction :

La technologie est l'un des éléments qui peuvent être combinés avec l'enveloppe architecturale pour améliorer ces performances énergétiques.

L'efficacité énergétique est un concept majeur dans la conception architecturale vu son importance rôle pour minimiser la consommation de l'énergie, plusieurs paramètres interviennent dans la définition de l'efficacité énergétique, parmi ses paramètres l'enveloppe architecturale et ses composantes.

La façade adaptive est l'une de ces éléments, elle représente l'interface entre l'environnement intérieur et extérieur. Grâce à sa capacité de changer son comportement, elle contrôle les échanges entre l'intérieur et l'extérieur, où elle permet de s'adapter avec les conditions climatologiques afin de produire de l'énergie et d'assurer le confort des utilisateurs.

Ce chapitre s'intéresse à définir les différents paramètres de la façade adaptive et ses apports sur l'efficacité énergétique du bâtiment.

1. L'efficacité énergétique :

1.1 Définitions :

Il existe plusieurs définitions de l'efficacité énergétique parmi lesquelles on distingue :

- L'efficacité énergétique est le rapport entre le service délivré au sens large (performance, produit, énergie, confort, service) et l'énergie qui y a été consacrée (Robillard ,2011).
- L'efficacité énergétique signifie simplement utiliser moins d'énergie pour effectuer la même tâche, c'est-à-dire éliminer le gaspillage d'énergie (Bresette, 2020).
- L'efficacité énergétique se définit comme une consommation en énergie moindre pour le même service rendu (De Béthencourt et al, 2013).

De ces définitions se dégage un point commun, l'efficacité énergétique signifie d'accomplir le même travail par le bâtiment avec l'utilisation de moins d'énergie, ainsi que la technologie des énergies renouvelables contribue à améliorer l'efficacité énergétique par la production de l'énergie selon les besoins énergétiques du bâtiment (Figure1) que ce soit le système de chauffage, la production d'eau chaude sanitaire, la climatisation, l'éclairage et ventilation.

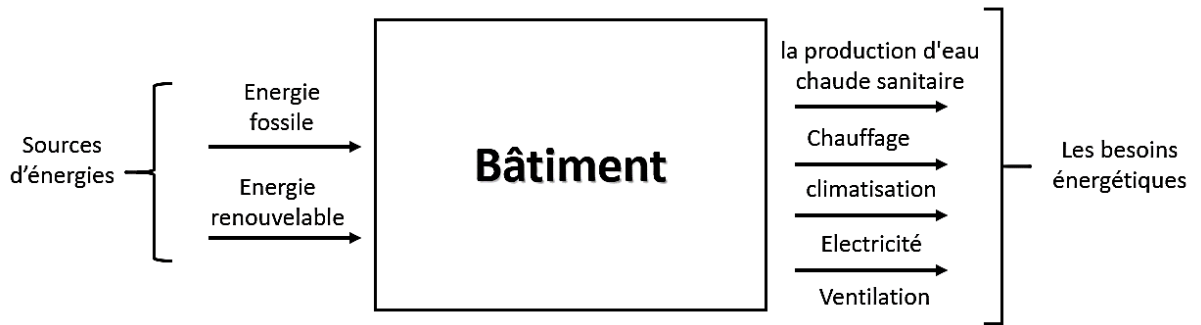


Figure 1: Représentation du fonctionnement d'un bâtiment (besoin énergétique et la consommation)

Source : auteur 2021 d'après (Robillard ,2011) (Institut d'études environnementales et énergétiques,2021).

1.2 Les paramètres de l'efficacité énergétique :

D'après Philippe Nunes (2021), Donaldson (2021), Angioletti et Despretz (2010) Il existe deux paramètres de l'efficacité énergétique sont : les gains énergétiques et les déperditions énergétiques.

1.2.1 Les gains énergétiques :

Les apports énergétiques internes : concerne le chauffage comme une principale source d'apport énergétique ainsi que le métabolisme des utilisateurs et les appareils électriques qui consomme de l'énergie (Figure 2).

Les apports énergétiques externes : concerne le rayonnement solaire comme une source principale de gain énergétique (Figure 2).

Ces gains énergétiques dépendent du type du bâtiment, du nombre des utilisateurs et de son usage. Le confort de l'espace est directement influencé par le taux d'échange de ces gains internes et externes. (Donaldson,2021 ; guide bâtiment durable,2021 ; Angioletti et Despretz 2010).

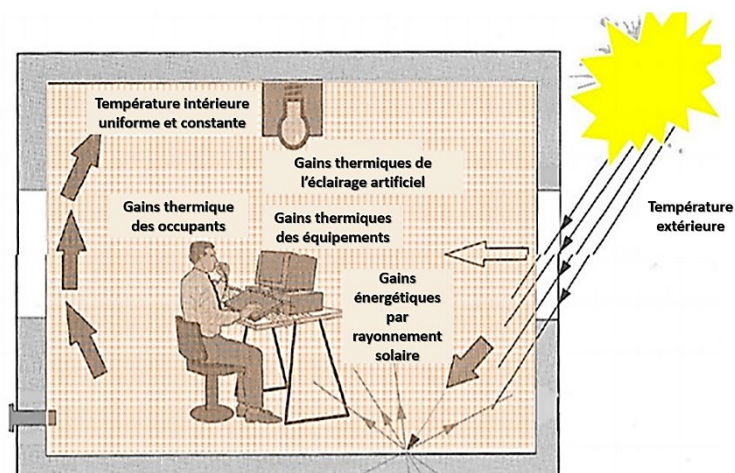


Figure 2: les sources des gains énergétique dans un bâtiment

Source : Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Énergie,2021

1.2.2 Les déperditions énergétiques :

La déperdition énergétique désigne une perte d'énergie causée, le plus souvent, par une isolation insuffisante (Figure 3). Lorsqu'on chauffe le bâtiment, on consomme de l'énergie qui produit par le chauffage afin d'atteindre un certain niveau de confort. Les déperditions énergétiques peuvent avoir un impact important sur la consommation de chauffage et donc sur la consommation totale d'énergie et on peut analyser ces pertes grâce à la thermographie. (Philippe Nunes,2021 ; Souza,2019).

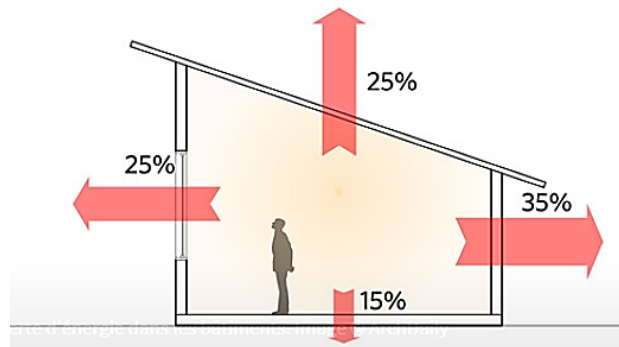


Figure 3: les sources des déperditions énergétiques dans un bâtiment

Source : Eduardo Souza,2019

1.3 Évaluation de l'efficacité énergétique :

On évalue l'efficacité énergétique à travers le bilan énergétique selon plusieurs méthodes :

1.3.1 Définition du bilan énergétique d'un bâtiment :

Il y a plusieurs définitions du bilan énergétique d'un bâtiment parmi lesquelles on distingue :

Le bilan énergétique reflète la consommation énergétique de bâtiment il montre l'efficacité de l'enveloppe du bâtiment et la quantité d'énergie nécessaire pour le faire fonctionner. En d'autres termes, le bilan énergétique est une analyse de la performance énergétique d'un bâtiment, il décrit les quantités d'énergies importées, produites, transformées et consommées dans le bâtiment. Cette étude dépend des besoins énergétiques du bâtiment qui porte sur tous les éléments de construction (Pflugger et al,2020 ; La consommation énergétique,2016 ; Lequeux,2016).

1.3.2 Méthodes d'évaluations de bilan énergétique :

L'évaluation d'un bilan énergétique se base sur l'utilisation des formules mathématiques principale (la production – la consommation) ainsi que sur des méthodes d'évaluation énergétique par exemple ASHRAE en utilisant des outils soit des logiciels de simulation ou des programmes online (Lequeux,2016 ; Garai et Al,2016).

1.4 Amélioration de l'efficacité énergétique :

Les solutions d'efficacité énergétique consistent le plus souvent à économiser l'énergie en augmentant le niveau de service rendu. Elles visent donc à améliorer la performance délivrée avec une moindre consommation d'énergie et l'intégration des énergies renouvelables (Figure4) (Robillard ,2011 ; Gallay,2017).



Figure 4: Représentation de la démarche d'amélioration de l'efficacité énergétique

Source : Auteur, 2021 d'après Robillard ,2011

1.4.1 Efficacité énergétique passive :

L'efficacité énergétique passive vise l'exploitation directe des énergies naturelles, elle concerne le bâti, c'est-à-dire l'enveloppe du bâtiment uniquement et ses équipements. (Gallay,2017)

a) Les techniques de l'efficacité énergétique passive :

Selon Saxton (2020) ; Virgin el All (2016) ; SALOMON (2004) ; Caitlin et al (2013) il existe plusieurs techniques de l'efficacité énergétique passive, parmi ces techniques on distingue : l'orientation de bâtiment / la forme et la compacité de bâtiment / les matériaux de construction/ l'isolation du bâtiment et la distribution des espaces.

- **L'orientation de bâtiment :**

Selon Caitlin et al (2013) ; Yüksek et al (2017) l'orientation des bâtiments est le positionnement d'un bâtiment par rapport aux variations saisonnières de la trajectoire du soleil, elles déterminent les déperditions énergétiques, les apports solaires, l'éclairage, les possibilités de ventilation naturelle, les vues.

Le soleil est recherché en hiver alors qu'on essaye de s'en protéger l'été, les schémas ci-dessous montrent la course suivant la saison :

- En hiver, la course du soleil est limitée (Figure 5) seulement les façades orientées au Sud apportent un complément solaire significatif par rapport aux besoins de chauffage.
- En été, la course du soleil est beaucoup plus longue (Figure 6) et plus haute. Les façades Est et Ouest font l'objet de surchauffe et devront être équipées d'un dispositif de protection.

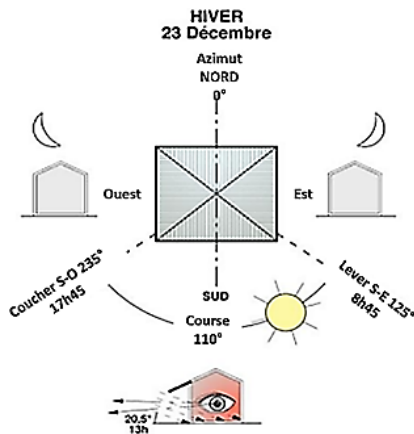


Figure 5: Course du soleil en hiver

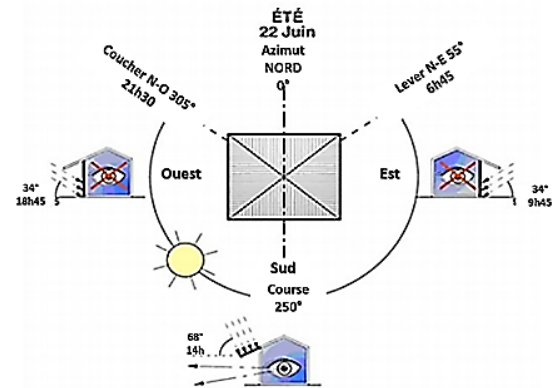


Figure 6: Course du soleil en été

Source : Tekhnê architectes, 2006

Il est préférable d'avoir une orientation Sud / Sud-Est / Sud-Ouest, quand cela est possible, la plus passivement profitable, qui donne le meilleur compromis entre l'apports de chaleur et apports lumineux en toute saison (apports solaires d'hiver facilement maîtrisables l'été). Les expositions Est et Ouest nécessitent des protections solaires en été, difficilement compatibles avec les apports lumineux.

- **La forme et compacité de bâtiment :**

Selon Saxton (2020) ; Virgon et al (2016) ; Geletka et al (2012) la forme et la compacité du bâtiment sont liées directement aux déperditions énergétiques qui sont proportionnelles à la surface d'échange avec l'extérieur.

La compacité se mesure à travers le coefficient de forme (CF) qui est le rapport entre la surface déperditrice (l'enveloppe extérieure de bâtiment) et le volume à chauffé (Figure 7) : ratio S/V . Plus ce coefficient est faible plus le bâtiment sera compacte et plus un bâtiment compacte plus il est performant.

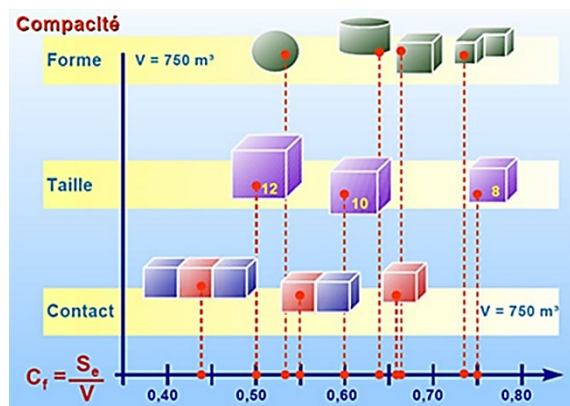


Figure 7: Coefficients de déperditions comparés suivant les surfaces de contact, la taille et la forme de l'enveloppe

Source : ASDER,2021

- **Les matériaux de construction et l'isolation du bâtiment :**

Selon Bouacha(2015) ; Salomon(2004) le Renforcement des niveaux d'isolation réglementaires permette de réduire au maximum les besoins d'énergie et les déperditions énergétiques. Préférer des matériaux à faible impact sur l'environnement et à faible énergie grise. Prendre en considération le confort d'été en contrôlant les apports solaires et les apports internes.

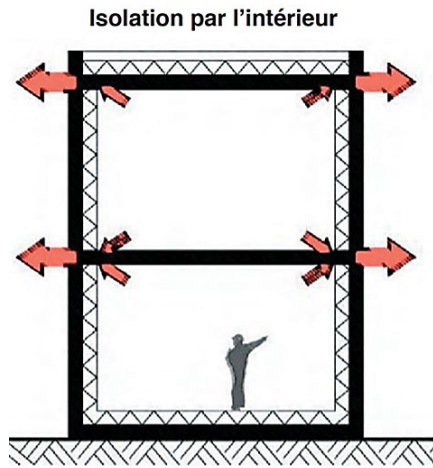


Figure 8: Un bâtiment isolé par l'intérieur

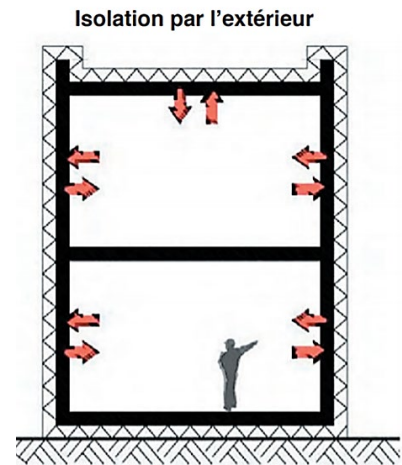


Figure 9: Un bâtiment isolé par l'extérieur

Source : Tekhnê architectes, 2006

Un bâtiment isolé par l'intérieur (Figure 8) présente des ponts thermiques difficile de les traités. En outre, les logements ne bénéficient pas de l'inertie thermique du bâtiment. Par contre dans un bâtiment isolé par l'extérieur (Figure 9) tous les ponts thermiques serrant supprimés. Les logements dans ce cas sont en contact direct avec les parois et profitent de l'inertie thermique.

- **La distribution des espaces :**

L'organisation spatiale est la manière dont les pièces sont réparties, elle permet d'avoir des gains énergétiques et une meilleure conservation de chaleur dans le bâtiment.

- Les espaces peu ou non chauffés sont disposés généralement à l'ouest ou au nord.
- Les pièces occupées en permanence durant la journée devraient de préférence être orientées au Sud pour bénéficier de la lumière et de chaleur et facilite le contrôle d'un ensoleillement maximal en hiver et minimal en été (Salomon,2004).

1.4.2 Efficacité énergétique active :

L'efficacité énergétique active basée sur l'exploitation des énergies naturelles par l'intégration des différentes techniques qui offrent la production de l'énergie, elle se rapporte, à

la régulation, à la gestion de l'énergie et à la gestion technique du bâtiment avec des systèmes intelligents, qui permet d'agir directement sur le comportement du bâtiment (Gallay,2017).

a) L'intégration des énergies renouvelables comme technique de l'efficacité énergétique active :

Le recours aux énergies renouvelables dans une démarche d'amélioration énergétique permet d'obtenir une partie de l'énergie nécessaire au bâtiment (électricité, chauffage, eau chaude sanitaire, climatisation...) de façon renouvelable et donc de diminuer la consommation énergétique. (Robillard ,2011).

Selon Marcheteau (2019) ; Pinon (2021) Gallay(2019) ; Il existe plusieurs formes des énergies renouvelables à intégrer dans le bâtiment comme le montre la figure (10) :

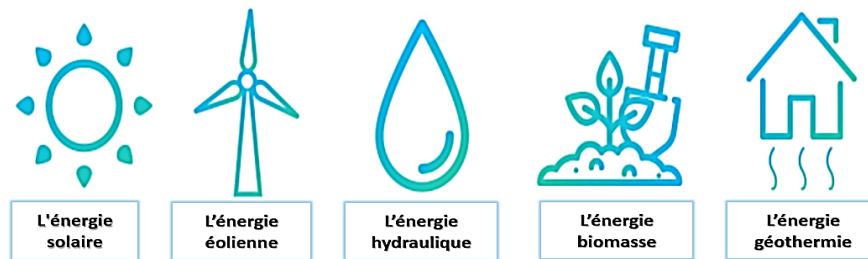


Figure 10: les type des énergie renouvelables

Source : ENGIE, 2021

- L'énergie solaire : l'énergie solaire est l'énergie dont la matière première est le soleil. Elle est gratuite, inépuisable et en plus, disponible dans le monde entier. Synonyme d'écologie, cette source d'énergie est en plus propre, c'est-à-dire qu'elle n'émet aucun gaz à effet de serre. On distingue trois types :

L'énergie solaire photovoltaïque : l'énergie solaire photovoltaïque est obtenue par l'énergie de rayonnement solaire. Autrement dit, les panneaux photovoltaïques, installés recueillent les photons du soleil et les transforment en électricité.

L'énergie solaire thermique : ce type d'énergie est produit à partir de panneaux solaires thermiques installer pour capter la chaleur du soleil. Les panneaux solaires thermiques contiennent des fluides caloporteurs, une fois chauffés par le soleil, ces derniers chauffent à leur tour le ballon d'eau chaude. L'énergie thermique solaire ainsi obtenue peut être employée de différentes façons : chauffage solaire, chauffe-eau, cuisinières...

L'énergie solaire thermodynamique : L'énergie solaire thermodynamique : est produite par des centrales solaires. Cet équipement est composé des miroirs avec des fluides caloporteurs et d'un générateur d'électricité solaire. Tout comme les panneaux solaires thermiques, ces miroirs

transforment l'énergie apportée par le rayonnement solaire en chaleur, mais à une température considérablement plus élevée.

- L'énergie éolienne : l'énergie du vent.
- L'énergie hydraulique : l'énergie de l'eau.
- L'énergie biomasse : l'énergie biologique.
- L'énergie géothermie : l'énergie du sol.

2. Façade adaptive :

2.1 Définitions de la façade adaptive :

Plusieurs chercheurs ont tenté de donner une définition exacte de la façade adaptive, parmi elles on peut citer :

- La façade adaptive est une façade intelligente et dynamique caractérisée par sa capacité d'adaptation et de changement de son comportement en temps réel selon les conditions externes et internes et les besoins des occupants dont l'objectif est d'assurer le confort des utilisateurs et améliorer la performance globale du bâtiment. (ghaffarin, 2017)
- Les façades adaptatives se composent de systèmes multifonctionnels hautement adaptatifs, où le séparateur physique entre l'environnement intérieur et extérieur (c'est-à-dire l'enveloppe du bâtiment) est capable de changer ses fonctions, ses caractéristiques ou son comportement au fil du temps en réponse à des exigences de performance transitoires et aux conditions aux limites, dans le but d'améliorer la performance globale du bâtiment. (Daniel Aeleneia, Laura Aeleneic et al. 2016). De plus, ces enveloppes les systèmes peuvent saisir l'opportunité d'économiser de l'énergie en s'adaptant aux conditions météorologiques du moment et de soutenir les niveaux de confort en répondant immédiatement aux besoins et aux préférences des occupants. (Loonen et al, 2013).

2.2 Type de la façade adaptive :

Selon Heusler (2019) ; Favoino et al (2018) on distingue quatre types de façades adaptatives
Façade ventilée à double peau / le verre rayonnant / façade cinétique / la façade adaptive solaire

2.2.1 Façade ventilée à double peau :

Une façade à double peau est une construction d'enveloppe multicouche, qui se compose de deux couches extérieure et intérieure souvent transparentes, créant un espace tampon (une cavité ventilée,) qui se varie de 20 cm à quelques mètres (Figure 11), elle est

considérée comme une isolation contre les vents, les rayons solaires, les températures extrêmes, le son et la pollution d'air, d'où la stratégie de la ventilation de cette cavité d'air peut être naturel ou mécanique. (Poirazis ,2006 ; Saelens, 2002)



Figure 11: fenêtre ventilé à double peau

Source : pinterest,2021

2.2.2 Le Verre rayonnant (chauffant) :

Le verre rayonnant (VR) est une technologie de la façade adaptative, qui utilise un verre à double vitrage. Il est également connu sous le nom de verre chauffé électriquement. Le verre chauffé électriquement est un type spécial de verre traité sur lequel un revêtement transparent électriquement conducteur a été appliqué. Le courant électrique passe à travers les câbles sur ce revêtement (Figure 12), générant de la chaleur et provoquant le rayonnement de la chaleur par le verre. (Favoino, Loonen et al, 2018)

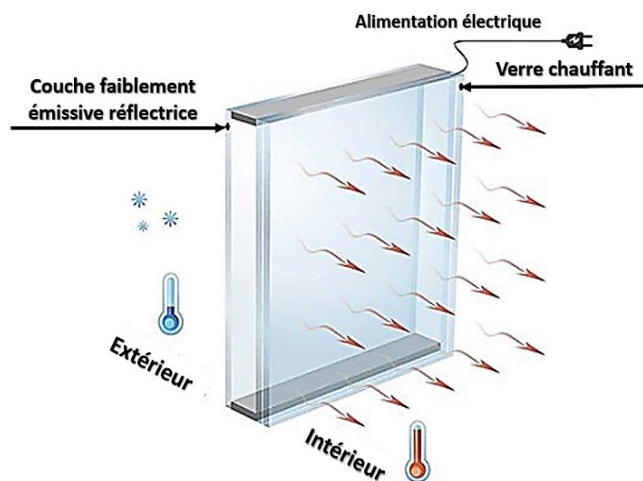


Figure 12: principe de fonctionnement de verre rayonnant

Source : Formator,2021

2.2.3 Façades cinétiques :

Selon (Simmon ,2017), la façade cinétique est considérée comme un moyen qui répond à la fois aux besoins humains et aux conditions environnementales. Elle devient de plus en plus intelligente en permettant de réduire la consommation énergétique d'un bâtiment. Tout simplement, elle est conçue pour accroître l'efficacité énergétique à travers l'adaptation aux conditions climatiques environnantes, en particulier dans les environnements à conditions climatiques extrêmes. La figure (13) montre un exemple de la façade cinétique.



Figure 13: Exemple de la façade cinétique

Source : pinterst,2021

2.2.4 La façade adaptive solaire :

Selon Bonsor (2018) ; Favoino et al (2018) on distingue trois types de façade adaptive solaire : fenêtre convertible / verre électrochrome /façade adaptive solaire à cellules photovoltaïques.

A. Fenêtre convertible :

Les fenêtres convertibles sont des fenêtres intelligentes ont la capacité de moduler l'admission de la lumière du jour et des gains solaires dans les espaces intérieurs. En contrôlant la transmission solaire et la quantité de la lumière, ces fenêtres convertibles visent à améliorer les conditions environnementales intérieures en termes d'aspects de confort visuel et thermique avec sa capacité de produire de chaleur grâce à la lumière qui traverse la fenêtre. Ils ont un film à cristaux liquides entre deux panneaux de verre (Figure 14), et sont transparents lorsque le film est connecté à l'électricité, lorsqu'un interrupteur est actionné, la connexion se brise et il devient opaque (Bonsor,2018).

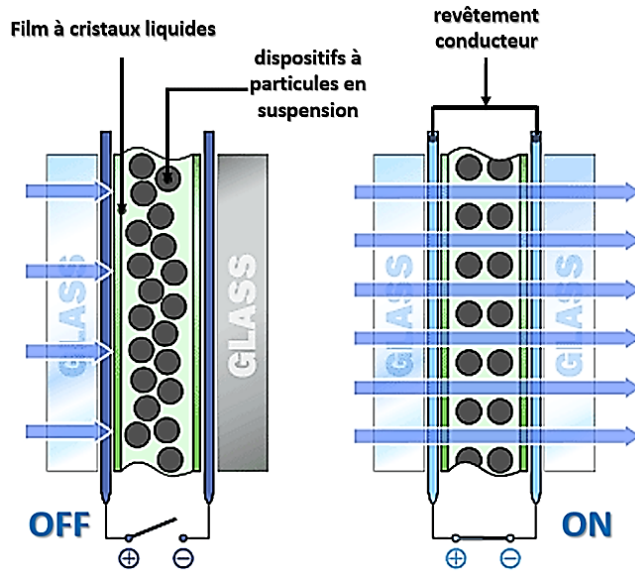


Figure 14: Fonctionnement de fenêtre convertible

Source : KEVIN BONSOR,2018

B. Le verre électrochrome :

Le verre électrochrome est un verre intelligent, qui se teinte automatiquement ou manuellement (Figure15) pour optimiser le confort des occupants. Grâce à un algorithme puissant, il peut s'adapter à l'environnement extérieur pour maximiser la lumière naturelle en intérieur et ainsi maîtriser l'éblouissement et la chaleur. (Halio,2021)



Figure 15: Exemple de l'utilisation du verre electrochrome

Source : Pinterest, 2021

C. La façade adaptive solaire à cellules photovoltaïques :

La façade adaptative solaire à cellules photovoltaïques est une façade dynamique et intelligente dispose des modules photovoltaïques mobiles (Figure 16) pouvant être monté sur une structure légère sur l'enveloppe du bâtiment, réagir aux changements de leur environnement (Svetozarevic et al, 2016).



Figure 16: la façade adaptive solaire a cellules photovoltaïques

Source : Svetozarevic et al, 2016

3. La façade adaptive solaire à cellules photovoltaïques :

Les façades adaptatives solaires à cellules photovoltaïques contiennent divers détails que nous définirons dans ce titre :

3.1 Les composantes de la façade adaptive solaire à cellules photovoltaïques :

La conception de l'ASF comprend quatre éléments clés (Figure17) :

- Panneau photovoltaïque.
- L'actionneur pneumatique.
- Le cantilever.
- Le cadre de support et le réseau de câbles. (Zoltan Nagyn et al, 2016)

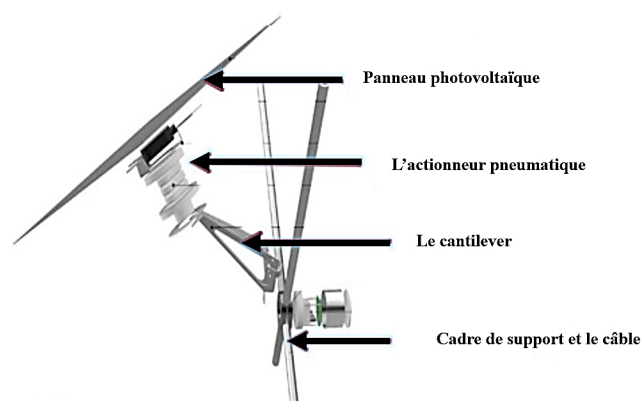


Figure 17: les composantes de la façade adaptive solaire.

Source : (Nagyn, et al. 2016)

3.1.1 Cellule photovoltaïque :

Une cellule photovoltaïque transforme la lumière en électricité, fabriquée à partir de deux couches de matériau semi-conducteur (en général du Silicium), Une couche dopée positivement et une couche dopée négativement, lorsqu'un photon (la lumière) arrive sur la cellule, il provoque une différence de potentiel électrique entre ces deux couches, c'est-à-dire une tension électrique (Figure18). C'est ce qu'on appelle l'effet photovoltaïque (محمد عليوي et al, 2019 ; solaire ,2021).

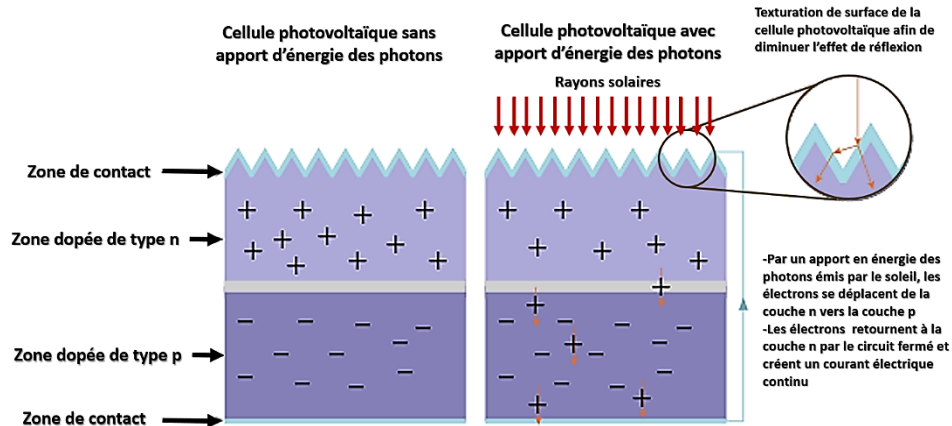





Figure 18: le fonctionnement d'une cellule photovoltaïque

Source : Connaissance des Énergie,2021

a) Les Technologies des cellules photovoltaïques :

Il existe un grand nombre de technologies qui mettent en œuvre l'effet photovoltaïque. Sont encore en phase de recherche et développement, le tableau (1) montre les technologies les plus utilisées :

Tableau 1: les technologies des cellules photovoltaïques (auteur,2021 d'après ecosource,2017)

Type	Panneaux solaires monocristallins	Panneaux solaires polycristallins	Panneau solaire à Couche mince
Efficacité	Rendements de conversion de l'énergie lumineuse en énergie électrique allant de 15% à 20%	Rendements de conversion de l'énergie lumineuse en énergie électrique allant de 13% à 16%	Rendements de conversion de l'énergie lumineuse en énergie électrique allant de 10% à 13%
Apparence			

b) Les facteurs jouent sur la production d'un panneau photovoltaïque :

Selon Gabriele (2021) ; Dualsun (2020) le rendement des panneaux photovoltaïques correspond à la quantité d'électricité produite par rapport à l'énergie solaire reçue elle dépend de plusieurs paramètres :

- Une température ni trop froide, ni trop chaude de 25°

La puissance-crête est donnée pour une température de 25°C. Si la température réelle est très supérieure à cette valeur, il faudra en tenir compte. Les pertes seront alors de 0.4% par degrés pour une cellule mono ou polycristalline (les plus courantes) et de 0.3% par degrés pour les autres technologies.

- Un ensoleillement de 1000 watts par m²

L'ensoleillement est intéressant, car elle permet d'évaluer la production annuelle en tenant compte de l'endroit où la plaque est installée à partir de la puissance crête des panneaux.

- Une bonne orientation du bâtiment.
- Une absence d'ombrage.

3.1.2 L'actionneur pneumatique :

L'actionneur pneumatique souple comme montre la figure (19) est fabriqué à partir des matériaux élastiques, comme le caoutchouc de silicone, l'actionneur contient trois chambres gonflables capables d'orienter une cellule photovoltaïque. (Hofer et al ,2016)

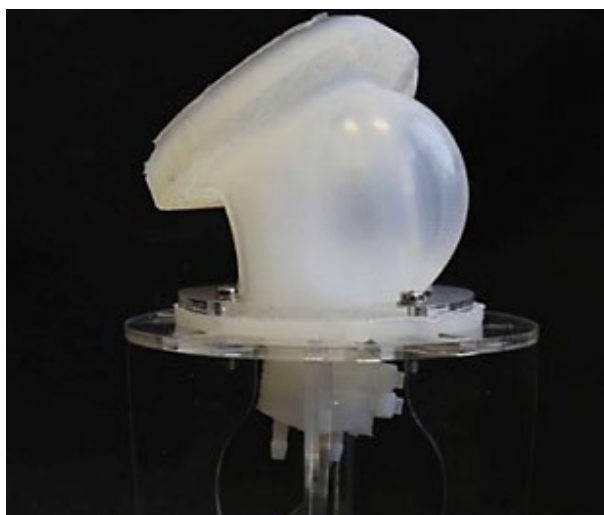


Figure 19: positionnement de l'actionneur

Source : Hofer et al ,2016

3.1.3 Cantilever (le pilier / Porte-à-faux) :

Le décalage fourni par le porte-à-faux permet au panneau photovoltaïque de tourner dans toutes les directions nécessaires sans interférer avec la structure du réseau de câbles. Le porte-à-faux est incliné à 45 ° (Figure 20), car l'actionneur peut réaliser une rotation de + 45 ou de - 45. Cela permet au panneau d'atteindre une position complètement ouverte et complètement fermée (Jayathissa et al,2016).

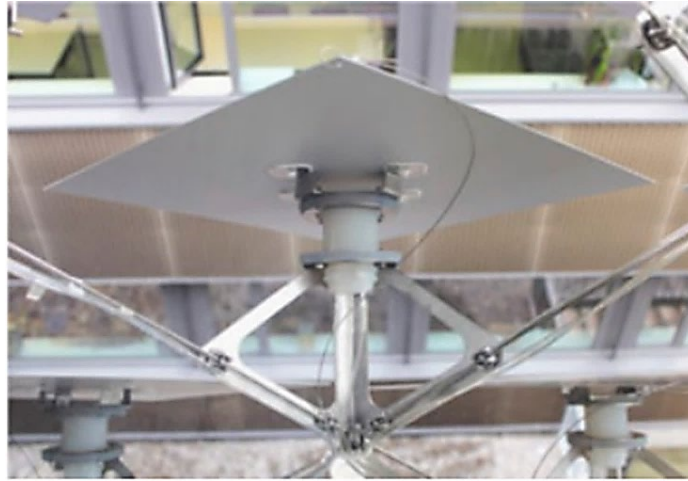


Figure 20 : Cantilever (le pilier /porte-à-faux)

Source : Jayathissa et al,2016

3.1.4 Cadre de support et le câble :

Le filet de câble, enjambant un cadre en acier inoxydable (Figure 21), forme la structure de support de la façade adaptive solaire à cellules photovoltaïques. Le cadre et le filet de câble ont été conçus pour résister au vent (Nagyn et al, 2016).

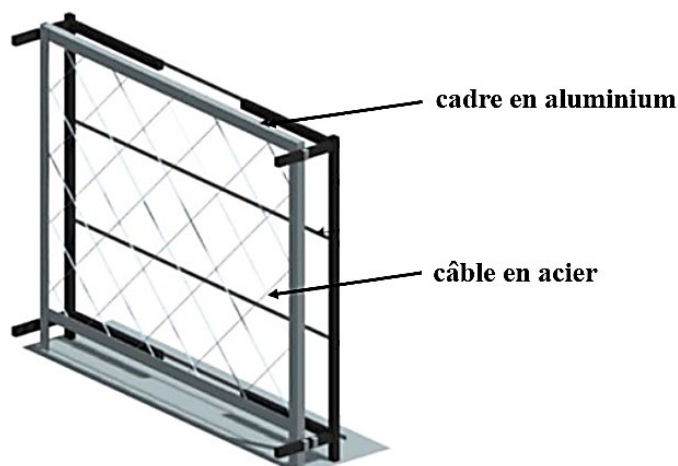


Figure 21: cadre de support et le câble

Source : (Nagyn et al, 2016)

3.2 Système de fonctionnement de la façade adaptive solaire à cellules photovoltaïques :

Les modules photovoltaïques de la façade adaptive solaire peuvent effectuer un suivi solaire à deux axes, c'est-à-dire s'orienter vers le soleil. Il s'agit d'un élément clé pour une production d'énergie maximale. Pour ce faire, une unité de mesure inertielle (IMU 9150 d'InvenSense) qui mesure les angles d'azimut et d'altitude est fixée au panneau. (Lydon et al. 2016). La figure (22) exprime le module et les composantes qui permet d'effectuer un suivie solaire.

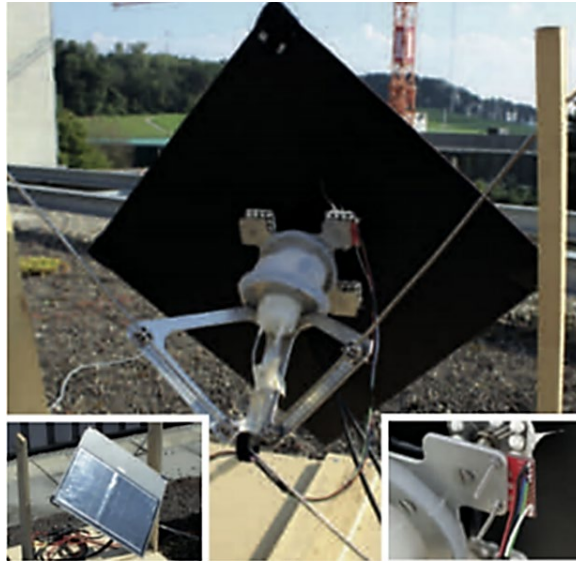


Figure 22: Vue arrière sur le module FSA pour la configuration du suivi solaire

Source : Lydon et al. 2016

3.3 Contrôle de la façade adaptive solaire à cellules photovoltaïques par l'utilisateur :

Selon Schlüter (2018) ; Jayathissa (2017) ; Nagyn et al, (2016) l'utilisateur peut contrôler les modules de façade adaptive solaire grâce à un mécanisme d'interaction basé sur la voix qui définir des commandes simples (ouvrir / fermer / ajuster) liées à des emplacements spécifiques sur la façade (gauche, droite, haut et bas).

3.4 L'objectif de la façade solaire adaptive à cellules photovoltaïques :

La façade solaire adaptive à cellules photovoltaïques joue un grand rôle dans le bâtiment, selon Jayathissa (2017) ; Hischier et al (2017) elle permet de :

- Réduire la consommation énergétique (réduire les charges de chauffages et refroidissements).
- Production de l'énergie sur site.
- L'ombrage et le contrôle de la lumière du jour pour à l'intérieur du bâtiment.
- Ajustements individuels de la vue par l'occupant.

3.5 Processus de conception de la façade adaptive solaire à cellule photovoltaïque :

Les processus de conception général de la façade adaptive solaire à cellules photovoltaïques est illustré sur la figure (23).

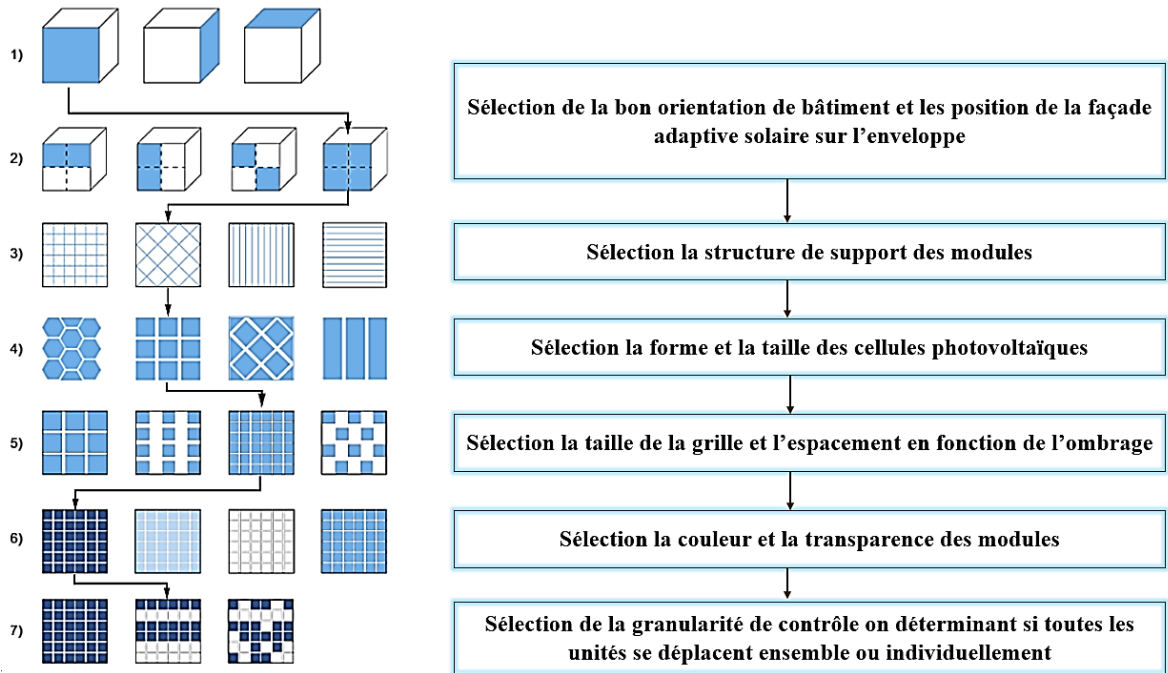


Figure 23: Processus de conception de la façade adaptive solaire à cellules photovoltaïques

Source : Auteur, 2021 d'après Schlueter et al,2016

4. Amélioration de l'efficacité énergétique à travers la façade adaptive solaire à cellules photovoltaïques :

Pour améliorer l'efficacité énergétique à travers la façade adaptive solaire il faut gérer trois paramétrés sont : les gains énergétiques (Figure 24), la protection du rayons solaires (Figure 25) et la production de l'énergie (Figure 26).

- **Les gains énergétiques :**

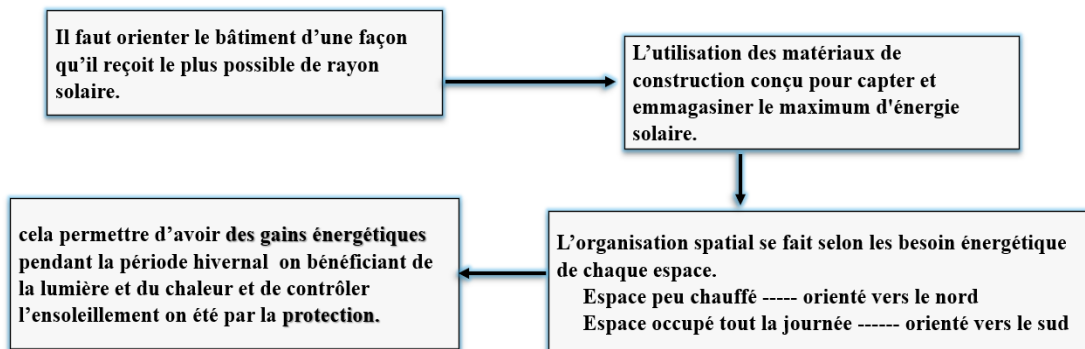


Figure 24: les gains énergétiques

Source : Auteur, 2021

• **La protection :**

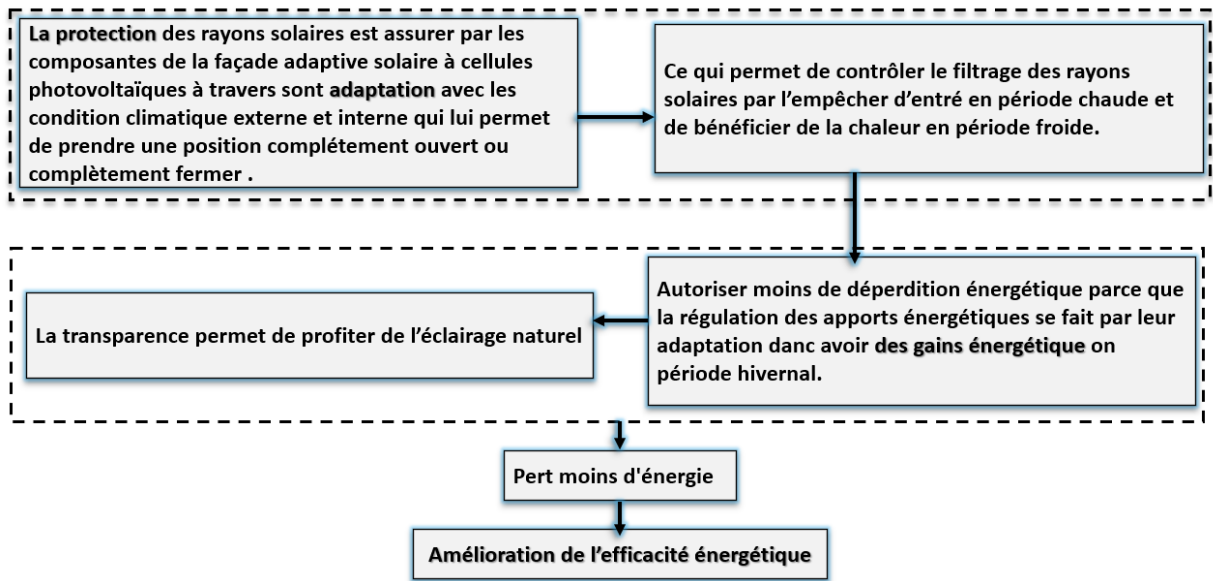


Figure 25: la protection du rayon solaire assurée par la façade adaptive solaire à cellules photovoltaïques

Source : Auteur, 2021

• **La production de l'énergie :**

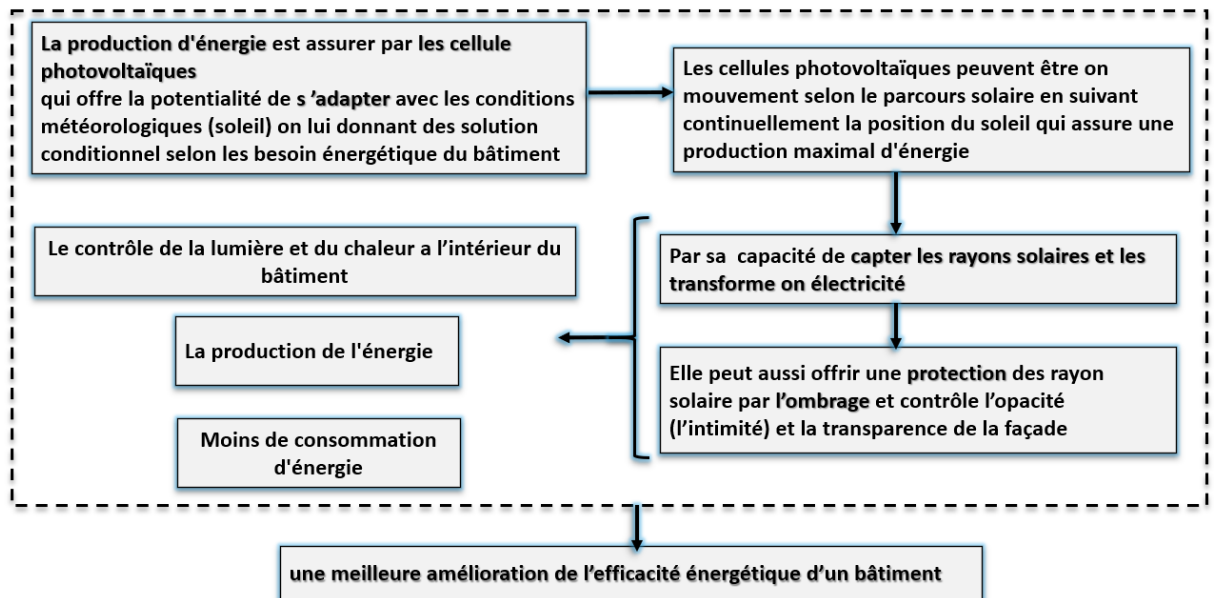


Figure 26: la production de l'énergie assurée par la façade adaptive solaire à cellules photovoltaïques

Source : Auteur, 2021

Conclusion :

Grâce à l'utilisation optimale des technologies, les bâtiments ne sont plus de simples consommateurs de l'énergie. La façade adaptative solaire à cellules photovoltaïques offre la potentialité de s'adapter avec les conditions climatiques en suivant continuellement la position du soleil ce qui assure à la fois une production maximale de l'énergie ainsi qu'un contrôle du filtrage des rayons solaires à l'intérieure du bâtiment ce qui réalise d'importantes économies ce qui contribue à l'augmentation de l'efficacité énergétique du bâtiment.

Les principaux concepts de la façade adaptative solaire à cellules photovoltaïques qui offrent une meilleure production d'énergie ainsi qu'une protection optimale sont : une bonne orientation des différentes façades du bâtiment, une technologie de cellule photovoltaïque avec un rendement efficace, une température et un ensoleillement favorable.

Chapitre 02 :

Recherche sur l'équipement
(Centre commercial)

Introduction :

Le commerce est une activité essentielle dans l'ensemble des actions qui forment l'économie, elle joue un rôle capital dans l'organisation de la vie dans la ville, son évolution de cette activité est liée à l'évolution des espaces commerciaux.

Les équipements commerciaux contribuent à l'amélioration des paysages urbains et de la qualité de vie. Les centres commerciaux sont les plus attractives, sont des lieux d'achat et de rencontre d'échange et ils correspondent à un besoin d'échange de matériels

Ce chapitre s'intéresse à présenter un support théorique lié aux différents concepts d'organisation spatiale et fonctionnelle d'un centre commercial.

1. Définitions du centre commercial :

Plusieurs organismes, chercheurs et spécialistes ont tenté de donner une définition exacte du centre commercial, parmi ces définitions on distingue :

- Selon le (CNCC,2021) (Conseil National des Centres Commerciaux), un centre commercial est défini comme « un ensemble d'au moins 20 magasins et services totalisant une surface commerciale utile minimale de 5 000 m², conçu, réalisé et géré comme une entité. »
- Selon (l'Encyclopédie canadienne,2015) un centre commercial est un ensemble de boutiques regroupées autour d'une ou plusieurs locomotives (grandes surfaces alimentaires et spécialisées) assurant un flux de clientèle.
- Selon (VINCENT,2013) le centre commercial est un bâtiment qui désigne une concentration ou un regroupement de diverses activités commerciales de détail sur un espace délimité.

2. Le rôle du centre commercial :

Le principal intérêt du centre commercial est de regrouper et rassembler différents espaces commerciaux en un seul et même endroit pour que l'acheteur en visitant le centre commercial sache qu'il trouvera plusieurs offres tout ayant la possibilité de satisfaire ses besoins.

3. Classification des centres commerciaux :

La classification des centres commerciaux dans le monde est dictée pour un grand nombre d'aspects à l'image de la taille du centre, son type, son emplacement et ses services. Le schéma si dessous (Figure 27) montre la classification des centres commerciaux selon la CNCC.

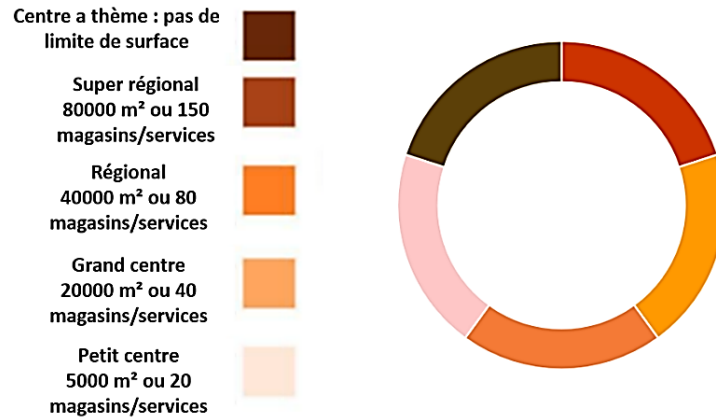


Figure 27: classification des centres commerciaux

Source : le CNCC,2021

4. Évolution historique du centre commercial :

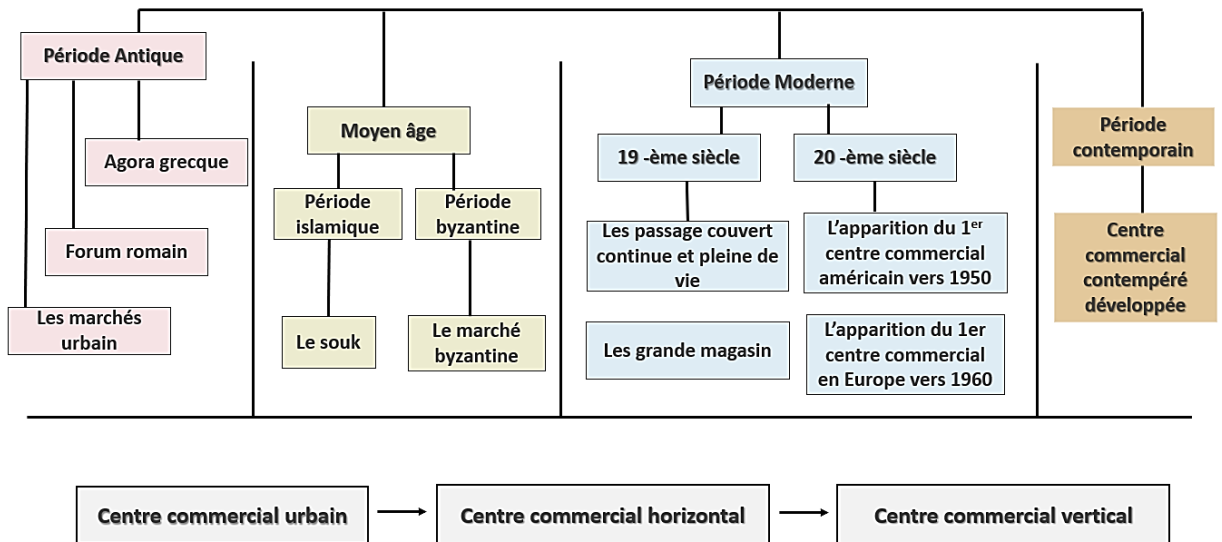


Figure 28: représentation de l'évolution historique du centre commercial

Source : auteur 2021 d'après (Dupont,2016 ; Dominique,2010 ; Frank Rosentha,2013)

L'évolution historique du centre commercial est passé par plusieurs étapes qu'ont marquées et façonné cette image qu'on voit aujourd'hui (Figure28). On peut résumer cette évolution dans les points suivants :

- Le passage par différentes phases d'un espace en plein air totalement découvert à un bâtiment couvert.
- Changement rapide au niveau de la forme de bâtiment.
- Changement au niveau des espaces (organisation spatiale).
- Intégration des nouveaux espaces et activités.
- Développement des techniques (apparition de monte-charge des escalators et ascenseur)

5. Organisation spatiale et fonctionnelle d'un centre commercial :

5.1 Les utilisateurs et les usagers :

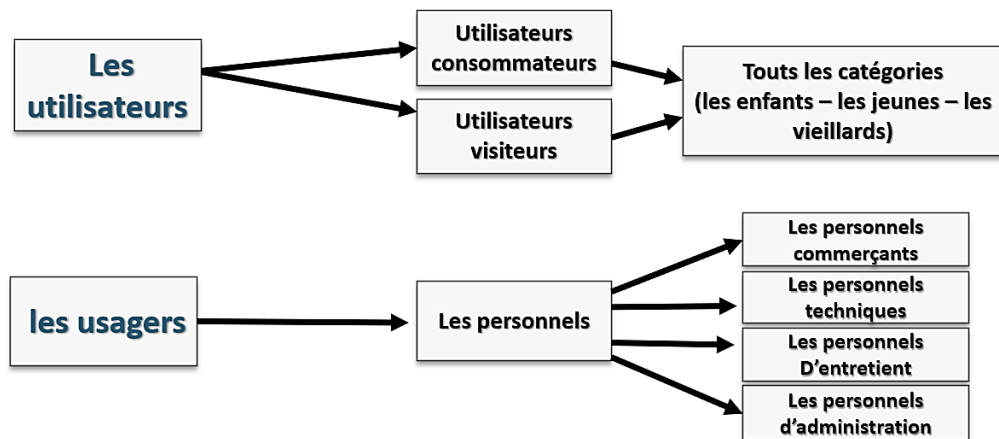


Figure 29: les utilisateurs et les usagers d'un centre commercial

Source : Auteur, 2021

5.2 Classification des fonctions :

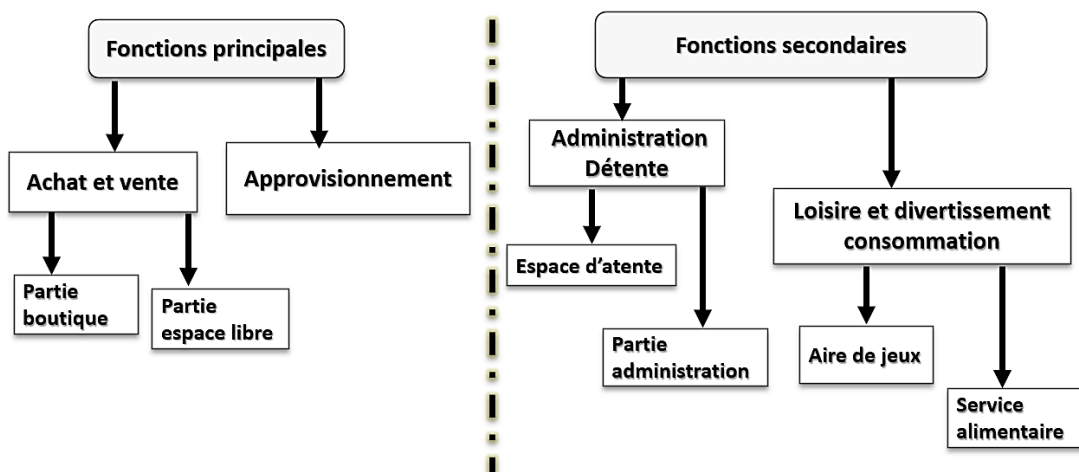


Figure 30: les fonctions d'un centre commercial

Source : Auteur, 2021

5.3 Type des centres commerciaux :

Dans l'ensemble de ces recherches, (VINCENT,2013) a classé les centres commerciaux en plusieurs types dont on distingue :

- Centre commercial à système d'espaces libres (Figure 31).
- Centre commercial à système des petits magasins et boutiques.
- Centre commercial à système de grande surface.
- Centre commercial à système mixte : Combine les types précédents, pour un programme riche, plus efficace et actif (Figure 32).

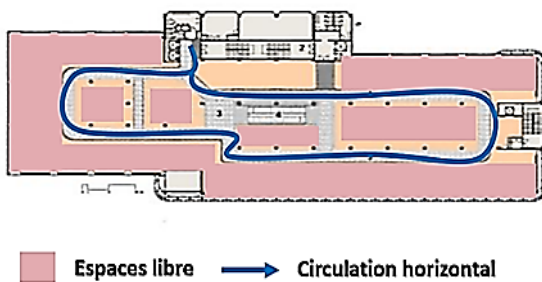


Figure 31: Exemple d'un Centre commercial à système d'espaces libres -galerie du monde Seoul-

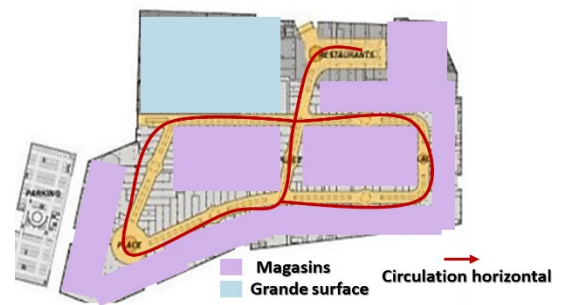


Figure 32: Exemple d'un centre commercial à système mixte -Aérolille-

Source : Auteur ,2021 d'après (archidaily,2021)

5.4 Les circuits d'un centre commercial :

Selon un centre commercial mixte vertical, on distingue les circuits suivants (Fig33) (Fig34) :

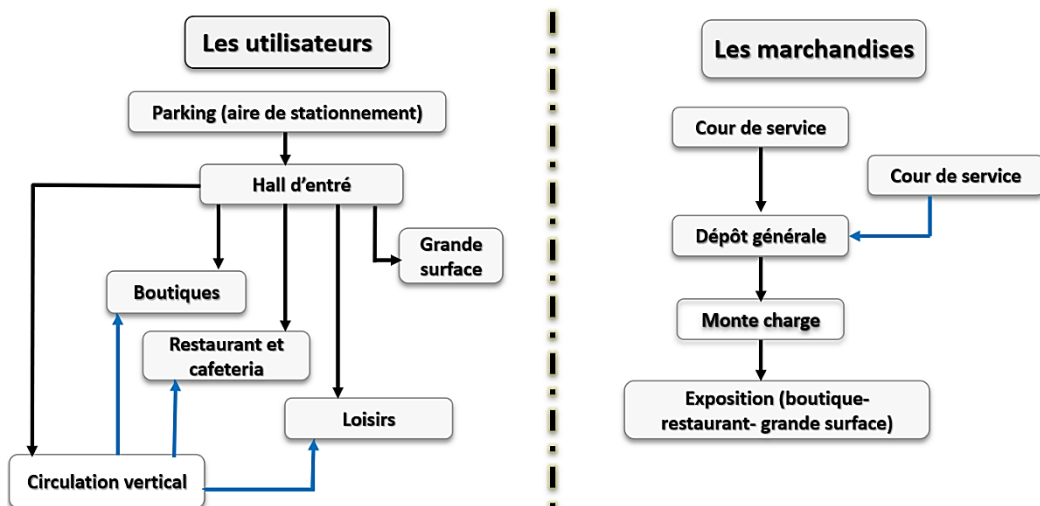


Figure 33: le circuit des utilisateurs et des marchandises dans un centre commercial

Source : Auteur ,2021

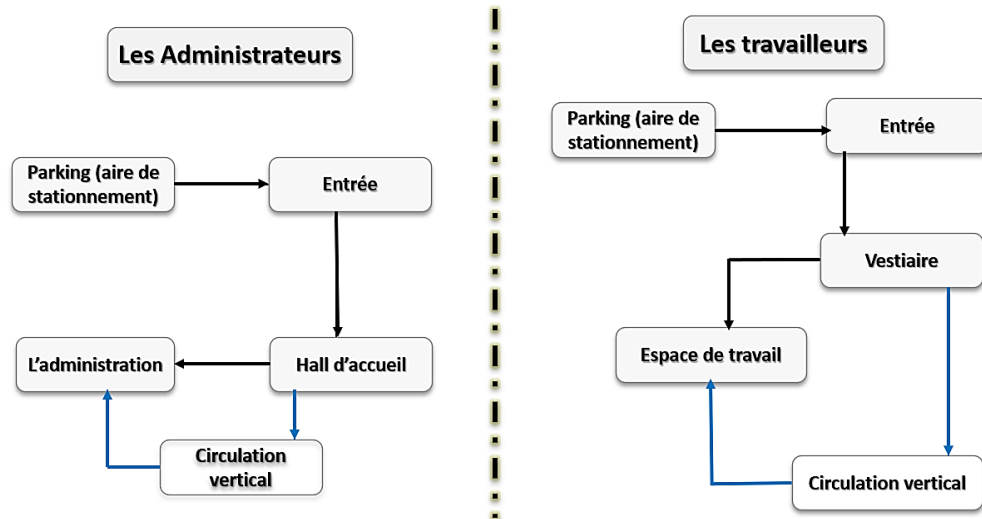


Figure 34: le circuit des administrateurs et des travailleurs dans un centre commercial

Source : Auteur ,2021

5.5 Type de Circulation dans les centres commerciaux :

Dans la plupart des centres commerciaux on distingue deux types de circulations : une circulation verticale et une circulation horizontale

5.5.1 La circulation verticale :

Cette circulation est composée de la circulation des marchandises assurée par les montes-charges et la circulation des personnes assurée par les escaliers mécaniques (Figure 35) et les ascenseurs (Figure 36).

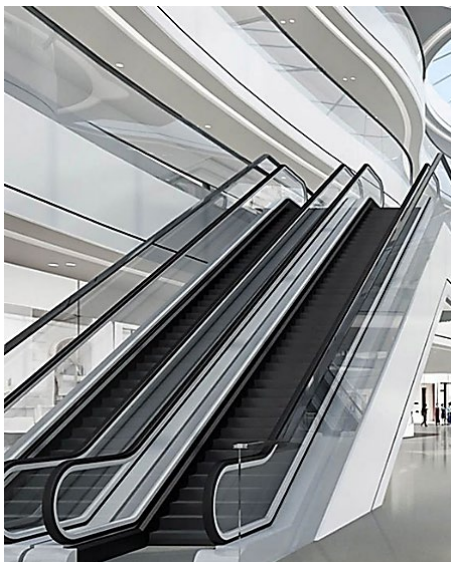


Figure 35: circulation assurée par l'escalator



Figure 36: circulation assurée par l'ascenseur

Source : Webstar, 2021

5.5.2 La circulation horizontale :

C'est une circulation fluide avec des passages commerciaux qui contiennent des places de détente et espaces verts...etc. Elle est assurée par les grands halls, les rues commerçantes et les galeries d'expositions.

Selon Chaigneau (2016) ; Ali (2000) ; Sumanta et al (2020) on distingue trois types de circulation horizontale : Circulation linière - circulation central – circulation composée

- **Circulation linière :**

C'est une circulation qui a un début clair et une fin comme le montre le schéma sur la figure (37) et l'exemple de la Figure (38).

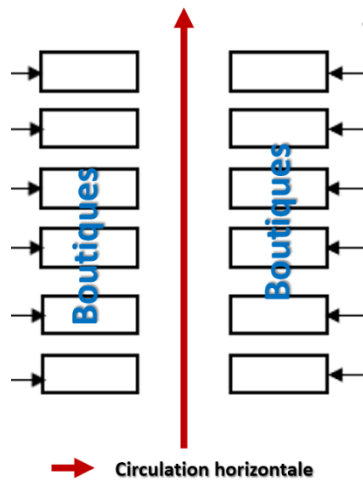


Figure 37: schéma d'une circulation linière

Source : Auteur ,2021 d'après Ali ,2000



Figure 38: exemple d'une circulation horizontale de type linière

Source : Auteur,2021 d'après Chergui,2018

- **Circulation centrale :**

C'est une organisation qui se constitue d'un espace central dominant (Figure39) et (Figure40).

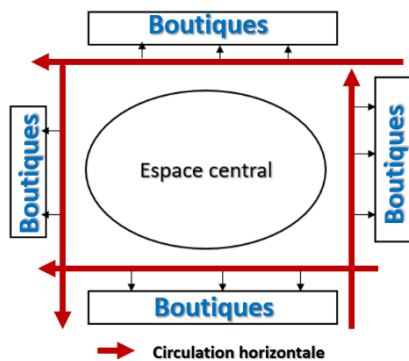


Figure 39: schéma d'une circulation centrale

Source : auteur 2021 d'après (Ali,2000)

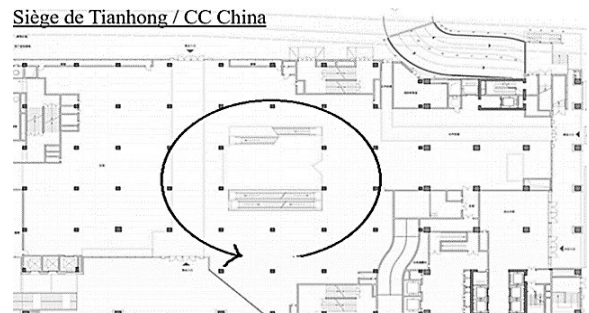


Figure 40: exemple d'une circulation centrale

Source : auteur,2021 d'après (ArchDaily,2021)

- **Circulation composée :**

Dans cette organisation l'utilisateur ne peut pas utiliser les mêmes chemins pendant son parcours (Figure 41).

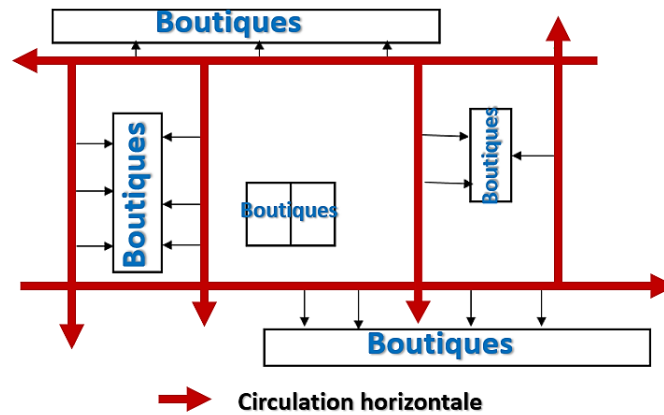


Figure 41: circulation horizontale de type composé

Source : Auteur 2021 d'après (Ali,2000)

5.6 Systèmes de circulation (parcours) :

D'après Tao Pei et al (2020) ; Eric (2021) ; Haofeng et al (2017) ; Nilsson (2020) Il existe trois types de parcours : parcours linéaire/ parcours circulaire / parcours labyrinthique.

- **Parcours liniers :**

Les boutiques sont organisées selon un principe de déplacement clair (Figure 42), ce type de parcours a comme avantage la prise en charge du visiteur dès son entrée jusqu'à sa sortie considérée comme un parcours guidé en prenant un cheminement obligatoire qui permet à l'utilisateur à s'intéresser à toutes les marchandises. (Eric,2021 ; Nilsson ,2020).

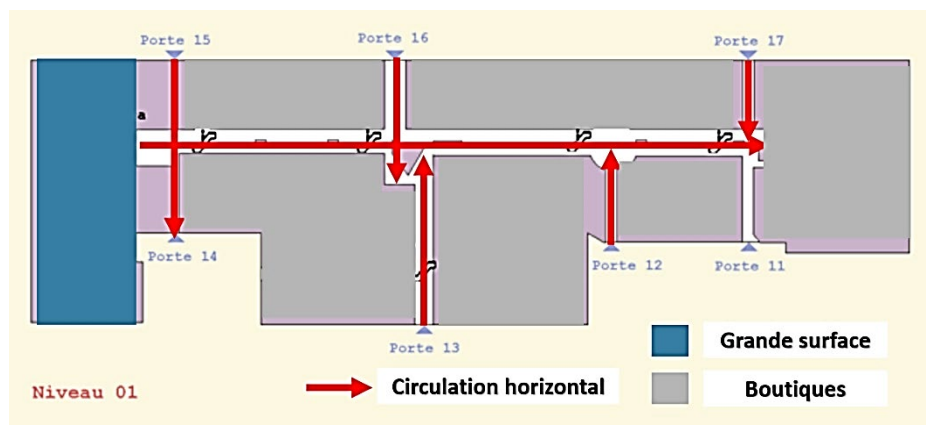


Figure 42: Exemple d'un centre commercial avec un parcours linéaire -Créteil Soleil-

Source : Auteur,2021 d'après (Walké,2007)

- **Parcours circulaire :**

Les magasins et les boutiques sont réunis autour d'un espace central (Figure 43). On le considère aussi comme un parcours guidé en prenant un cheminement fermé ou l'utilisateur a une vision presque sur toutes les boutiques (Tao Pei et al ,2020).

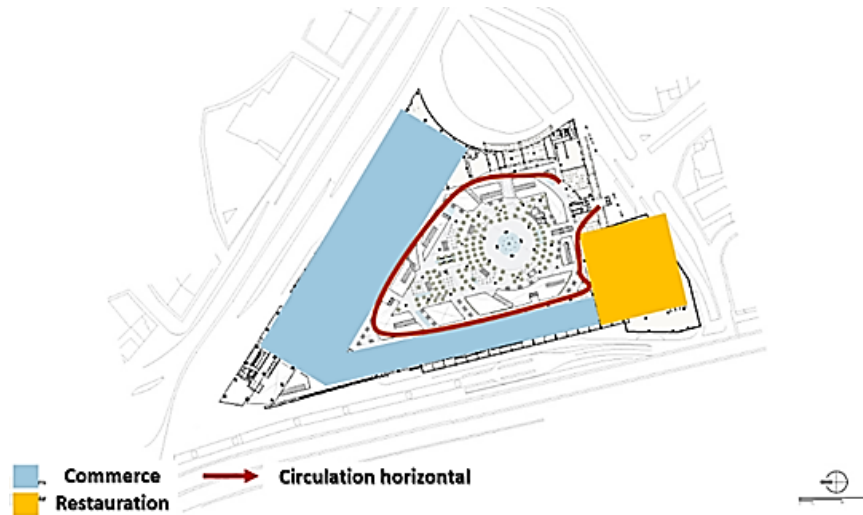


Figure 43: Exemple d'un centre commercial avec un parcours circulaire -Parque Toreo-

Source : Auteur,2021 d'après (archidaily,2021)

- **Parcours labyrinthique :**

C'est un parcours qu'on a le choix de prendre le chemin qu'on veut (Figure 44). Ce type de parcours a un inconvénient, c'est un parcours compliqué, le visiteur risque de passer plusieurs fois par le même espace (Haofeng et al ,2017 ; Nilsson ,2020).

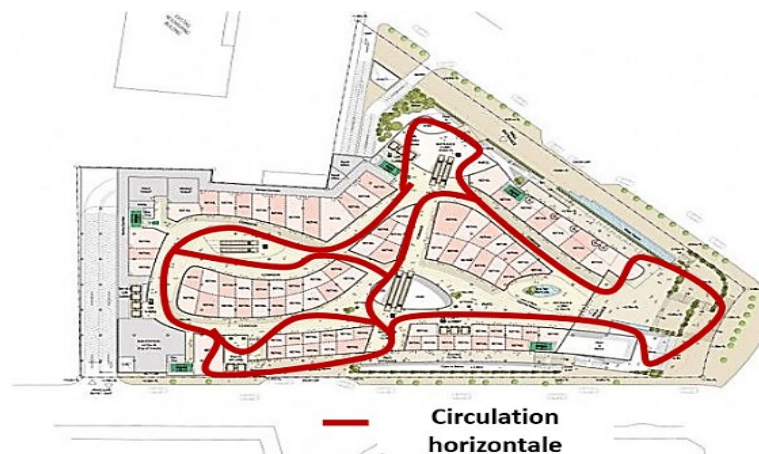


Figure 44: Exemple d'un centre commercial avec un parcours labyrinthique

Source : auteur,2021 d'après (pintrest,2021)

6. Les exigences techniques et conceptuelles des centres commerciaux :

6.1 Type des magasins :

selon Neufert il existe deux types de magasins : vente ouverte et vente fermée

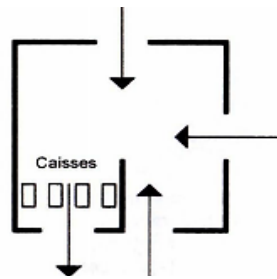


Figure 45: Vente fermée, entrée libre et sortie contrôlée

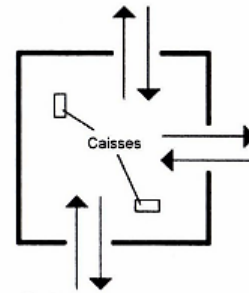


Figure 46: Vente ouverte entrée et sorties libres

Source : Neufert,2010

- Vente fermée (Figure 45) : entrée libre, sortie uniquement par des zones de contrôle aux caisses (surfaces de vente spécialisées).
- Vente ouverte (Figure 46) : entrée et sortie libres (magasins spécialisés, commerces de détails spécialisés, grands magasins).

Le magasin doit offrir une bonne visibilité aux clients et à la surveillance (caisse), pour que le client ne soit pas obligé de faire des détours (Figure47).

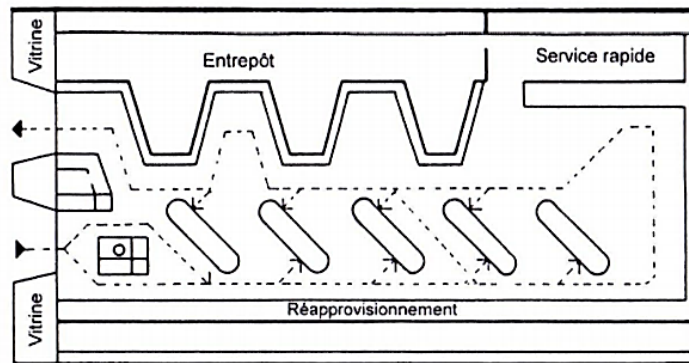


Figure 47: le cheminement des clients inclut tous les angles

Source : Neufert,2010

6.2 La grande surface :

Le service de la grande surface est assuré dans le rayon d'alimentation générale, produit de lessive et cosmétique ainsi des frigos de viandes, poissons et des rayons des fruits, légumes en plus d'autres produits. Il faut bien étaler toutes les marchandises pour qu'on les distingue bien et attacher une attention particulière au cheminement de la clientèle, commencer par le passage

devant les chariots pour terminer par les caisses. La figure (48) montre quelques dimensions des comptoirs et des étagères dans la grande surface (Neufert,2010)

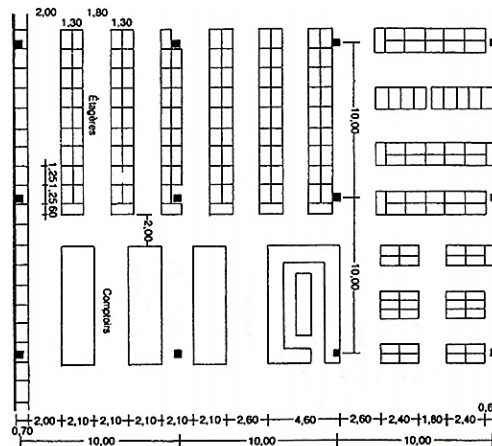


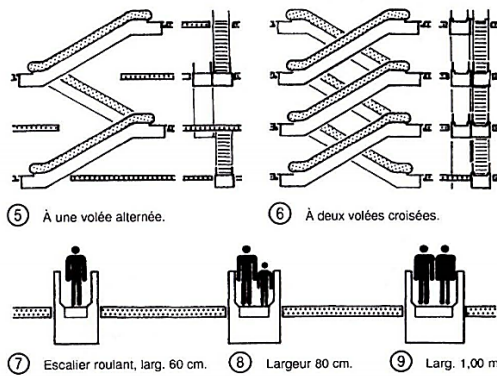
Figure 48: Dimensions des comptoirs et des étagères dans la grande surface

Source : Neufert,2010

6.3 La circulation verticale :

La circulation verticale dans les centres commerciaux est assurée par deux moyens importants sont : les escalators et les ascenseurs.

- Escalator (Escalier mécanique) :



Pour une pente de $30^\circ = 1,732 \times$ hauteur entre étages.
 Pour une pente de $35^\circ = 1,428 \times$ hauteur entre étages.
 Exemple : hauteur entre étages 4,50 m et pente de 30°
 (pente de 35° souvent pas admise à l'étranger)
 Longueur en plan : $1,732 \times 4,5 = 7,794$
 Avec les parties horizontales à l'entrée et à la sortie, on obtient
 une longueur d'environ 9 m. L'escalier peut contenir environ 20 per-
 sonnes simultanées les uns derrière les autres.

Figure 49: Les exigences techniques pour la conception d'un escalator.

Source : Neufert,2010

Les escalators sont utilisés pour faire circuler de façon continue un grand nombre de personnes, pour des hauteurs importantes, il vaut mieux choisir pour des raisons psychologiques et de sécurité une pente de 30° .

Selon une norme mondialement pratiquée, la largeur des marches est de 60 cm (1 personne), 80 cm (1 à 2 personnes) et de 100 cm (2 personnes). Une largeur de 100 cm est suffisante pour

une personne chargée. Ainsi il faut prévoir au départ et à l'arrivée un espace d'encombrement suffisant $\geq 2,50$ m de profondeur. La figure (49) explique les exigences techniques pour la conception d'un escalator.

- **Ascenseur :**

Dans tous les bâtiments commerciaux, les ascenseurs devraient se trouver en principe dans les endroits à la source des flots de circulation. Il faut planifier soigneusement leur aménagement par rapport aux endroits de circulation. La figure (50) montre les dimensionnements d'un ascenseur pour personne normal et pour les handicapés.

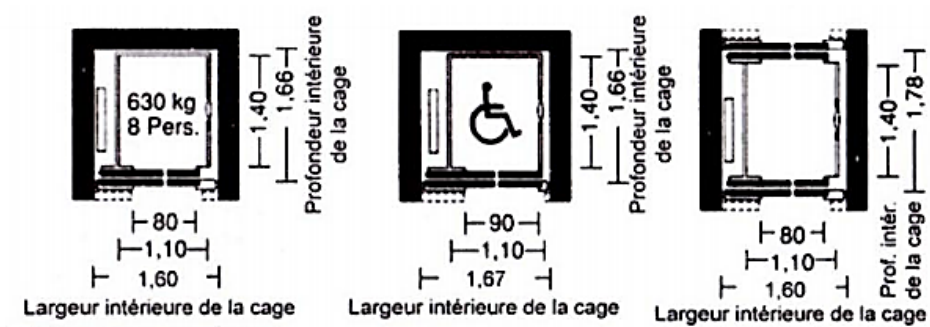


Figure 50: les dimensionnements d'un ascenseur

Source : Neufert,2010

6.4 Stationnement :

Pour améliorer la visibilité dans les espaces de stationnement, les places de parking sont souvent délimitées devant et sur les côtés par des bandes de couleur d'une largeur de 12 à 20 cm (Neufert,2010). La figure (51) et (52) montre les dimensionnements de l'aire de stationnement d'une voiture pour une personne normal et handicapé, et la figure (53) montre les dimensionnements de l'aire de stationnement pour un véhicule lourd.

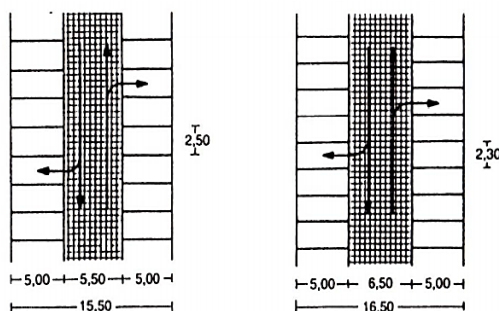


Figure 51: les dimensionnements de l'aire de stationnement pour une voiture

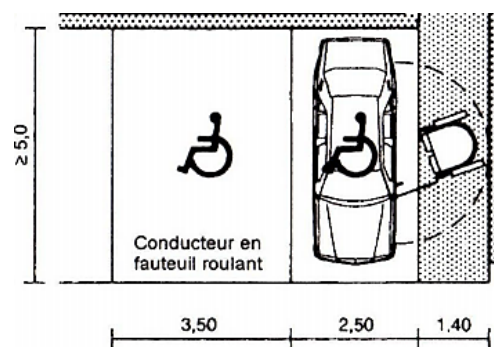


Figure 52: les dimensionnements de l'aire de stationnement pour handicapé

Source : Neufert,2010

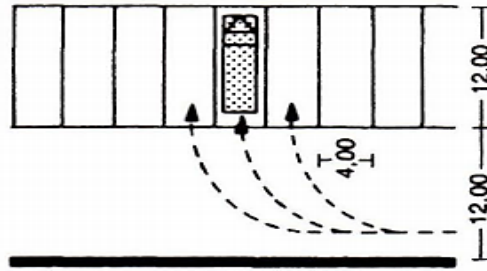


Figure 53: les dimensionnements de l'aire de stationnement pour un véhicule lourd

Source : neufert,2010

6.5 Stationnement et entrée :

Il faut prévoir une entrée principale visible et une entrée secondaire reliée avec l'aire de stationnement (Figure 54).

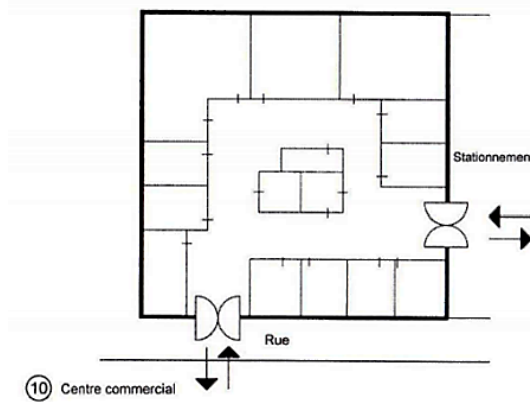


Figure 54: l'entrée et le stationnement dans un centre commercial

Source : neufert,2010

7. Analyse des exemples :

Tableau 2: fiche technique des exemples 01 et 02(Auteur,2021)

Exemple 01	Exemple 02	Critère de choix
-Non du projet : city life -Architecte : Zaha Hadid -Année et situation : Italie ,2017	Non du projet : Parque Tereo Architecte : Sordo Madaleno Année et situation : Mexique,2014	Organisation spatiale et fonctionnelle
		

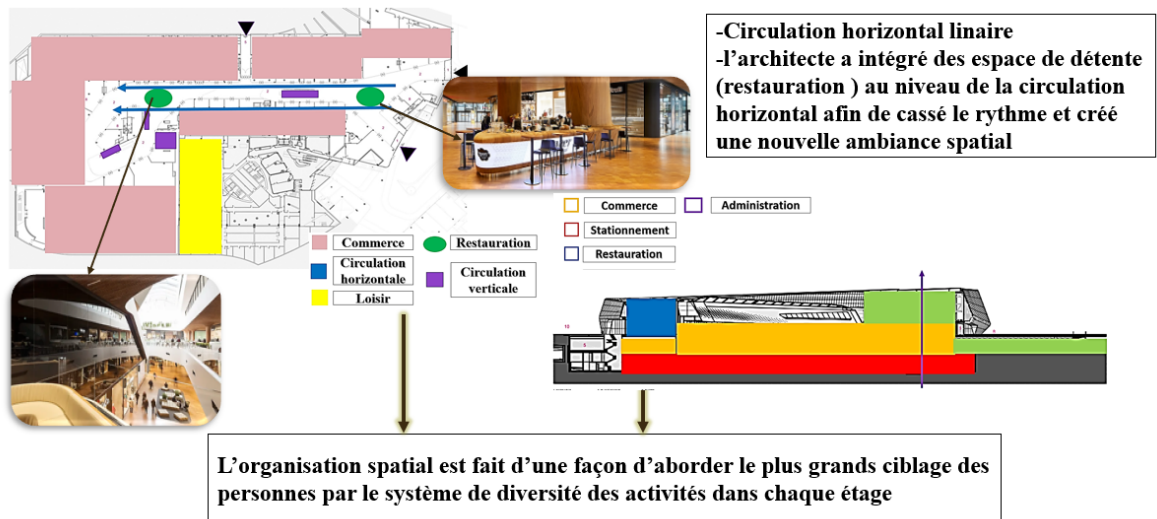


Figure 55: le centre commercial city life et son organisation spatiale

Source : auteur ,2021 d'après Archdaily,2021



Figure 56: le centre commercial parque toreo et son organisation spatiale

Source : Auteur, 2021 d'après Archdaily,2021

• Exemple 03

Tableau 3 : Fiche technique de l'exemple 03 (Auteur,2021)

Exemple 03		Critère de choix
-Non du projet : Horosho -Architecte : Eric Valeev -Année et situation : Russie, 2016		Ambiance spatiale extérieure




Figure 57: : ambiance spatiale extérieure

Source : Auteur,2021 d'après pintrest,2021

● **Exemple 04**

Tableau 4: fiche technique de l'exemple 04 (Auteur,2021)

Exemple 04		Critère de choix
-Non du projet : tokyu plaza -Architecte : Nikken Sekkei -Année et situation : japon 2016		La transparence (éclairage naturel)

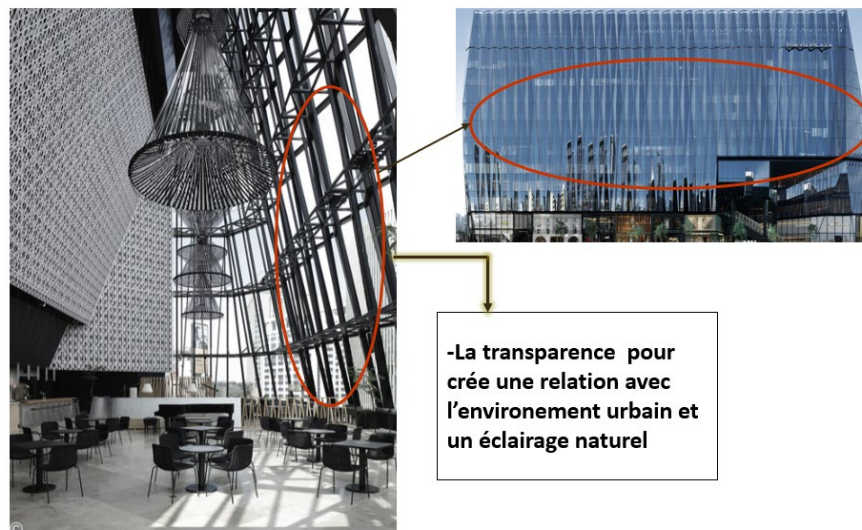


Figure 58: la transparence

Source : Auteur ,2021 d'après Archidaily,2021

• **Exemple 05**

Tableau 5: fiche technique de l'exemple 05 (Auteur,2021)

Exemple 05		Critère de choix
-Nom du projet : TAMBON BANG KAEO -Année et situation : THAÏLANDE ,2017		Ambiance spatiale intérieure



Figure 59: ambiance spatiale intérieure dans un centre commercial

Source : Auteur ,2021 d'après pintreste,2021

Synthèse de l'analyse des Exemples :

L'analyse des exemples nous a permis d'avoir des informations sur l'organisation spatial et fonctionnelle des centres commerciaux afin de les concrétiser pour la conception de notre projet. Ces informations sont résumées dans les points suivants :

- Création d'une continuité avec l'extérieur à travers l'intégration d'un espace public extérieur.
- Création d'une relation entre les espaces et cassé le rythme par l'intégration des espaces de détente dans la circulation horizontale.
- La mixité fonctionnelle par la diversité des activités dans chaque étage on trouve l'activité principale qui est le commerce avec d'autres activités secondaires.

- Création d'une ambiance spatiale intérieure par l'intégration des espaces verts à l'intérieur du bâtiment pour améliorer le confort de l'utilisateur et afin de créer un microclimat.
- La transparence afin de profiter au maximum de l'éclairage naturel.

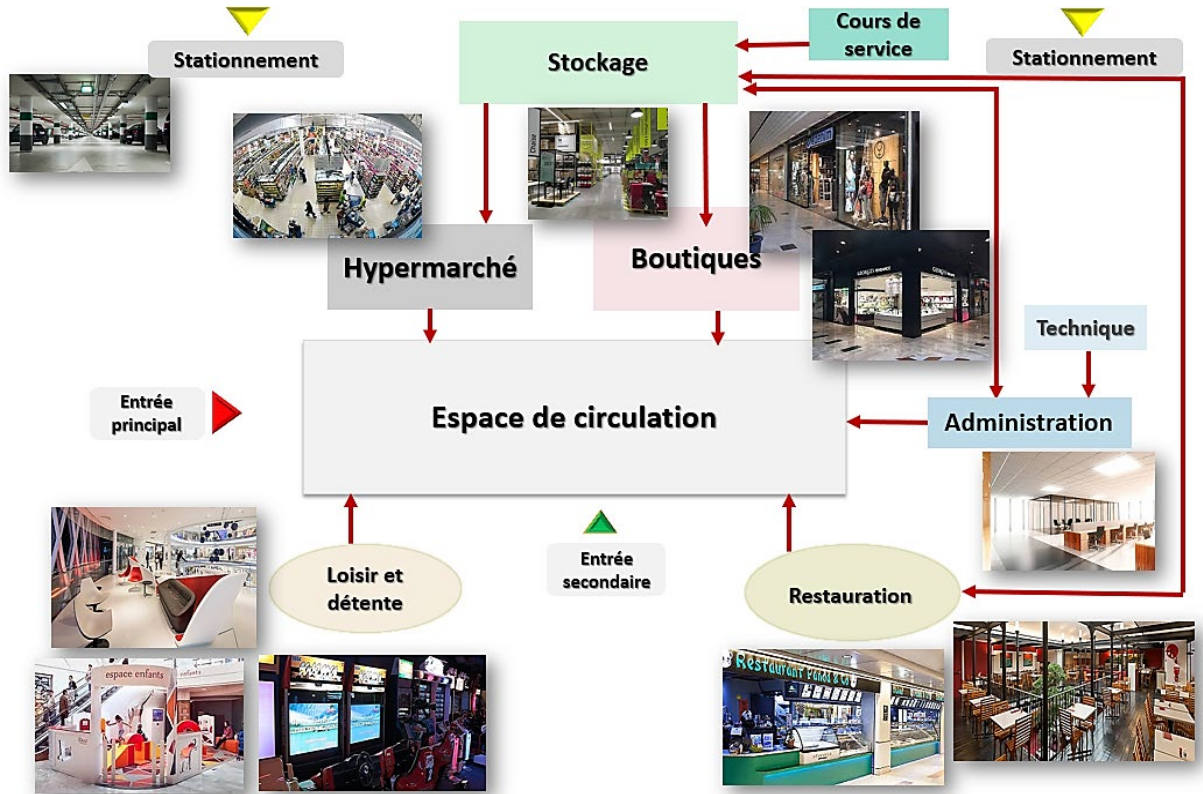


Figure 60: Organigramme spatio-fonctionnel d'un centre commercial

Source : Auteur, 2021

Conclusion :

Un bâtiment à caractère commercial s'adapte aux besoins de son environnement immédiat en favorisant la création d'un quartier riche et dynamique. Il doit tenir compte des besoins de ses futurs occupants ainsi que son impact sur l'environnement et la manière dont l'environnement immédiat au sens large peut en bénéficier.

Dans ce chapitre on a retiré les principes fonctionnels et spéciaux ainsi que les exigences techniques qui nous aident à concevoir un bâtiment commercial.

Chapitre 03 :

Approche conceptuelle du
centre commercial

Introduction :

L'approche conceptuelle d'un bâtiment avec une façade adaptative solaire se repose sur plusieurs aspects météorologiques et techniques. Dans ce chapitre on va analyser le contexte spatial et fonctionnel du projet afin de proposer une première conception basée sur les données du terrain, climatique et fonctionnelle ainsi que le concept thématique qui concerne les apports de la façade solaire adaptative sur l'efficacité énergétique.

1. Présentation de la wilaya de Tébessa :

1.1 Situation géographique :

Tébessa est une ville de l'est algérien, située dans la daïra de Tébessa et la wilaya de Tébessa. La ville s'étend sur 184 km² et compte 196 537 habitants depuis le dernier recensement de la population fait par le O.N.S (Office National des Statistiques). La densité de population est de 1 068,1 habitants par km² sur la ville. Tébessa Entourée par les communes de BEKKARIA, BOULHAF DIR et BIR MOKADAM, est située à 960 mètres d'altitude, (La Duc,2020). La figure (61) montre la situation de la ville de Tébessa.

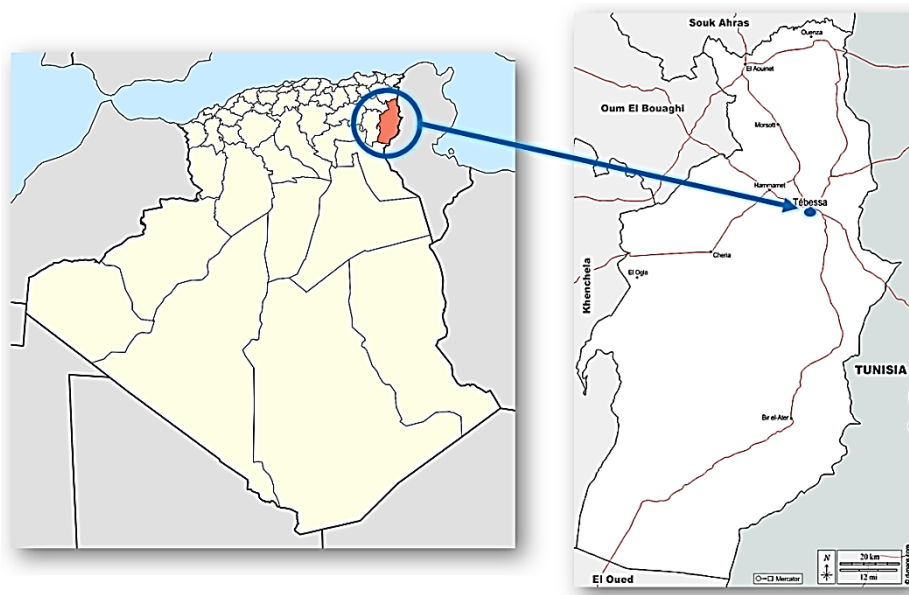


Figure 61: Situation géographique de la ville de Tébessa

Source : Auteur,2021 d'après Eric ,2020

1.2 Etude générale du climat de Tébessa :

Selon la classification de Köppen-Geiger (2021) Tébessa a un climat semi-aride froid (BSk) avec des étés chauds et assez secs et des hivers doux et un peu plus humides. Sur l'année, la température moyenne à Tébessa est de 16.3°C et les précipitations sont en moyenne de 371 mm

Les données climatiques des moyennes de 10ans (2007-2017) selon (météonorm,2021)

- **La température :**

Les données du diagramme de la figure (62) présentent la variation des températures dans la région de Tébessa pendant tous les mois de l'année.

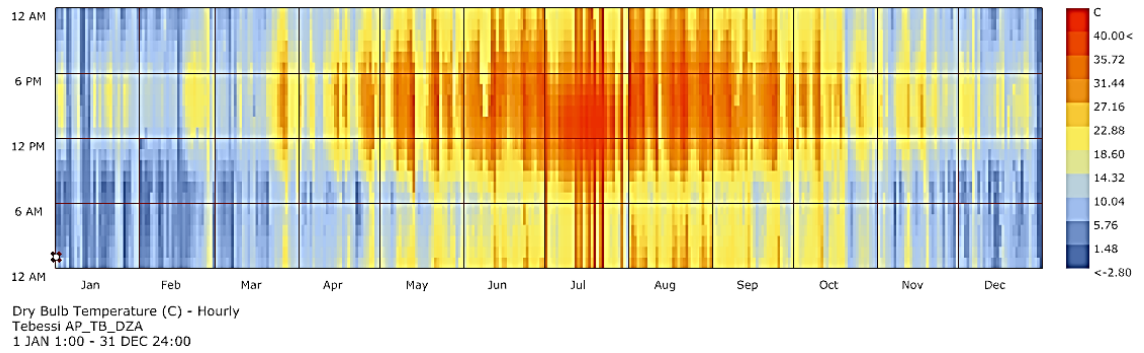
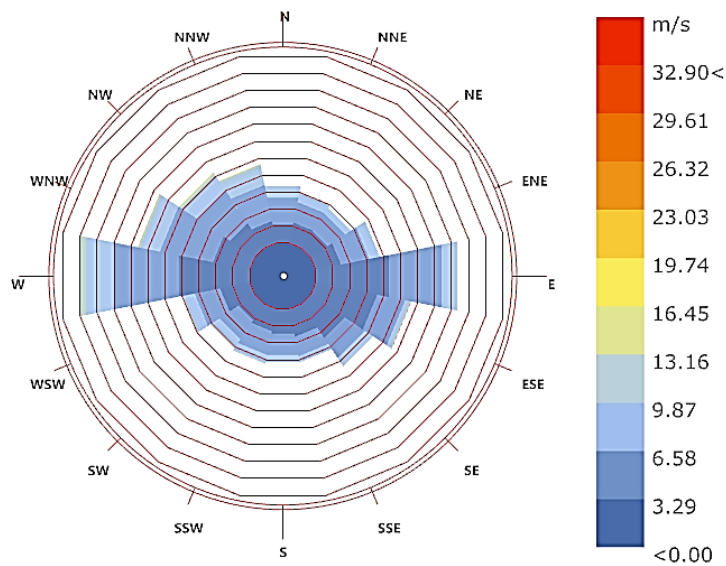


Figure 62: La variation de la température dans la région de Tébessa

Source : Auteur,2021 à l'aide de logiciel Rhinoceros d'après météoform,2021

- **Les vents :**

Les données du diagramme de la figure (63) présentent la vitesse et la direction des vents a la région de Tébessa pendant tous les mois de l'année.



Wind-Rose
Tebessi AP_TB_DZA
1 JAN 1:00 - 31 DEC 24:00
Hourly Data: Wind Speed (m/s)
Calm for 29.42% of the time = 2577 hours.
Each closed polyline shows frequency of 0.9%. = 82 hours.

Figure 63: le diagramme du vent de la région de Tébessa

Source : Auteur,2021 à l'aide de logiciel Rhinoceros d'après météoform,2021

- **L'enseillement :**

Les données du diagramme de la figure (64) montrent les jours d'enseillement et de précipitations dans la région de Tébessa pendant tous les mois de l'année.

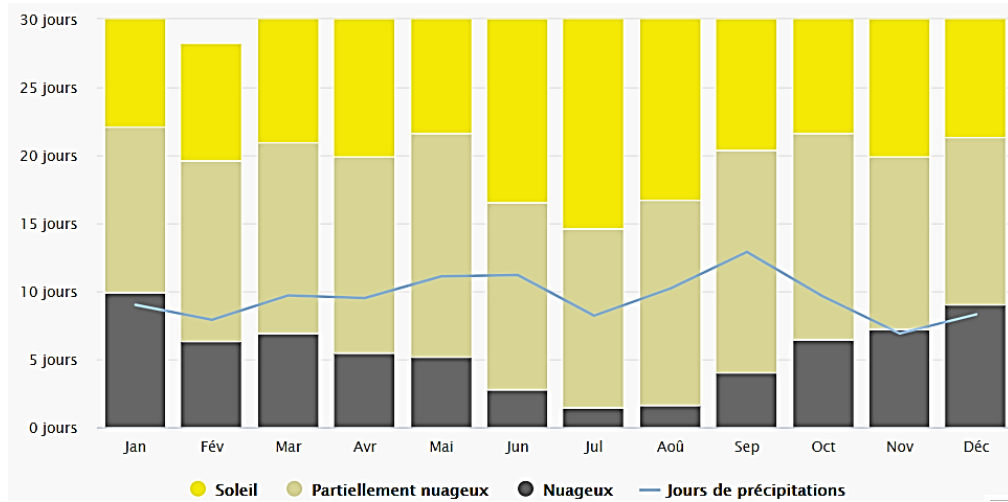


Figure 64: les jours d'enseillement de précipitations dans la région de Tébessa

Source : meteoblue,2021

2. Analyse de terrain :

2.1 Critères de choix du terrain :

- Un nouveau rassemblement a besoin d'un équipement commercial pour répondre au besoin des citoyens.
- Minimiser la pression sur la ville de Tébessa.
- La situation avantageuse et la visibilité afin de cibler le maximum des personnes.
- Avoir une bonne accessibilité.

2.2 Situation du terrain :

Le terrain est situé dans la commune de Boulhaf dir dans le POS n°03 a environ 10 km de la ville de Tébessa.

- La situation de terrain est avantageuse paracerque il est situé entre trois agglomérations (point de connexion) Donc l'équipement proposer va fonctionner avec plusieurs agglomérations. (Figure 65)



Figure 65: la situation de terrain

Source : Auteur,2021 d'après google earth pro,2021

2.3 L'environnements immédiat :

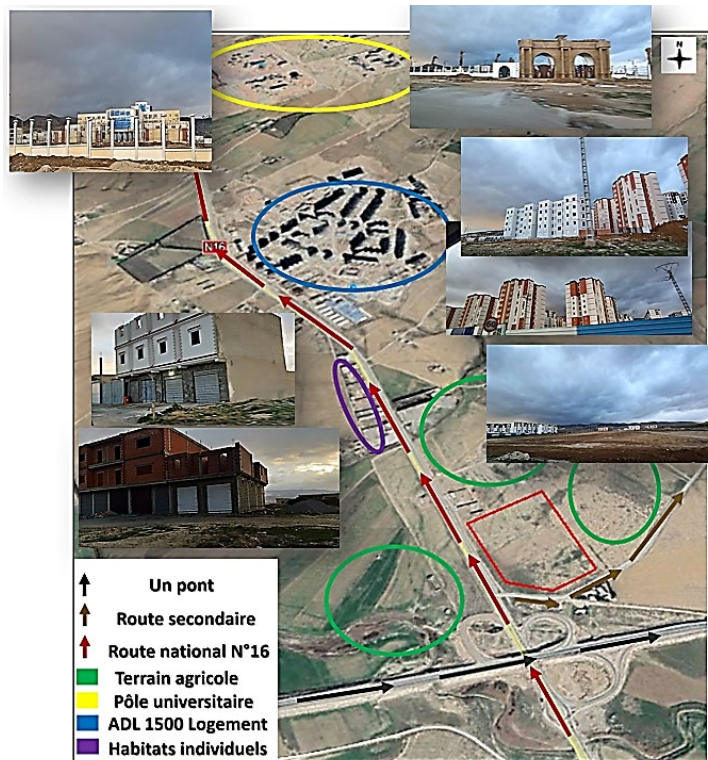


Figure 66: l'environnement immédiat du terrain

Source : Auteur,2021 d'après google earth pro,2021

Le terrain est limité par : (Figure 66) :

- Nord : terrain agricole - habitat collectif ADL (R+5 et R+9) - pôle universitaire
- Sud : route secondaire – l'échangeur

- L'Est : terrain agricole
- L'Ouest : route national N°15 / terrain agricole / habitats individuels (R+1)

La situation du terrain lui donne une continuité spatiale avec son environnement :

- La présence de la route national 16 qui relie Boulhaf avec Tébessa offre un avantage qu'on peut l'exploiter dans l'accessibilité, mais il faut prévoir des solutions de sécurité.
- La présence de la zone d'habitat collectif avec 1500 logements et le pôle universitaire comme un nouveau rassemblement ou l'équipement va assurer les besoins des habitants.

L'environnement ne se considéré pas comme une nuisance par rapport au projet.

2.4 L'accessibilité du terrain :

On peut accéder aux terrains par deux voix mécanique (Figure67) vue à sa situation avantageuse

- vois principale : passe du côté ouest de terrain (route national 16)
- voies secondaire : passe du côté sud du terrain

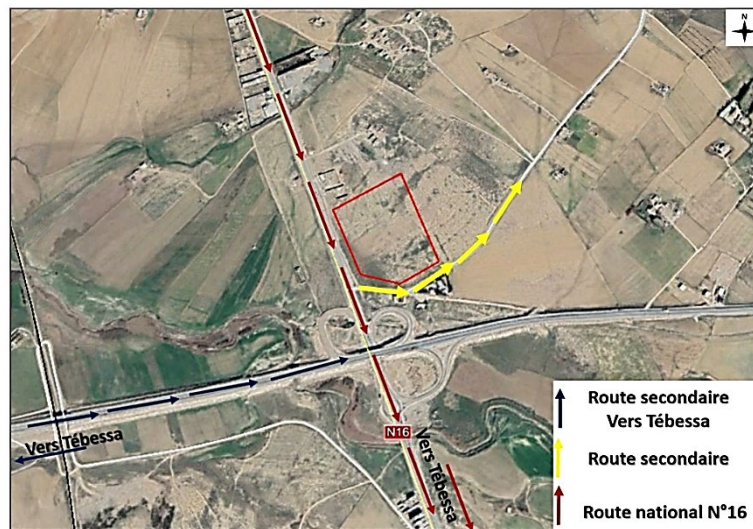


Figure 67: l'accessibilité du terrain

Source : Auteur,2021 d'après google earth pro ,2021

- Existence de plusieurs accès afin d'aborder le plus grand flux aussi le ciblage des personnes.
- Le projet besoin d'un grand flux, il est préférable de l'implanter sur une grande voie mécanique donc la route national 16 offre cette potentialité.

- La proximité de la route nationale servira à apprécier le projet en lui donnant une importance visuelle dans le but de créer le plus d'attractivité.
- Le projet doit être implanté loin des grandes agglomérations pour ne pas créer un encombrement du coup l'accessibilité du terrain par deux grandes voies offre cette potentialité.
- Il faut prévoir des solutions pour accéder au projet à cause de sa proximité d'une route nationale.
- Ainsi il faut prévoir d'autres solutions pour créer une liaison avec les trois agglomérations.

2.5 Le repérage de terrain :

On distingue trois repères du terrain (Figure 68) :

- L'échangeur - le pôle universitaire - les logements ADL

Il faut renforcer le repérage de terrain afin d'aborder les plus grands ciblage des personnes.

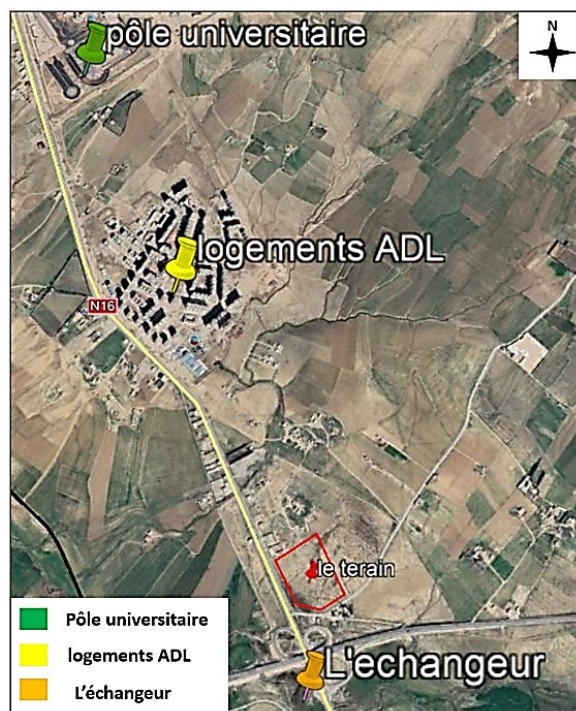


Figure 68: le repérage de terrain

Source : Auteur,2021 d'après google earth pro 2021.

2.6 Surface et morphologie du terrain :

Le terrain a une forme irrégulière d'une surface de 4.50 hectare. La figure (69) présente la morphologie et les dimensions du terrain.

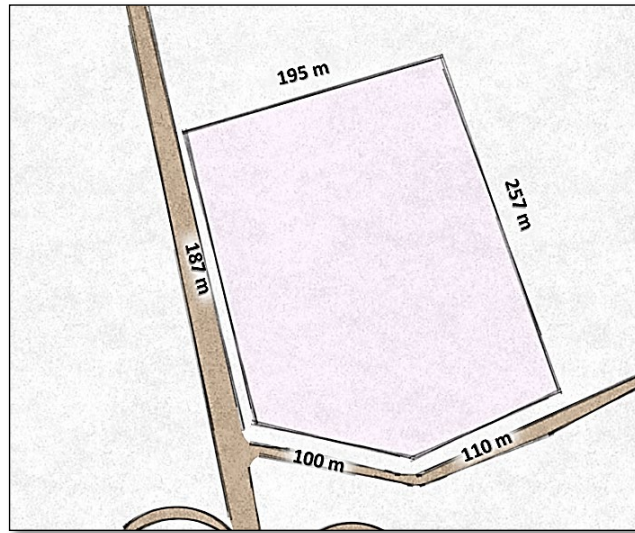


Figure 69: La morphologie du terrain

Source : Auteur,2021 à l'aide de logiciel sketshup

- **Les axes de terrain :**

Les figures (70) et (71) présente les axes de composition et de la visibilité du terrain.

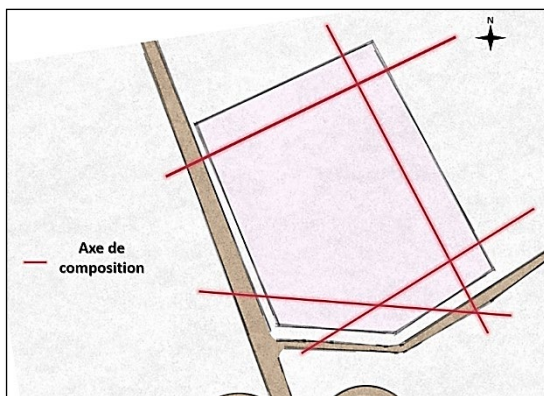


Figure 70: Axes de composition du terrain

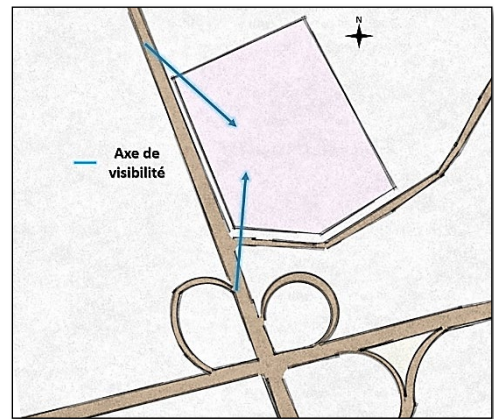


Figure 71: axes de visibilité

Source : Auteur 2021 à l'aide de logiciel sketshup

2.7 Relief et topographie du terrain :

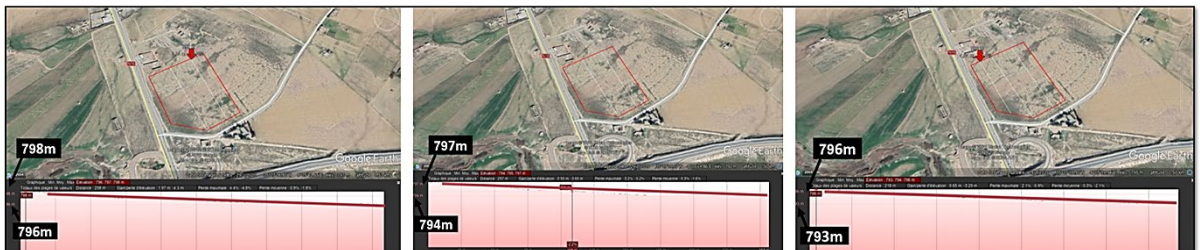


Figure 72: Coupe transversal de terrain

Source : google earth pro, 2021



Figure 73: coupe longitudinale du terrain

Source : googleearth pro,2021

- L'assiette du projet comporte une pente uniforme comme la montre (Figure 72) et (Figure 73) :
 - Longitudinal : 1,30 %
 - Transversal : 2,10 %
- La pente n'influe pas sur la conception du projet

2.8 Analyse climatique du terrain :

La figure (74) représente le parcours solaire et direction des vents dans le terrain en se basant sur la rose du vent et le diagramme solaire de la région de Tébessa selon (météonorm,2021)

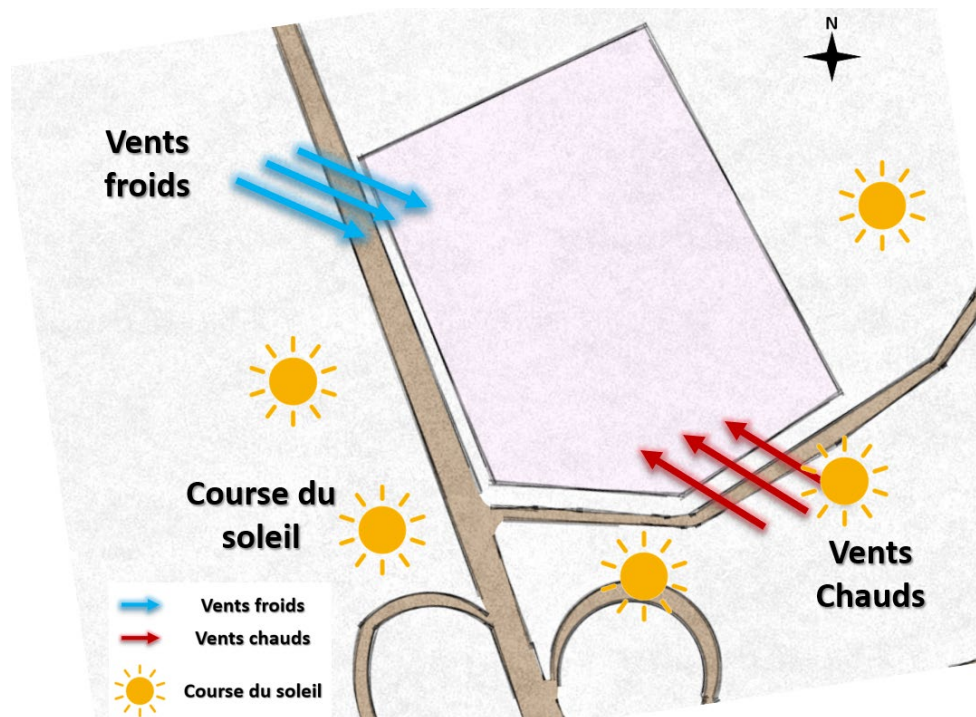


Figure 74: Analyse climatique du terrain

Source : Auteur,2021 à l'aide de logiciel sketshup

3. Présentation du programme de centre commercial :

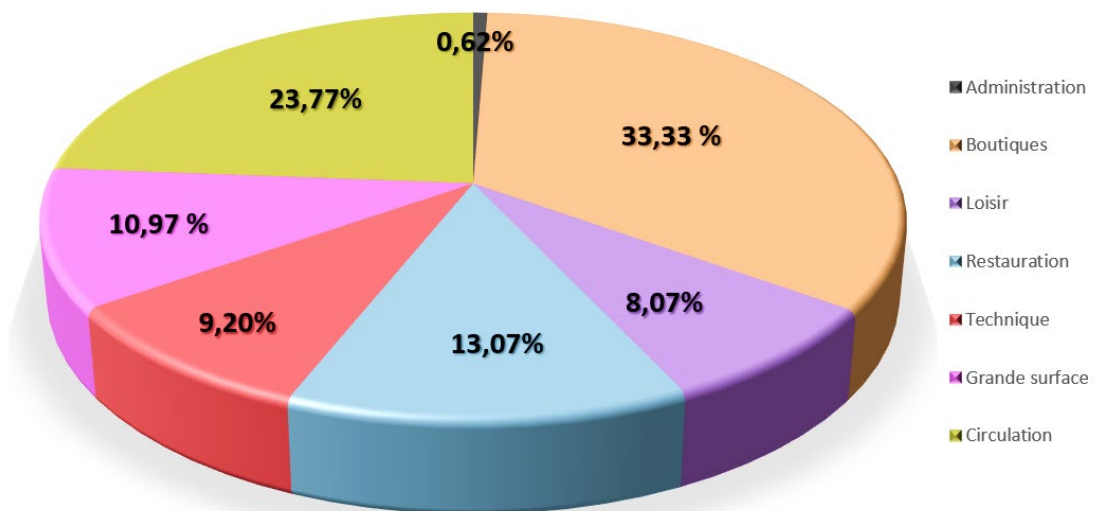
En se basant sur l'étude du support théorique des centres commerciaux et sur l'analyse des différents exemples, on a élaboré un programme quantitatif et qualitatif d'un centre commercial. C'est un grand centre commercial selon la classification de CNCC avec une superficie de 30821 m² qui se divise en espaces commerciaux (l'activité principale) avec des espaces de détente, loisir et consommation. Le tableau ci-dessous (Tab 6) montre les détails du programme.

Tableau 6: le programme qualitatif et quantitatif du centre commercial (Auteur, 2021 selon l'analyse des exemples et le support théorique)

	Espace	Surface(m ²)	Nombre	Surface Totale(m ²)	
Administration	bureau directeur	32	1	32	
	secretariat	16	1	16	
	salle réunion	64	1	64	
	bureau gestionnaire	16	1	16	
	service achat et vente	20	1	20	
	bureau comptable	16	1	16	
	service magasin	16	1	16	
	espace d'attente	12	1	12	
	sanitaire	1,5	8	12	
Espace circulator		30,6	1	30,6	15%
Technique	depot generale	3200	1	3200	
	climatisation	50	1	50	
	chaufferie	50	1	50	
	vestaire	20	2	40	
	sanitaire	1,5	8	12	
Espace circulator			1	0	
Grand Surface	hypermarché	3000	1	3000	
Espace cerculator			1	0	
b o u t i q u e s	parfumerie	80	2	160	
	accecoire femme	80	2	160	
	fleuriste	80	1	80	
	librairie	120	1	120	
	bijouterie	100	1	100	
	pharmacie	80	1	80	
	artisanat	100	1	100	
	opticien	80	1	80	
	produit cosmétique	150	1	150	
	articles beauté spécialisé	250	1	250	
	articles beauté spécialisé	300	1	300	
	espace d'exposition libre	200	2	400	
	coiffure homme	150	1	150	
	coiffure femme	150	1	150	
	Décoration	120	2	240	
	magasin de meuble	250	2	500	
	magasin de tapisserie	150	1	150	
	magasin de lustre et miroire	150	1	150	
	magasin vetement specialiser	200	2	400	
	magasin spécialisé vetement	300	5	1500	
	magasinspécialisé vetement	250	4	1000	
	magasin vetement	150	2	300	
	magasin vetement	100	5	500	
	magasin chaussure spécialisé	200	3	600	
	magasin chaussure	150	2	300	
	magasin chaussure	100	4	400	
	vetement enfant	200	1	200	
	instrument musicaux	300	1	300	
	article de bureau	200	1	200	
	produit informatique	200	1	200	
	article de sport	500	1	500	
	magasin de tissue	150	1	150	
	dégraissage	100	1	100	
	jouer pour enfant	120	1	120	
	article de compagne	200	1	200	
sanitaire	1,5	24	36		
Espace circulator		5319	1	5319	50%

Loisir	salle de jeux enfant	350	1	350	
	salle de jeux adulte	1200	1	1200	
	cinema	600	1	600	
	garderi enfant	350	1	350	
	sanitaire	1,5	24	36	
Espace circulator		634	1	634	25%
Restauration	caféteria	400	1	400	
	caféteria	250	1	250	
	salon de thé	350	1	350	
	restaurant traditionnel	500	1	500	
	crémérie	300	1	300	
	JUICE bar	750	1	750	
	restaurant spécialiser	750	1	750	
	restaurant	450	1	450	
	pâtisserie	300	1	300	
	sanitaire	1,5	24	36	
Espace circulation		1021,5	1	1021,5	25%
Agence	agence de voyage	60	1	60	
	agence publicitaire	60	1	60	
	agence postale	60	1	60	
	agence automobile	60	1	60	
	agence bancaire	60	1	60	
	sanitaire	1,5	8	12	
Espace circulator			1		
service	hall d'entré		1	0	
	reception		1	0	
				Totale (m²)	30821,1

Le programme présenter sur le tableau (6) est traduit en un schéma graphique (graphe 1) afin de montrer le pourcentage de chaque fonction et sa dominance dans le centre commercial



Graph 1: Schéma graphique représente la dominance des différentes fonctions dans le centre commercial

Source : Auteur ,2021

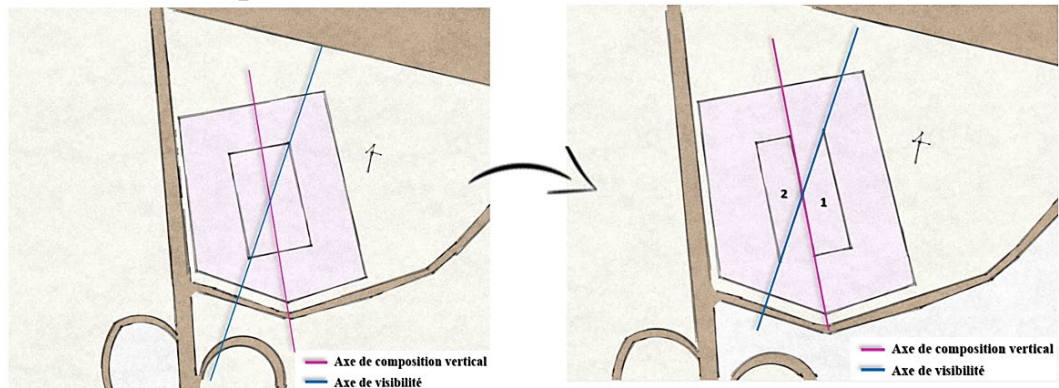
4. Objectifs et principes conceptuels :

Plusieurs objectifs serrant present en considération durant la conception du projet. Le tableau (7) explique en détailles les différentes objectifs et principes conceptuelles qui vont être appliquer dans la conception du projet.

Tableau 7: les objectifs et les principes conceptuels (Auteur,2021)

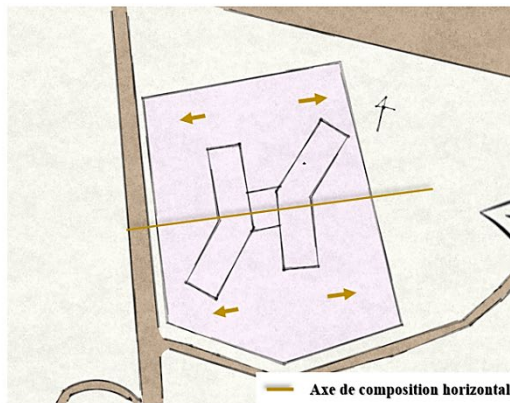
Objectifs	Principes (solutions)
<ul style="list-style-type: none"> • Minimiser la consommation énergétique. • Optimiser l'exploitation des énergies Solaire (énergie renouvelable). • Produire de l'énergie pour assurer les besoins énergétiques du centre commercial • Améliorer les gains énergétiques. • Améliorer la protection solaire. • Faciliter l'intégration du dispositif (Façade solaire adaptive à cellules photovoltaïques). 	<ul style="list-style-type: none"> • Exploitation de la façade solaire adaptive à cellules photovoltaïques • Une orientation optimale des façades (Façade orientée vers le sud /Est/Ouest/Sud-Ouest/Sud-Est) • Façade plane
<ul style="list-style-type: none"> • Sécuriser l'accessibilité mécanique et piétonne • Création d'une liaison entre les trois Agglomérations • Assurer l'accessibilité mécanique 	<ul style="list-style-type: none"> • Création d'une bretelle pour minimiser le flux de circulation • Création d'une passerelle pour faciliter le passage • Installation des arrêts de bus à côté du projet • Création de deux routes secondaires du côté Est et Nord de terrain.

6. Processus conceptuel :

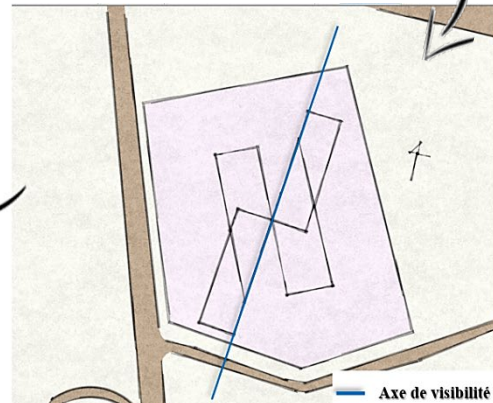


- Forme du départ c'est un rectangle
- Je le met au centre du terrain selon l'axe de composition du terrain (axe d'orientation Nord/Sud) afin de donner plusieurs possibilités d'orientation de volume.

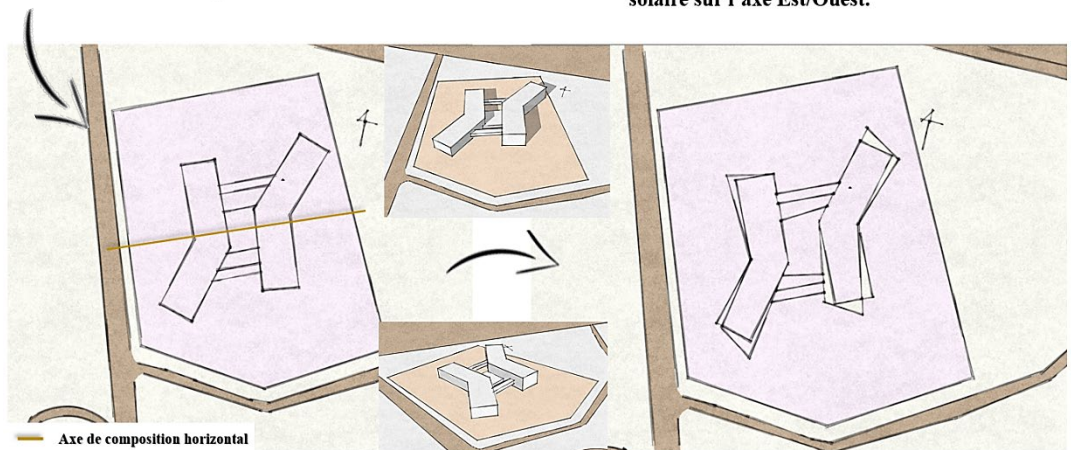
- Selon l'axe de visibilité et de composition de terrain on obtiens deux formes.



- Translation de deux volumes par rapport aux axe de composition horizontal
- Addition d'un socle pour des causes de fonctionnement.



- Addition par interpénétration au niveau des arrêts de deux rectangle selon l'axe de visibilité afin de bénéficier au maximum des rayon solaire sur l'axe Est/Ouest.



- Addition de deux rectangle selon l'axe de composition horizontal afin de créé une liaison spatiale entre les deux volumes.

- Utilisation le style déconstructiviste comme un outil d'amélioration de la composition formel et l'orientation des façades → afin de profiter au maximum des rayon solaire répartie sur toutes les façades.

Figure 77: les Processus conceptuels du projet

Source : Auteur,2021

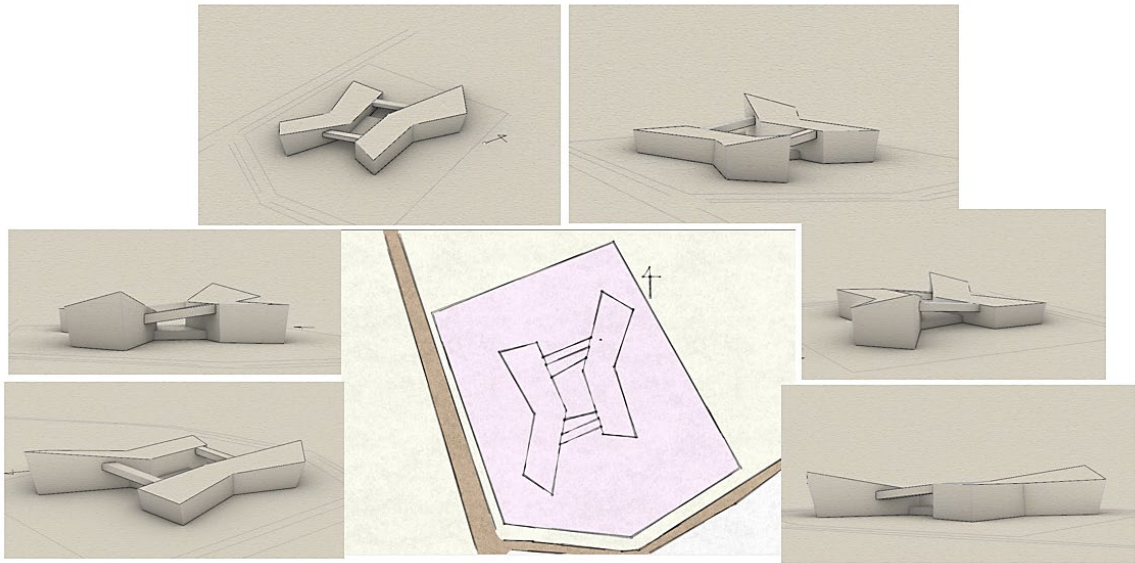


Figure 78: forme de départ proposé

Source : Auteur,2021

Conclusion :

Selon les principes conceptuels du thème, les données du terrain, l'étude climatique et l'analyse fonctionnelle et spatial du projet on a pu concevoir une première composition. Cette composition fera l'objet d'évaluation dans le chapitre suivant afin d'évaluer ses performances énergétiques et l'améliorer en choisissant la meilleure orientation de ces façades dans le but de profiter au maximum des rayons solaires repartie presque sur toutes les façades.

Chapitre 04 :

Amélioration de la conception
des façades adaptives
solaires à cellules
photovoltaïques

Introduction :

Dans la partie précédente, on a conçu un volume basé sur le principe de fonctionnement et la logique conceptuelle des centres commerciaux, ainsi que l'analyse du terrain et les principes de la conception d'une façade adaptative solaire à cellules photovoltaïques. Dans ce chapitre on va explorer les recherches précédentes, afin de comprendre les méthodes et les outils qu'ils ont utilisé dans ce type de recherche ; ainsi on va évaluer la conception de départ du projet pour l'améliorer à travers l'orientation des façades pour bénéficier au maximum des rayons solaires dans le but de concevoir un bâtiment efficace énergétiquement.

Pour cela on va concevoir un protocole de simulation qui aide à améliorer les façades et à calculer la consommation du bâtiment en utilisant un outil de simulation : Rhinoceros avec le plugin grasshopper / ladybug / honeybee, ainsi on va estimer la production de l'enveloppe photovoltaïques adaptative à l'aide du logiciel PVGIS.

1. Recherches précédentes :

Plusieurs recherches ont été effectuées dans le cadre de l'étude des façades adaptives solaires à cellules photovoltaïques, on cite parmi ces recherches :

Recherche 01 :

- Dans le but d'étudier l'impact de la façade solaire adaptative sur la consommation énergétique du bâtiment, l'optimisation de l'efficacité énergétique et le confort de l'utilisateur un premier prototype d'application de la technologie (ASF), illustré aux (Figure79), a été construit sur le bâtiment House of Natural Resources (HoNR) à Zurich.



Figure 79: Construction d'un prototype ASF à l'échelle du bâtiment Naturel Ressources (HoNR)

Source : ETH Zurich,2021

- La façade est orientée vers le sud avec une surface de 3.9×3.2 m et contient 50 modules photovoltaïques.

- La recherche effectuée par (Johannes et al ,2016) été basée sur une simulation réalisée par le logiciel Rhinoceros et son plugin de modélisation paramétrique Grasshopper sur une façade adaptive solaire à cellules photovoltaïques tout en calculant simultanément l'énergie demandée par l'espace de bureau en utilisant Energy Plus et l'interface DIVA et la production de l'énergie par les modules photovoltaïques traitées en Python, ainsi que l'étude de l'espacement entre les modules photovoltaïques.
- Les résultats obtenus de cette recherche :
 - Les modules peuvent effectuer un mouvement sur deux axes selon l'ongle d'altitude et d'azimut : sur l'axe horizontal, les modules peuvent passer de 0° (fermé) à Position 90° (ouvert) et dans l'axe vertical, il peut passer de 45 ° à -45 °. Ce qui configure qu'une position ouverte sont choisies pour minimiser les demandes de chauffage du bâtiment pendant les mois d'hiver et tôt le matin du printemps et de l'automne ainsi que cette position préférée pour minimiser l'utilisation de l'éclairage artificiel pendant les heures de matin et soir. De même les positions fermées sont préférées solutions pour minimiser la demande de refroidissement pendant mois d'été, mais suffisamment de lumière est autorisée à passer pour éclairer suffisamment l'espace.
 - Globalement, la façade adaptive solaire à cellules photovoltaïques compense 41% de la demande énergétique du bâtiment au cours de l'année.
 - L'effet de l'auto-ombrage réduit l'efficacité des panneaux photovoltaïques ce qui oblige un espacement entre les modules photovoltaïques afin d'effectués un suivie solaire.

Recherche 02 :

- Dans le but d'estimer les potentiels d'économie d'énergie et de génération de l'enveloppe photovoltaïque adaptative.
- La recherche effectuée par (Bratislav Svetozarevic et al,2019) basé sur une simulation avec le logiciel Rhinoceros et son plugin de modélisation paramétrique Grasshopper afin de comparer un enveloppe intègre une façade adaptive solaire à cellules photovoltaïques (PV) avec deux variations : d'une part, à une enveloppe PV statique et d'autre part un enveloppe sans aucun dispositif (sans ombrage), en calculant à chaque fois la demande d'énergie (chauffage, climatisation) ainsi la production PV.

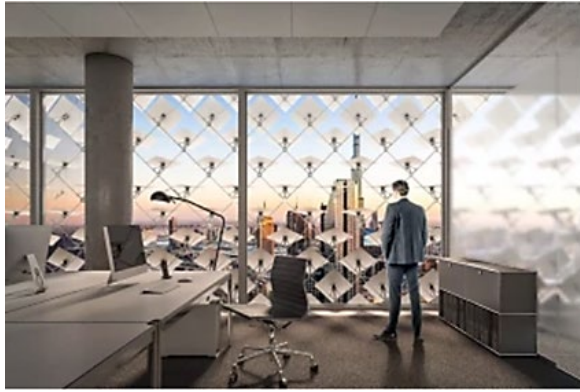


Figure 80: Une vue rendue de l'intérieur du bâtiment de l'étude

Source : Bratislav Svetozarevic et al,2019

- L'enveloppe couvre une pièce entièrement vitrée (Figure 80) exposée au sud dans des conditions climatiques différentes (Helsinki, Zurich et Le Caire), et pour les deux types d'utilisation de bâtiment les plus courants, bureaux et résidentiel. Dans la simulation, l'enveloppe est contrôlée pour maximiser l'éclairage confortable et les conditions thermiques pour les occupants.
- Les résultats obtenus de cette recherche :
 - L'équipement avec une façade adaptative solaire à cellules PV diminue la demande annuelle d'énergie de la pièce de 37% à 73% grâce à sa capacité d'adaptation ce qu'il lui permet de réduire la demande de chauffage, et électricité, le système adaptatif peut minimiser cet effet en ouvrant ses panneaux lorsque cela est nécessaire, pour permettre au rayonnement solaire de pénétrer dans l'espace intérieur et de le chauffer passivement. Par contre l'enveloppe photovoltaïque statique réduire la demande d'énergie de 6% à 19%. Mais dans l'enveloppe seule (sans dispositif), il n'est pas possible de maintenir des conditions intérieures confortables, un chauffage, un refroidissement ou un éclairage actif sont utilisés, ce qu'il signifie l'augmentation de la demande d'énergie dans les conditions étudiant.

Recherche 03 :

- Une recherche a été effectuée par (Stefan Caranovic et al ,2019) dans le but de tester l'actionneur dynamique, les performances et l'efficacité de la façade adaptative solaire à cellules photovoltaïques et la stabilité au vent dans des conditions météorologiques réalistes.

- Un prototype d'enveloppe de 3,9 x 3,2 m, avec 16 modules (Figure 81) a été construit et installé sur un bâtiment à l'ETH Zurich en Suisse.
- La recherche sert à comparer une façade PV adaptive avec deux façade PV statique inclinées verticalement à 10 ° et 42 °



Figure 81: Le model de recherche

Source : Stefan Caranovic et al ,2019

- Les résultats obtenus pour cette recherche :
 - Les expériences démontrent un fonctionnement efficace et robuste de l'enveloppe dynamique dans des conditions météorologiques typiques à Zurich, en Suisse, à des températures extérieures comprises entre 3 ° C et 20 ° C et des vitesses de vent variables jusqu'à 30 km h-1. Ce qui signifie l'efficacité et la stabilité des composante de l'enveloppe solaire adaptive surtout l'actionner pneumatique avec ses composantes qui lui permet de fonctionner dans tous les climats.
 - Des gains d'énergie de l'enveloppe adaptive est de 47% par rapport à l'enveloppe statique avec 15% des gains d'énergie.

2. Méthodes d'évaluation :

- **La méthode expérimentale :**

La méthode expérimentale dépend des calculs effectués sur l'assiette du projet et en utilisant différents moyens et mécanismes selon le type d'étude. Dans certains cas, des spécialistes et des chercheurs construisent une maquette pour y effectuer les tests nécessaires. Cette méthode a d'excellents résultats, mais cela nécessite d'énormes ressources automatiques et beaucoup de temps et d'efforts.

- **La méthode analytique :**

La méthode analytique repose principalement sur des calculs et des projections liés au phénomène à étudier (étude du mouvement du soleil et de son effet sur le bâtiment). Cette méthode se caractérise par le fait qu'elle demande beaucoup de temps en plus de la possibilité d'erreur humaine, elle a été utilisée avant l'invention des programmes de simulation.

- **La méthode numérique :**

La méthode numérique est basée sur l'utilisation du programme de simulation grâce à la grande évolution des différents programmes. Des nombreux chercheurs l'utilisent pour étudier des phénomènes qu'il leur était difficile à étudier par les méthodes mentionnées précédemment. Cette méthode est simple et peu coûteuse et ne prend pas beaucoup de temps pour apprendre le programme.

Synthèse :

On a opté pour l'utilisation de la simulation numérique comme une méthode d'amélioration de la conception de la façade adaptative solaire à cellules photovoltaïques parce qu'elle représente un moyen flexible pour toute modification concernant les données des façades ou il offre la possibilité de comparer plusieurs variantes et ses résultats entre elle donc elle permet de donner des résultats et des solutions en temps réel ce qui nous aide à prendre des décisions conceptuelles les plus efficaces pour le phénomène étudié.

3. Présentation du protocole de la simulation :

3.1 Objectif de la simulation :

- La simulation vise à améliorer la composition des façades adaptives solaires à cellules photovoltaïques à travers l'amélioration de leur orientation dans le but de bénéficier au maximum des rayons solaires répartis sur toutes les façades.

3.2 Paramètre de la simulation :

- Variable : Orientation du projet et des différentes façades.

3.3 Outils de la simulation :

Après avoir fixé la technique d'évaluation qui est la simulation numérique, on passe au choix de l'outil de la simulation en commençant par une présentation des différents logiciels qui peuvent offrir la possibilité d'évaluation de la façade solaire adaptative à cellules photovoltaïques :

3.3.1 Logiciel ECOTECT :

Le logiciel de construction écologique Autodesk ECOTECT Analysis est un outil d'analyse durable complet qui offre une large gamme de fonctionnalités de simulation depuis la phase d'avant-projet jusqu'à celle de détail qui associe un modéleur 3D avec des analyses solaire (Figure82), thermique, acoustique et éclairage. ECOTECT basé sur les méthodes d'équilibre CIBSE, Cette méthode utilise des facteurs météorologiques et thermiques basés sur une fréquence de 24 heures qui offre la possibilité de calcule les charges de chauffage et refroidissement. (Berghout et al,2014 ; autodesk,2021)

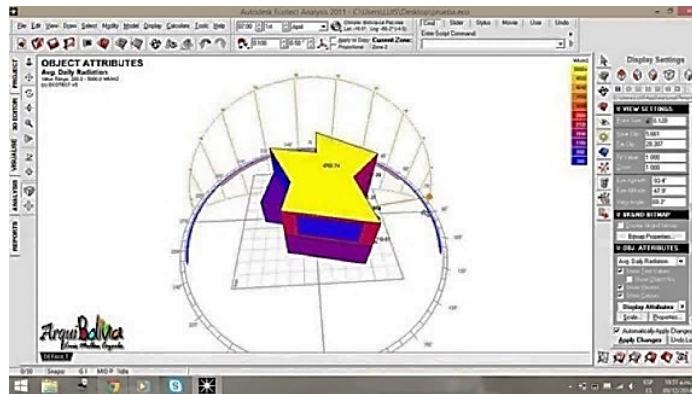


Figure 82: logiciel ECOTECT analyse solaire

Source : Luis Miguel ,2014

3.3.2 Logiciel PVGIS :

C'est un excellent outil gratuit en ligne de simulation qui permet l'estimation de la production photovoltaïque (Figure 83) connectés au réseau en Europe en Afrique et maintenant en ASIE et en Amérique. A l'aide de son interface Google Maps intégré, il est très facile d'obtenir les données de production d'un système photovoltaïque à partir des données d'ensoleillement précises du site. (Photovoltaic-software,2021)



Figure 83: Logiciel PVGIS

Source : Système d'information géographique photovoltaïque ,2021

3.3.3 Logiciel Rhinoceros :

Rhinoceros 3D est un logiciel de CAO comprenant une multitude d'outils de modélisation 3D complexes, qui permet de créer des formes inimaginables, avec une grande précision et beaucoup de détails, que ce soit à partir d'un dessin, d'une esquisse ou même d'un scan 3D. (Mélanie,2020). Rhinoceros comprend plusieurs plugins qui permet l'évaluation de la façade adaptive solaire à cellules photovoltaïques, la figure (84) présente la fenêtre de travail du logiciel.

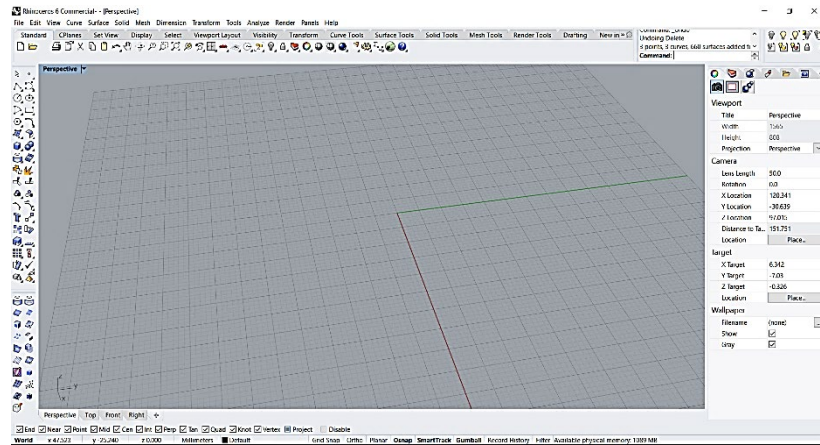


Figure 84: Logiciel Rhinoceros

Source : Auteur,2021 d'après Rhinoceros 6

a) Grasshopper :

Grasshopper (GH) est un plugin de Rhinoceros 3D c'est-à-dire un programme complétant les fonctionnalités d'un logiciel (Figure 85). Le plugin GH permet de créer des modèles paramétriques sur Rhinoceros grâce à la programmation visuelle. (Guéna et al,2012 ; Rhinoforyou,2021)

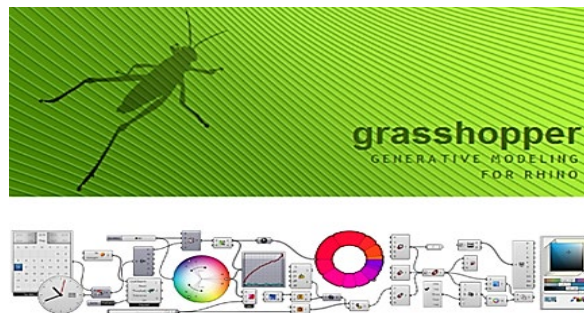


Figure 85: Plugin grasshopper de Rhinoceros

Source : rhinoforyou,2021

b) Ladybug / grasshopper :

Ladybug est une collection d'applications informatiques, d'importer et d'analyser des données météorologiques standard (EPW) dans Grasshopper, dessinez des diagrammes comme le chemin du soleil, la rose des vents, la rose des radiations personnaliser les diagrammes de

plusieurs manières ; exécuter une analyse de rayonnement (Figure86), des études d'ombre et une analyse de vue permet les concepteurs de prise de décision pendant les étapes initiales de la conception. (Roudsari,2020)

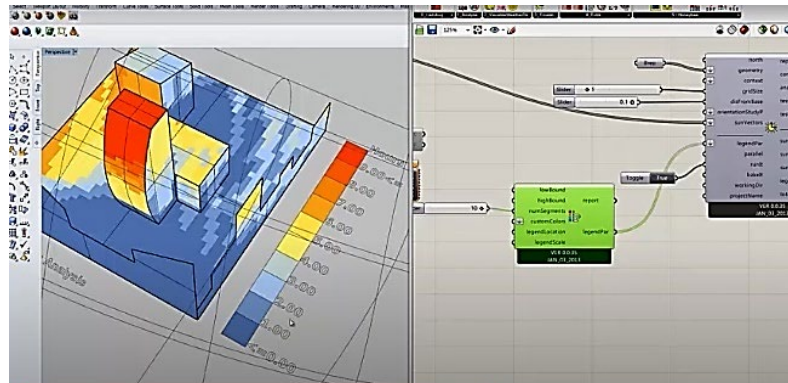


Figure 86: plugin ladybug analyse solaire

Source : Mostapha Sadeghipour,2013

c) Honeybee / grasshopper :

Honey bee connecte Grasshopper 3D a des moteurs de simulation très connus tel que énergie plus, Radiance, Daysim et OpenStudio pour effectuer la simulation de l'énergie (Figure87), du confort, de l'éclairage naturel du bâtiment (Mélanie,2020).

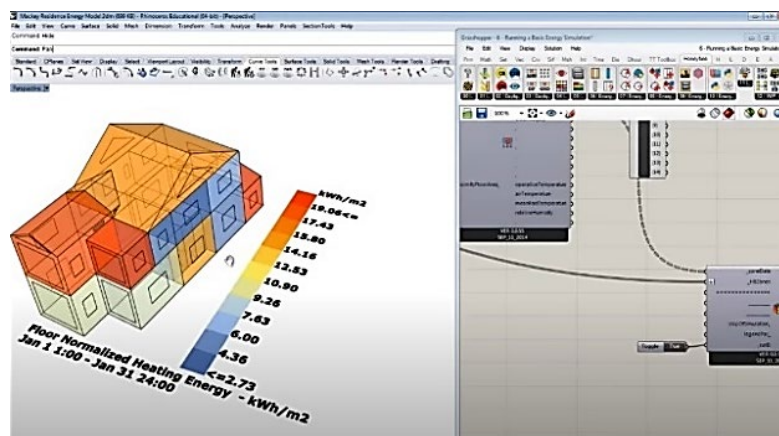


Figure 87: plugin honeybee analyse d'énergie

Source : Mostapha Sadeghipour,2013

- On a opté à utiliser Rhinoceros comme un outil de simulation avec le plugin grasshopper et ladybug / honeybee pour calculer la demande d'énergie et améliorer la composition des façades parce que c'est un logiciel gratuit disponible, accessible facile à apprendre, ainsi que les données demandées sont disponibles et les résultats obtenus sont compatibles avec ma problématique et permet de donner des résultats en temps réel.

- Aussi pour estimer la production de l'enveloppe photovoltaïque on a opté à utiliser le logiciel PVGIS parce que c'est un logiciel gratuit et accessible facile à manipuler et les données demander sont disponibles.

3.4 Le protocole de la simulation :

Afin d'aboutir l'objectif de la recherche, le travail est structuré en deux grandes Phases de simulation :

La simulation est effectuée à l'aide de logiciel Rhinoceros avec le plugin grasshopper / ladybug.

- Phase 01 : consiste à créer et modéliser l'ensemble du projet au sein du logiciel pour le préparer à la phase de simulation.
- Phase 02 : création de l'équation du calcul sur grasshopper en entrant les données climatiques de Tébessa, et toutes les données dont le logiciel a besoin.
- Phase 03 : consiste à organiser les résultats obtenus sous forme de graphes afin de mieux comprendre le phénomène étudié.

Les paramètres du travail et le modèle de la simulation sont présentés dans la figure (88)

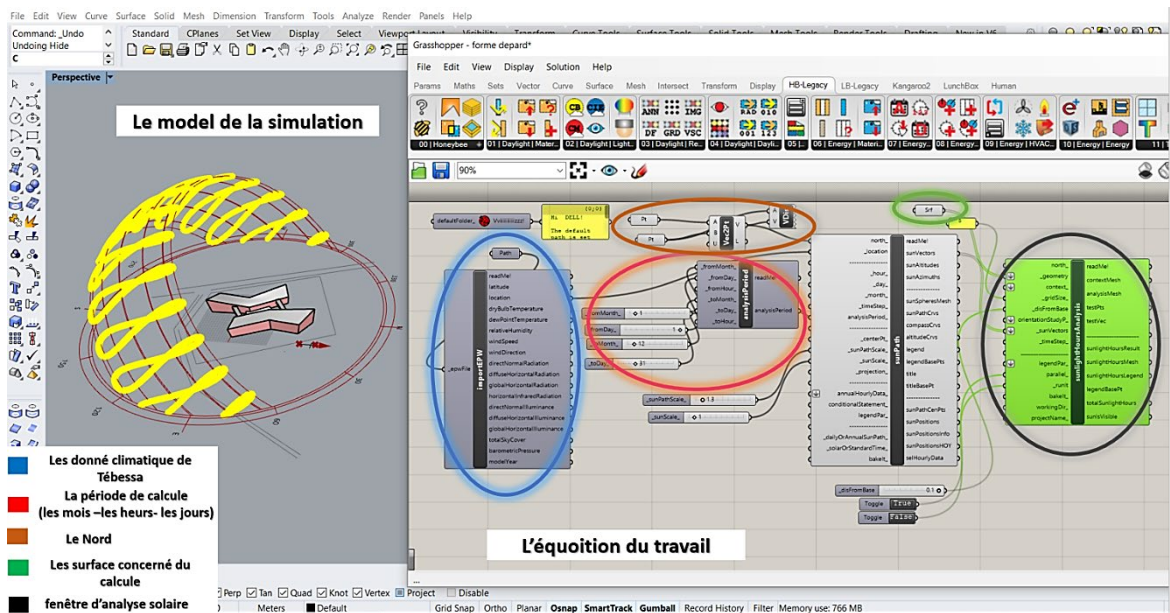
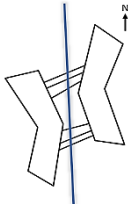
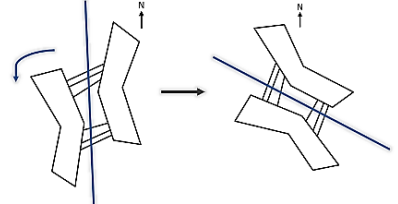
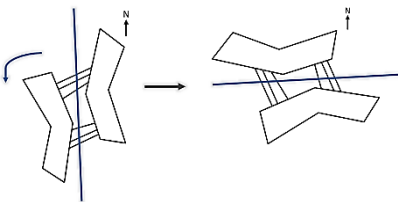
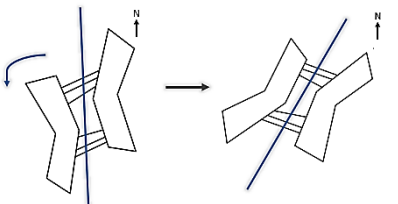
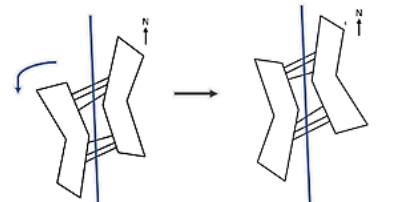
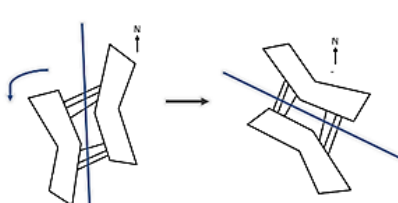


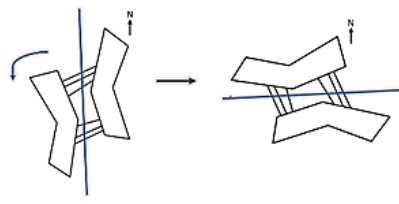
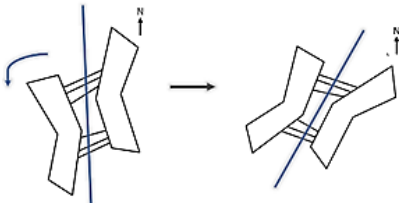
Figure 88: le modèle de la simulation (Auteur, 2021 à l'aide du logiciel Rhinoceros)

Etape 01 : orientation globale du projet :

Dans le but de choisir la meilleure orientation et pour tester l'orientation de départ des façades du projet, on a varié l'orientation de l'axe du projet depuis l'angle 0° jusqu'à 315° avec un pas de 45°, donc on a obtenu 08 variantes comme le montre le tableau suivant :

Tableau 8: Scénario de simulation étape 01 (Auteur ,2021)

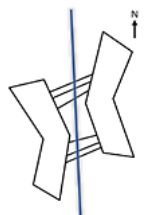
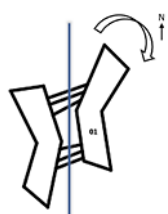

	Forme	Orientation
A		<p>Forme de départ (État 0)</p>
B		<p>-Rotation 45° -Axe Est/Ouest</p>
C		<p>-Rotation 90° -Axe Est/Ouest</p>
D		<p>-Rotation 135° -Axe Est/Ouest</p>
E		<p>-Rotation 180° -Axe Est/Ouest</p>
F		<p>-Rotation 225° -Axe Est/Ouest</p>

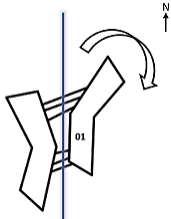
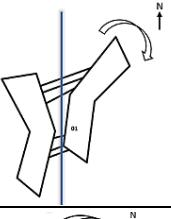
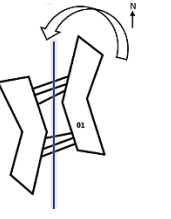
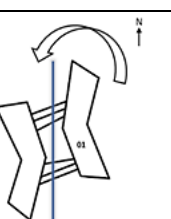
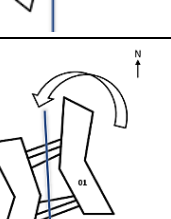
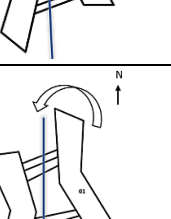
G		<p>-Rotation 270° -Axe Est/Ouest</p>
H		<p>-Rotation 315° -Axe Est/Ouest</p>

Etape 02 : variation de l'orientation de volume (01) :

Après avoir fixé la meilleure orientation de la composition globale on va tester l'orientation de volume 01 dans la composition globale avec une orientation de 0° jusqu'à 20° O d'un pas de 5° et une orientation de -5° jusqu'à -20° E avec un pas de -5°. On va obtenir 08 scénarios comme le montre le tableau suivant :

Tableau 9: Scénario de simulation étape 02 (Auteur,2021)

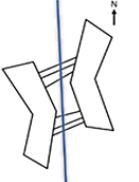
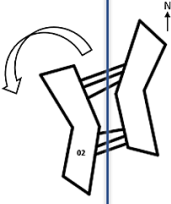
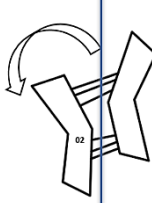
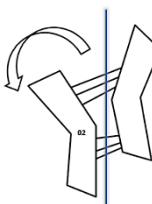
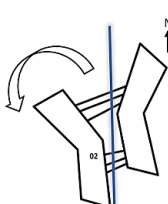
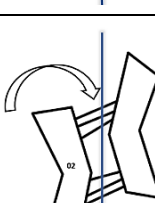
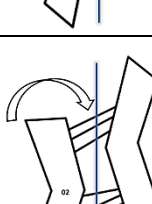
	Forme	Orientation
Ao		<p>Forme de départ (État 0)</p>
A1		<p>-Rotation de volume (1) -5° -Axe Est/Ouest</p>
A2		<p>-Rotation de volume (1) -10° -Axe Est/Ouest</p>

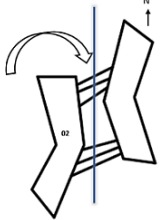
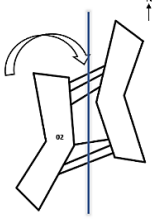
A3		<p>-Rotation de volume (1) -15° -Axe Est/Ouest</p>
A4		<p>-Rotation de volume (1) -20° -Axe Est/Ouest</p>
A5		<p>-Rotation de volume (1) 5° -Axe Est/Ouest</p>
A6		<p>-Rotation de volume (1) 10° -Axe Est/Ouest</p>
A7		<p>-Rotation de volume (1) 15° -Axe Est/Ouest</p>
A8		<p>-Rotation de volume (1) 20° -Axe Est/Ouest</p>

Etape 03 : variation de l'orientation du volume (02) :

Après avoir fixé la meilleure orientation de la composition globale on va tester l'orientation de volume 02 dans la composition globale avec une orientation de 0° jusqu'à 20° O d'un pas de 5° et une orientation de -5° jusqu'à -20° E d'un pas de -5° . On va obtenir 08 scénarios comme le montre le tableau suivant :

Tableau 10: Scénario de simulation étape 03 (auteur,2021)

	Forme	Orientation
Ao		Forme de départ (État 0)
A9		-Rotation de volume (2) 5° -Axe Est/Ouest
A10		-Rotation de volume (2) 10° -Axe Est/Ouest
A11		-Rotation de volume (2) 15° -Axe Est/Ouest
A12		-Rotation de volume (2) 20° -Axe Est/Ouest
A13		-Rotation de volume (2) -5° -Axe Est/Ouest
A14		-Rotation de volume (2) -10° -Axe Est/Ouest

A15		<p>-Rotation de volume (2) -15° -Axe Est/Ouest</p>
A16		<p>-Rotation de volume (2) -20° -Axe Est/Ouest</p>

Après qu'on a fixé la meilleure orientation des façades on passe à la deuxième étape qui se résume dans le calcul des besoins énergétiques du bâtiment et l'estimation de l'énergie produite.

Le calcul du besoin énergétique du bâtiment est effectué à l'aide de logiciel Rhinoceros avec le plugin grasshopper / honeybee.

- Phase 1 : consiste à créer et modéliser l'ensemble du projet au sein du logiciel pour le préparer à la phase de la simulation (Figure 89).
- Phase 2 : création de l'équation du calcul sur grasshopper en entrant les données climatiques de Tébessa, le fonctionnement du bâtiment, le ratio des ouvertures et toutes les informations concernant l'équipement et son fonctionnement.

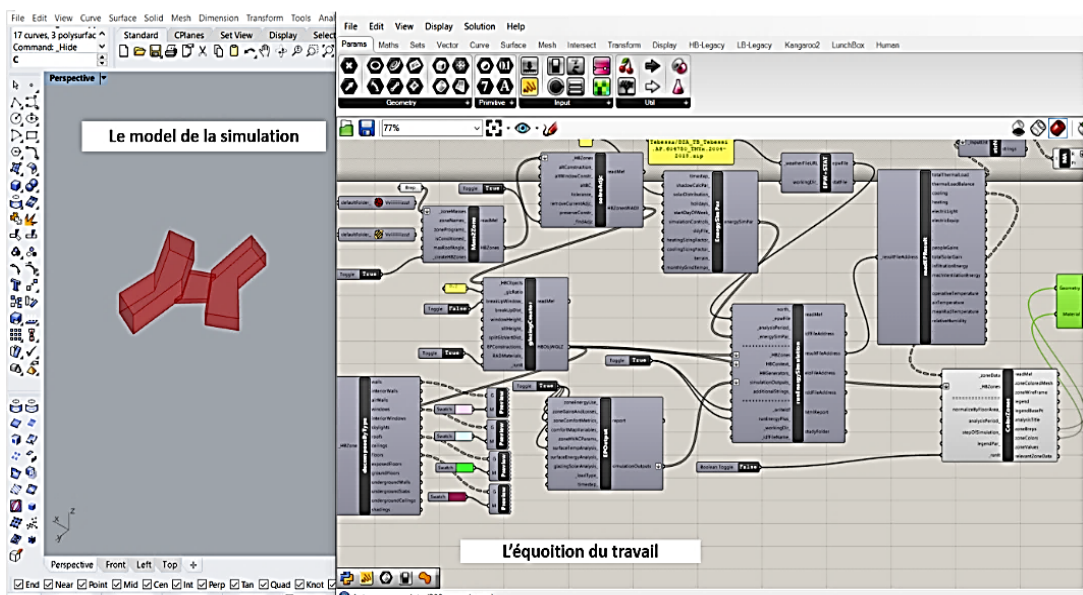


Figure 89: création du model de la simulation(auteur,2021 à l'aide du logiciel Rhinoceros)

- Phase 3 : le calcul s'effectue en deux étapes :

On premier lieu on va estimer les besoins énergétiques du bâtiment en période estivale (cooling) sans et avec la technologie de la façade adaptative solaire à cellules photovoltaïques, en deuxième lieux on va calculer les besoins énergétiques du bâtiment en période hivernal (heating) sans la technologie de la façade et avec une partie des modules photovoltaïques on position ouverte et l'autre partie en position normal (effectue un suivie solaire) afin de gérer les gains énergétiques externe.

- Phase 4 : organisation des résultats obtenus sous forme des graphes afin de mieux comprendre le phénomène étudié.

L'estimation de l'énergie produite par l'enveloppe photovoltaïque adaptative est effectuée à l'aide de logiciel PVGIS.

Tableau 11: les paramètres de calculs sur PVGIS(auteur,2021)

	Façade Ouest	Façade Sud-Ouest	Façade Est Nord-Est	Façade Est	Façade Sud(v1)	Façade Sud(v2)	Façade Ouest(v1)	Façade Est(v2)
Technologie PV	Monocristallins							
Puissance PV(KW/c)	1	1	1	1	1	1	1	1
Perte de système	14%	14%	14%	14%	14%	14%	14%	14%
Position d'intégration	Intégrer au bâtiment							
Inclinaison	α (selon H du soleil)							
Azimut	90°	51°	116°	82°	5°	23°	93°	88°
Surface de la façade	900m²	785m²	1200m²	1100m²	680m²	745m²	1300m²	990m²

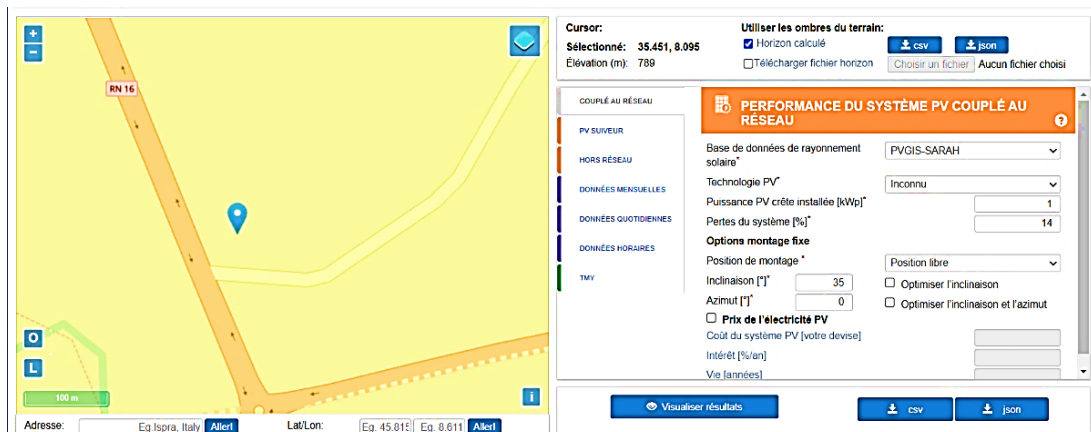


Figure 90: fenêtre de travail du logiciel PVGIS

Source : Système d'information géographique photovoltaïque ,2021

- Phase 01 : Insertion des informations dont le programme a besoin sur la fenêtre de travail du logiciel PVGIS comme le montre la figure (90), les paramètres de calcul sur le logiciel (le type, la capacité et l'emplacement du panneau solaire) sont présentés dans le tableau (11).
- Phase 02 : à l'aide d'une feuille de calcul sur Excel, on va organiser et calculer l'énergie produite réelle.

Conclusion :

Afin de réaliser l'objectif d'évaluation de la conception de départ du projet et d'amélioration de la composition et l'orientation des façades pour bénéficier au maximum des rayons solaires on a exploré les recherches précédentes qui nous a permis d'avoir des informations sur les méthodes et les outils utilisés dans ce type de recherche. Après avoir choisi la méthode on a passé à l'élaboration du protocole de la simulation on a pris comme variable l'orientation des différentes façades, les variations de cette variable on produit 24 scénarios.

Dans le chapitre suivant on va tester, interpréter et analyser les résultats des différents scénarios obtenus, ainsi on va calculer la consommation d'énergie du bâtiment et l'estimation de la production de l'enveloppe à modules photovoltaïques adaptives.

Chapitre 05 :

Application et résultats de la
simulation

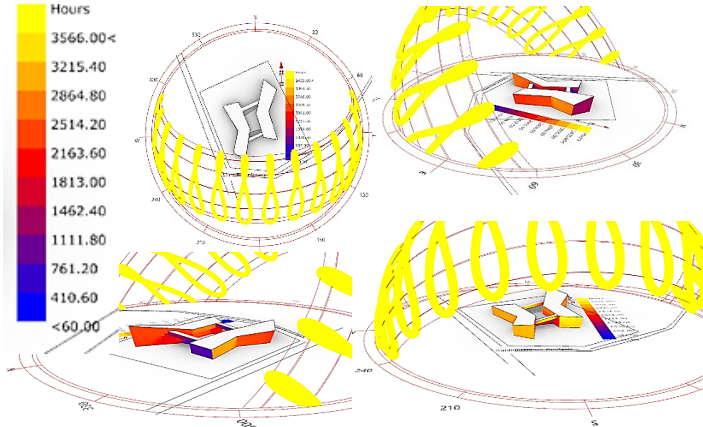
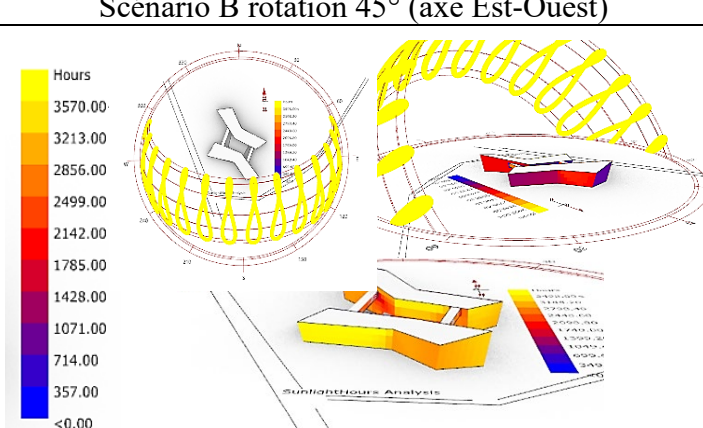
Introduction :

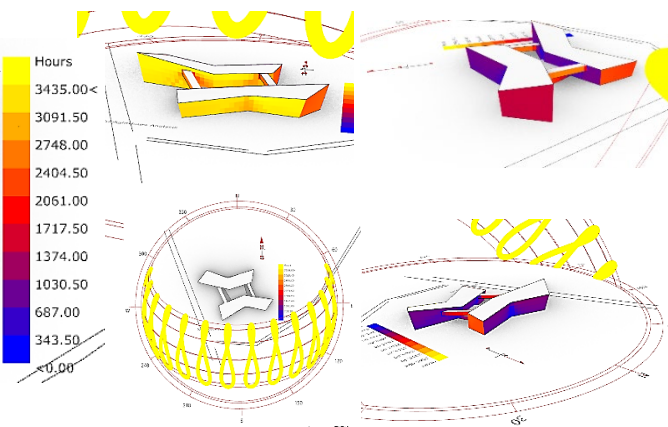
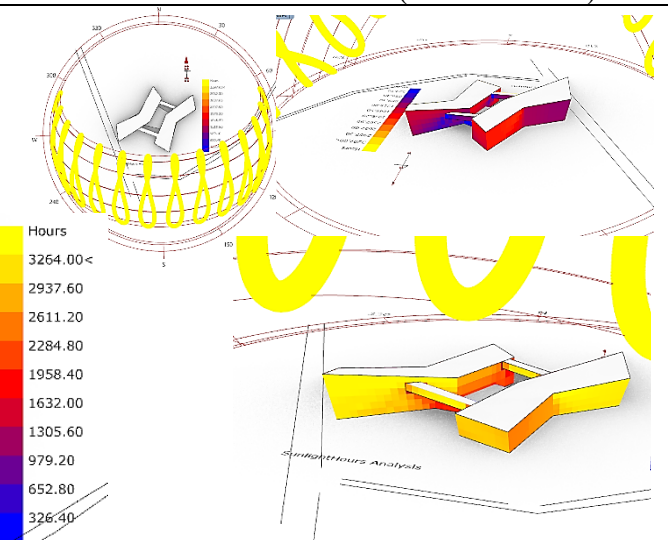
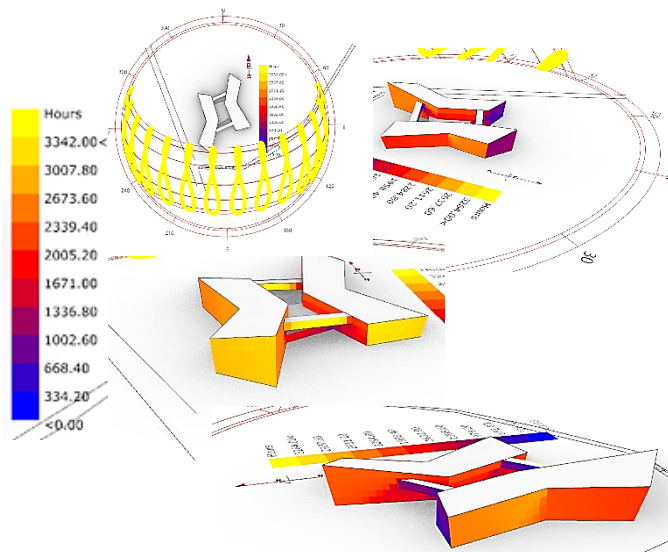
Les scénarios créés dans le chapitre précédant vont être testés à travers le logiciel Rhinoceros avec le plugin grasshopper/ladybug, les résultats obtenus seront analysés dans ce chapitre et comparés afin de choisir la meilleure orientation des différentes façades qui permet de profiter au maximum des rayons solaires tout le long de l'année. Ainsi on va appliquer la technologie des façades solaires adaptatives à cellules photovoltaïques et estimer la consommation du bâtiment et l'énergie produite par l'enveloppe à cellules photovoltaïques adaptative.

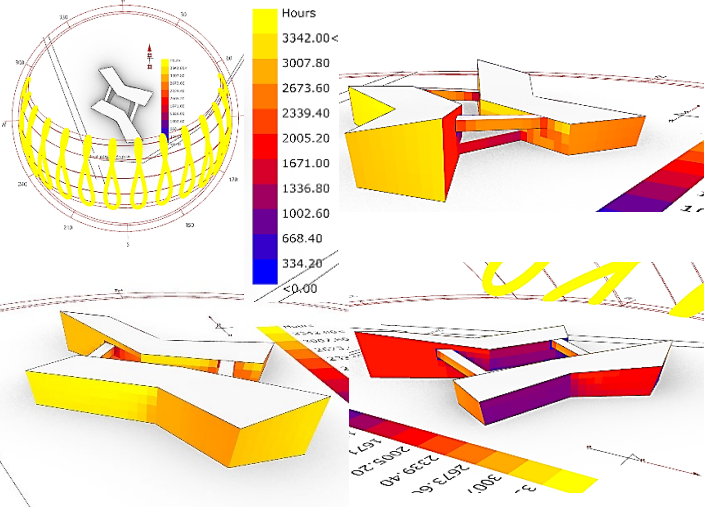
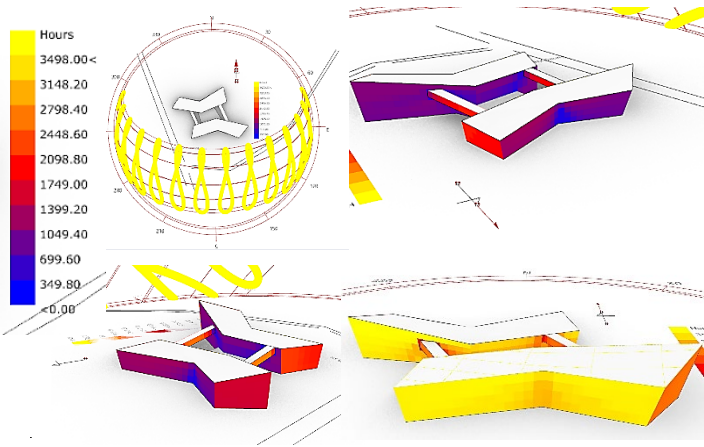
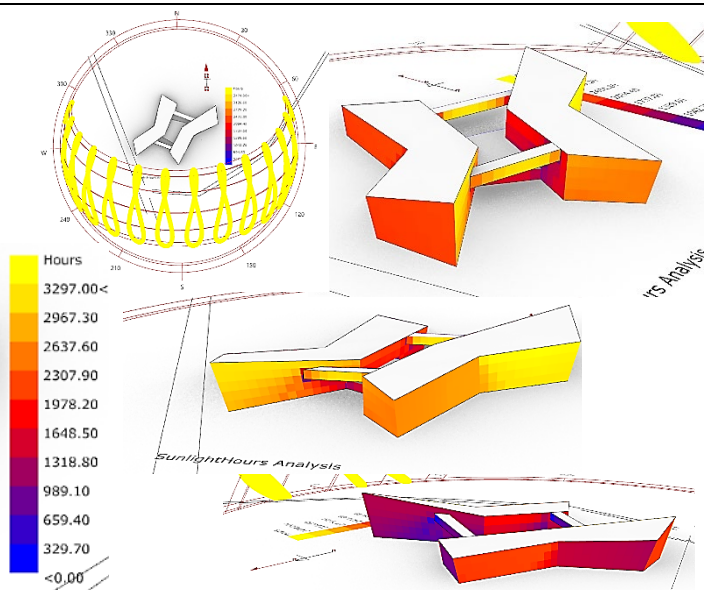
1. Les résultats de la simulation et discussion :

Etape 01 : Dans cette étape on a testé l'orientation globale de la composition dans l'objectif de choisir la composition qui permet plusieurs possibilités d'une bonne orientation des différentes façades donc on a obtenu 08 scénarios présentés dans le tableau (12) (plus de détails chapitre 04)

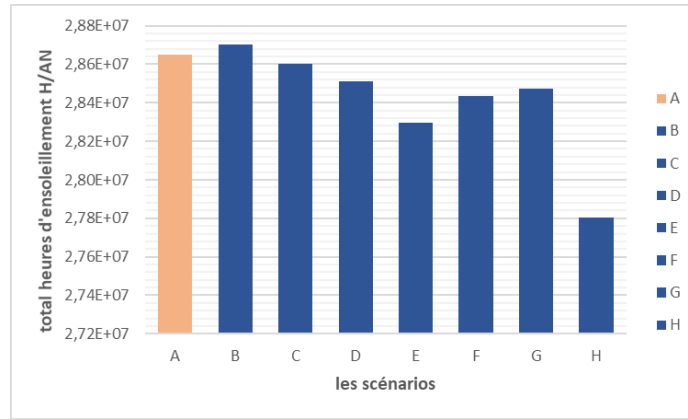
Tableau 12: les résultats de la simulation étape 01 (auteur,2021)

Scénario A (état 0) composition du départ (N/S)	Discussions
 <p>Hours</p> <ul style="list-style-type: none"> 3566.00< 3215.40 2864.80 2514.20 2163.60 1813.00 1462.40 1111.80 761.20 410.60 <60.00 	<p>Les résultats de la simulation du scénario (A) montre que les façades les plus ensoleillées sont les façades les plus larges avec une plusieurs possibilités de bonne ensoleillement (répartie sur tous les façades) Est/Sud-Est/Sud/Sud-Ouest/ Ouest</p> <p>Le taux d'ensoleillement globale des façades de la composition A est :</p> <ul style="list-style-type: none"> • 2.8652 e+7h/an.
 <p>Hours</p> <ul style="list-style-type: none"> 3570.00 3213.00 2856.00 2499.00 2142.00 1785.00 1428.00 1071.00 714.00 357.00 <0.00 	<p>Les résultats de la simulation du scénario (B) montre que les façades les plus ensoleillées sont les façades les plus larges avec une exposition solaire des différentes façades limitée (Sud-Ouest /Sud-Est)</p> <p>Le taux d'ensoleillement global des façades de la variante B est :</p> <ul style="list-style-type: none"> • 2.8704 e+7 h/an.

<p style="text-align: center;">Scénario C rotation 90°(axe Est-Ouest)</p> 	<p>Les résultats de la simulation du scénario (C) montre que les façades les plus ensoleiller sont les façades les plus large avec une exposition solaire des différentes façades limité (Sud)</p> <p>Le taux d'ensoleillement global des façades de la variante C est :</p> <ul style="list-style-type: none"> • 2.8603 e+7 h/an.
<p style="text-align: center;">Scénario D rotation 135°(axe Est-Ouest)</p> 	<p>Les résultats de la simulation du scénario (D) montre que les façades les plus ensoleiller sont les façades les plus large avec une exposition solaire des différentes façades limité (Sud-Est)</p> <p>Le taux d'ensoleillement global des façades de la variante D est :</p> <ul style="list-style-type: none"> • 2.8513 e+7 h/an.
<p style="text-align: center;">Scénario E rotation 180°(axe Est-Ouest)</p> 	<p>Les résultats de la simulation du scénario (E) montre que les façades les plus ensoleiller sont les façades les plus large(Est/Sud-Est/Sud/Sud-Ouest/ Ouest)</p> <p>Le taux d'ensoleillement globale des façades de la composition E est :</p> <ul style="list-style-type: none"> • 2.8294e+7h/an.

<p style="text-align: center;">Scénario F rotation 225° (axe Est-Ouest)</p> 	<p>Les résultats de la simulation du scénario (F) montre que les façades les plus ensoleiller sont les façades les plus large avec une exposition solaire des différentes façades limité (Sud-Ouest /Sud)</p> <p>Le taux d'ensoleillement global des façades de la variante F est :</p> <ul style="list-style-type: none"> • 2.8433 e+7 h/an.
<p style="text-align: center;">Scénario G rotation 270°(axe Est-Ouest)</p> 	<p>Les résultats de la simulation du scénario (G) montre que les façades les plus ensoleiller sont les façades les plus large avec une exposition solaire des différentes façades limité (Sud)</p> <p>Le taux d'ensoleillement global des façades de la variante G est :</p> <ul style="list-style-type: none"> • 2.8471 e+7 h/an.
<p style="text-align: center;">Scénario H rotation 315°(axe Est-Ouest)</p> 	<p>Les résultats de la simulation du scénario (H) montre que les façades les plus ensoleiller sont les façades les plus large avec une exposition solaire des différentes façades limité (Sud-Est)</p> <p>Le taux d'ensoleillement global des façades de la variante H est :</p> <ul style="list-style-type: none"> • 2.7804e+7 h/an.

• **Classement des résultats des scénarios de l'étape 01**



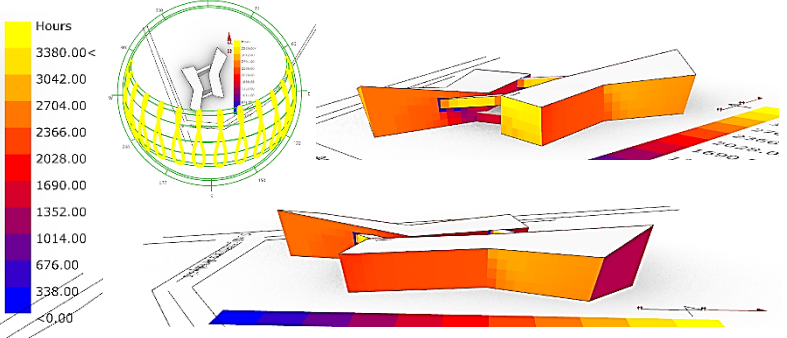
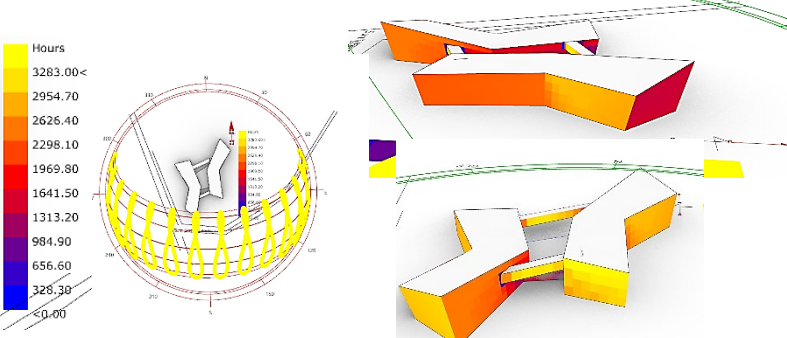
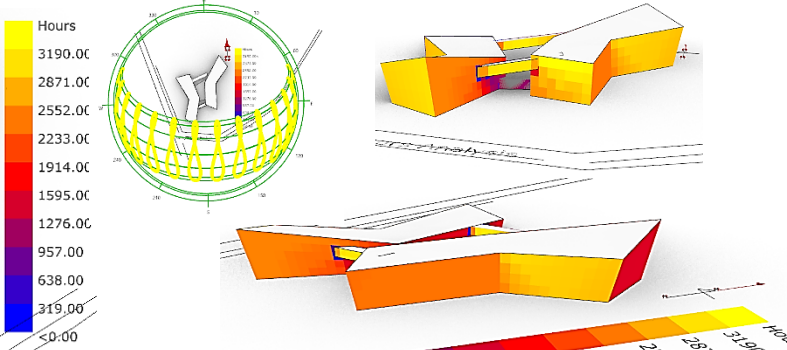
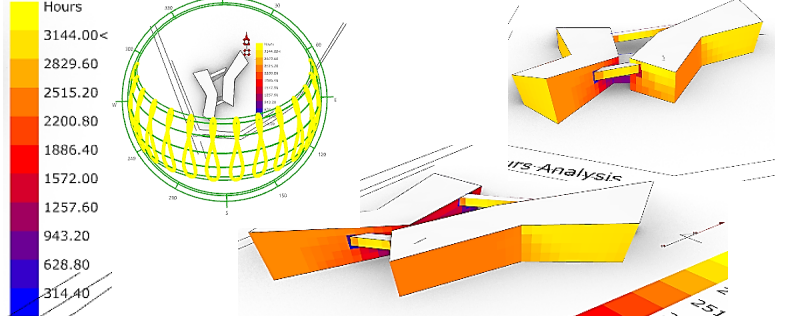
Graph 2: les résultats de la simulation étape 01(auteur,2021)

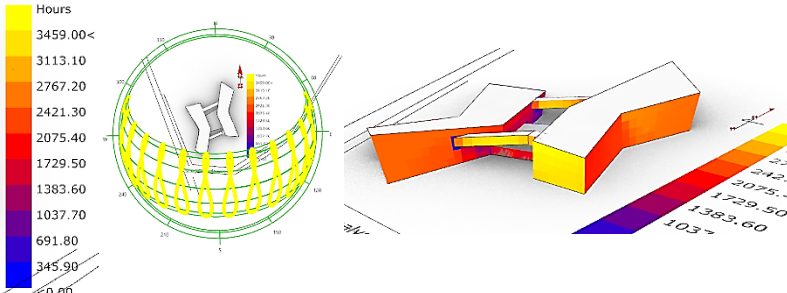
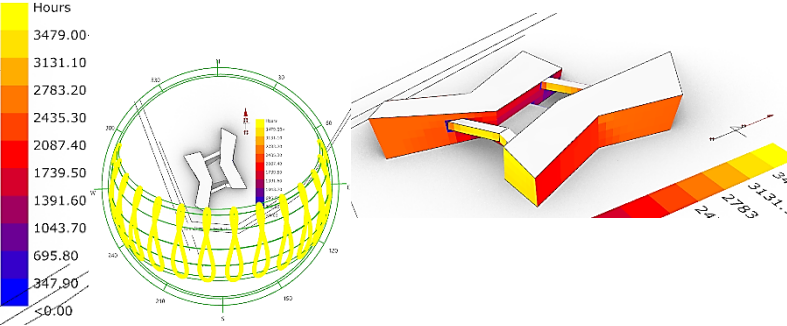
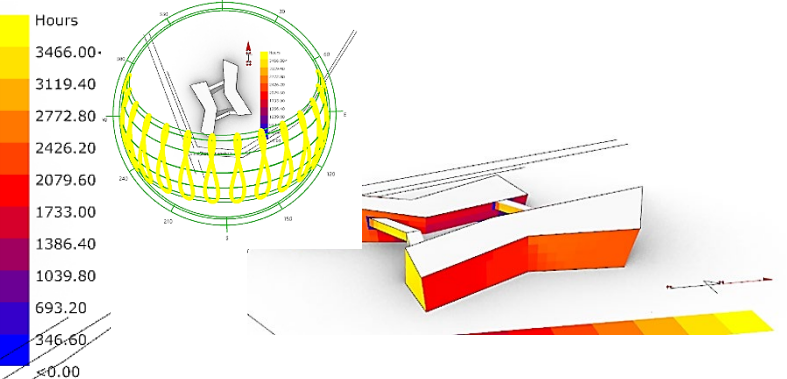
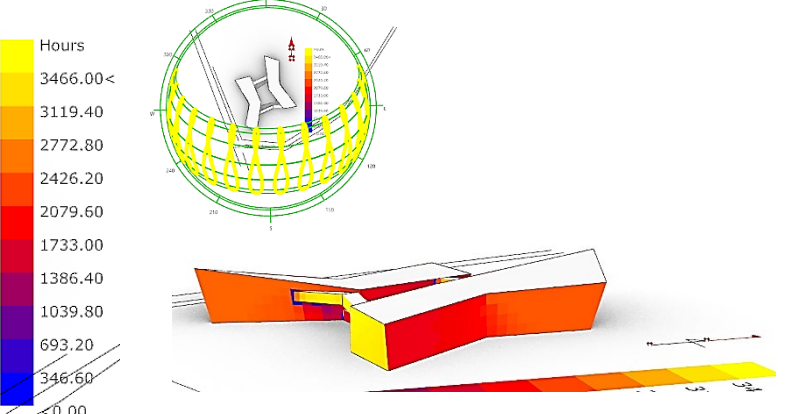
Dans le choix de la composition on a basé sur deux critères qui sont la production de l'énergie et la répartition des rayons solaire sur divers façades, donc d'après les résultats de simulation montré dans le graphe (2) on remarque que le meilleur résultat obtenu c'est la variante B qui donne un total d'enseillement au niveau des façades $2.8704 \text{ e}+7\text{h/an}$, mais c'est une composition qui permet une seule possibilité d'une bonne orientation (façades S-O et S-E). du coup on va opter pour la variante A qui a un total d'enseillement des façades qui est prêt des résultats de la variante B ($2.8652 \text{ e}+7\text{h/an}$) et en même temps il est réparti sur tous les façades c'est-à-dire il donne plusieurs possibilités de bon orientation (Sud/Sud-Est/Sud-ouest/Ouest et Est) ce qui permet de bénéficier au maximum de rayon solaire presque au niveau de tous les façades tout le long de la journée et pendant tous les jours du mois ce qui permet une bon production d'énergie par les modules photovoltaïques par rapport aux autre variantes (C ,D,E,F,G,H).

Etape 02 : Dans cette étape on va tester l'orientation du Volume (1) afin d'améliorer l'orientation des façades du volume, donc on a obtenu 08 variantes présenter dans le tableau(13)

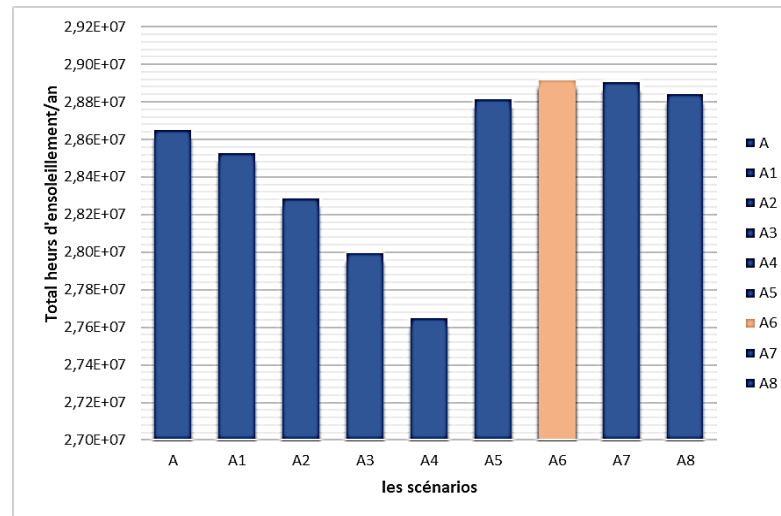
Tableau 13: les résultats de la simulation étape 02(auteur,2021)

Scénario Ao (composition du départ)	Discussion
	<p>Pour le scénario Ao le taux d'enseillement des différentes façades est :</p> <ul style="list-style-type: none"> • $2.8652 \text{ e}+7\text{h/an}$.

<p style="text-align: center;">Scénario A1 rotation (V1) -5° Est</p> 	<p>Le taux d'ensoleillement global de la composition A1 est :</p> <ul style="list-style-type: none"> • 2.8527 e+7h/an
<p style="text-align: center;">Scénario A2 rotation -10° Est</p> 	<p>Le taux d'ensoleillement global de la composition A2 est :</p> <ul style="list-style-type: none"> • 2.8287 e+7h/an
<p style="text-align: center;">Scénario A3 rotation -15° Est</p> 	<p>Le taux d'ensoleillement global de la composition A3 est :</p> <ul style="list-style-type: none"> • 2.7996 e+7h/an
<p style="text-align: center;">Scénario A4 rotation -20° Est</p> 	<p>Le taux d'ensoleillement global de la composition A4 est :</p> <ul style="list-style-type: none"> • 2.7650 e+7h/an

<p style="text-align: center;">Scénario A5 rotation 5° Ouest</p> 	<p>Le taux d'ensoleillement global de la composition A5 est :</p> <ul style="list-style-type: none"> • 2.8816 e+7h/an
<p style="text-align: center;">Scénario A6 rotation 10° Ouest</p> 	<p>Le taux d'ensoleillement global de la composition A6 est :</p> <ul style="list-style-type: none"> • 2.8914 e+7h/an
<p style="text-align: center;">Scénario A7 rotation 15° Ouest</p> 	<p>Le taux d'ensoleillement global de la composition A7 est :</p> <ul style="list-style-type: none"> • 2.8904 e+7h/an
<p style="text-align: center;">Scénario A8 rotation 20° Ouest</p> 	<p>Le taux d'ensoleillement global de la composition A8 est :</p> <ul style="list-style-type: none"> • 2.8839 e+7h/an

• **Classement des résultats des scénarios de l'étape 02**



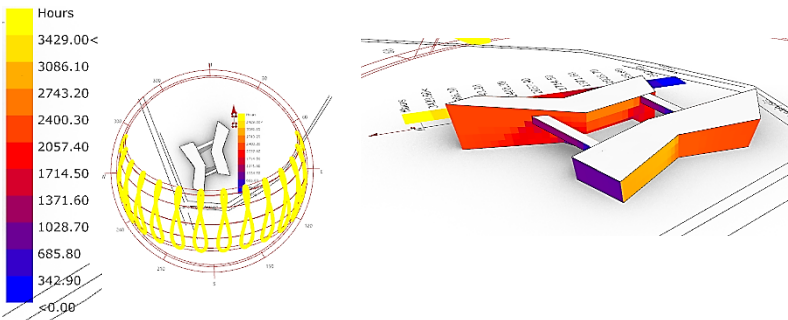
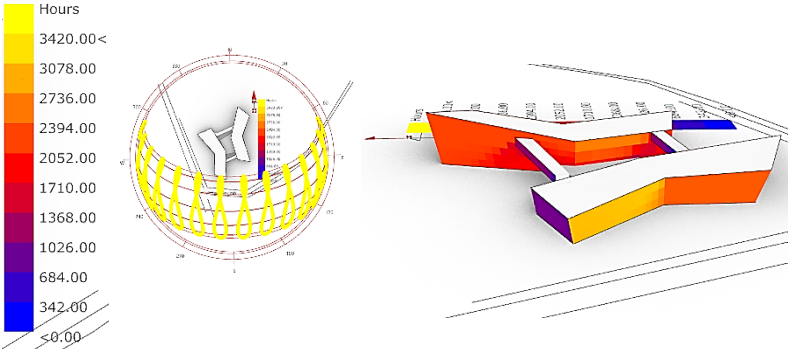
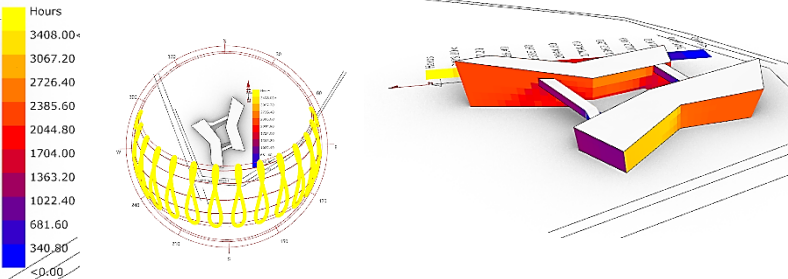
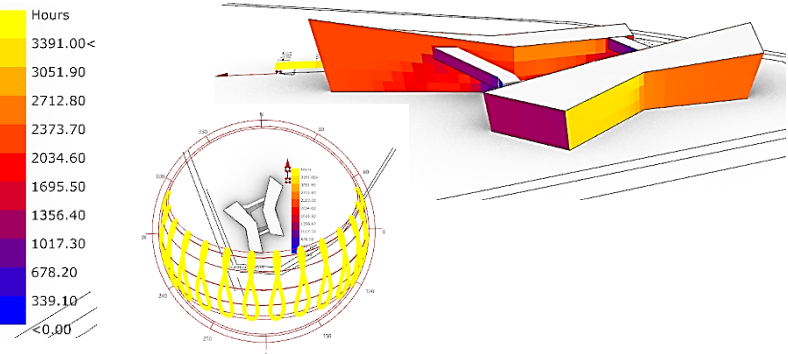
Graph 3: les résultats de simulation étape 02 (auteur,2021)

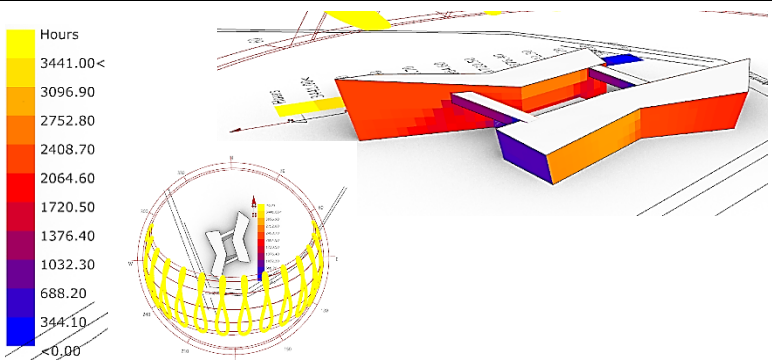
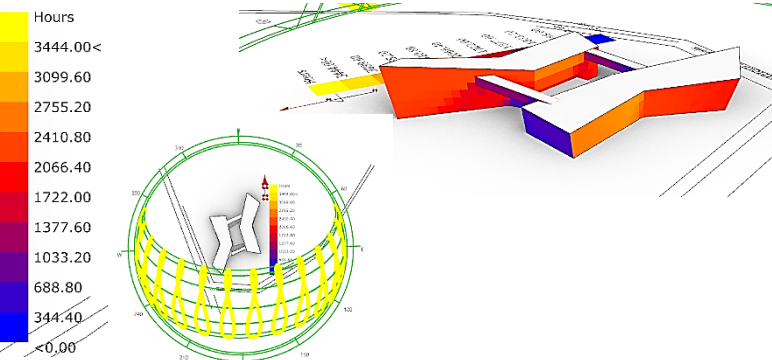
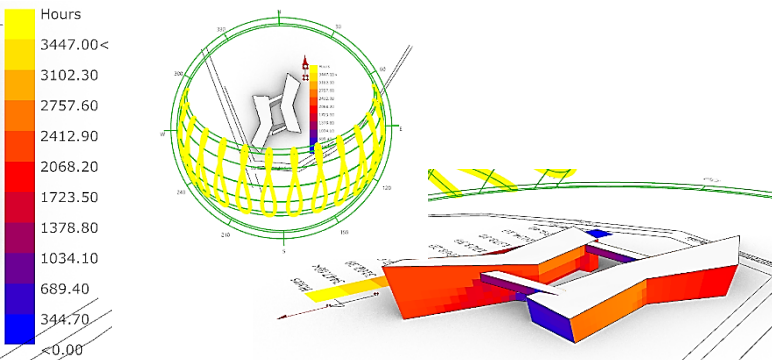
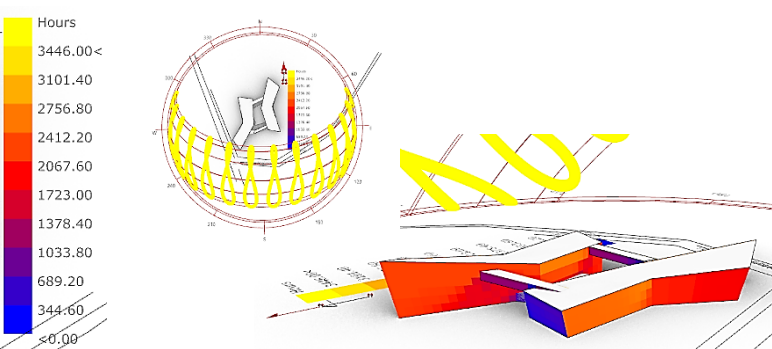
D'après les résultats du graphe (3) on remarque que la plus grande valeur des heures d'insolation des façades est la variante A6 suite par A7 après A8 et A5, et les valeur se diminue de la variante A jusqu'à A4, cela signifie que l'effet de changement d'orientation vers l'Ouest la valeur d'insolation se diminue et à chaque fois qu'on se dirige vers l'Est le totale d'insolation s'augmente, il atteint son maximum dans la variante A6 qui donne un totale d'insolation 2.8914×10^7 h/ans ou le volume (1) a une orientation de 10° E. Donc cette orientation sera maintenue pour cette partie.

Etape 03 : Dans cette étape on va tester l'orientation du Volume (2) afin d'améliorer l'orientation des façades du volume, donc on a obtenu 08 variantes présenter sur le tableau (14)

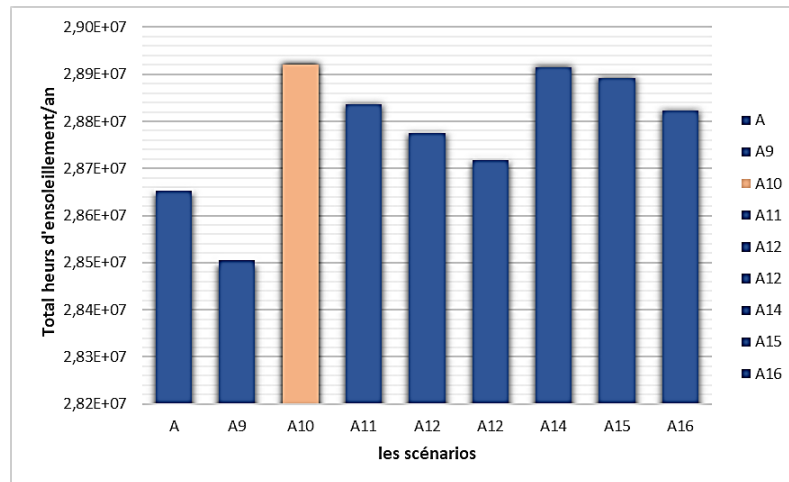
Tableau 14: les résultats de la simulation étape 03(auteur,2021)

Scénario Ao (composition du départ)	Discussion
	<p>Pour le scénario Ao le taux d'insolation des différentes façades est :</p> <ul style="list-style-type: none"> • 2.8652×10^7h/an.

<p style="text-align: center;">Scénario A9 rotation 5° Ouest</p> 	<p>Le taux d'ensoleillement global de la composition A9 est :</p> <ul style="list-style-type: none"> • 2.8506 e+7h/an
<p style="text-align: center;">Scénario A10 rotation 10° Ouest</p> 	<p>Le taux d'ensoleillement global de la composition A10 est :</p> <ul style="list-style-type: none"> • 2.8920 e+7h/an
<p style="text-align: center;">Scénario A11 rotation 15° Ouest</p> 	<p>Le taux d'ensoleillement global de la composition A11 est :</p> <ul style="list-style-type: none"> • 2.8837e+7h/an
<p style="text-align: center;">Scénario A12 rotation 20° Ouest</p> 	<p>Le taux d'ensoleillement global de la composition A12 est :</p> <ul style="list-style-type: none"> • 2.8775 e+7h/an

<p style="text-align: center;">Scénario A13 rotation -5° Est</p> 	<p>Le taux d'ensoleillement global de la composition A13 est :</p> <ul style="list-style-type: none"> • 2.8717 e+7h/an
<p style="text-align: center;">Scénario A14 rotation -10° Est</p> 	<p>Le taux d'ensoleillement global de la composition A14 est :</p> <ul style="list-style-type: none"> • 2.8914 e+7h/an
<p style="text-align: center;">Scénario A15 rotation -15° Est</p> 	<p>Le taux d'ensoleillement global de la composition A15 est :</p> <ul style="list-style-type: none"> • 2.8892 e+7h/an
<p style="text-align: center;">Scénario A16 rotation -20° Est</p> 	<p>Le taux d'ensoleillement global de la composition A16 est :</p> <ul style="list-style-type: none"> • 2.8823e+7h/an

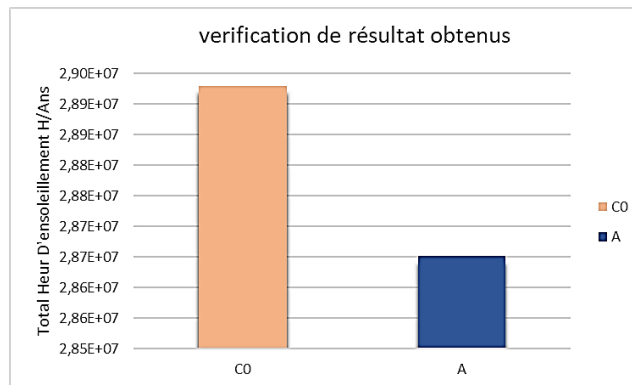
• **Classement des résultats des scénarios de l'étape 03**



Graph 4: les résultats de simulation étape 03(auteur,2021)

D'après les résultats du graphe (4) on remarque que l'orientation la plus favorable est la variante A10 avec 10°vers l'Ouest avec un taux d'ensoleillement annuel de 2.8920e+7h/an suivie par la variante A14 avec un taux d'ensoleillement 2.8914e+7h/an après la variante A15 avec un taux d'ensoleillement 2.8892 e+7h/an et ensuite la variante A11 avec un taux d'ensoleillement 2.8837e+7h/ans, vu que le volume est presque symétrique allongé sur l'axe (N/S). Donc cette orientation sera maintenue pour cette partie. Du coup le volume global va effectuer une rotation de 10° vers L'Ouest.

Afin de vérifier les résultats de la simulation obtenus on va comparer la variante obtenue de l'étape (2) et (3) avec le résultat des variantes A de l'étape (1)



Graph 5: vérification des résultats de l'étape (02) et (03) (Auteur,2021)

D'après les résultats du graphe (5) on constat que les résultats de la simulation (2) et (3) on améliorer l'orientation des façades avec un taux d'ensoleillement 2.8929 e+7h/an par rapport à l'orientation du départ qui permet un taux d'ensoleillement 2.8652 e+7h/an.

2. Les apports de la façade adaptive solaire à cellules photovoltaïques sur l'efficacité énergétique :

Afin d'étudier les apports de la façade solaire adaptive a cellules photovoltaïques sur l'efficacité énergétique on va passer sur deux étapes :

- L'estimation de la consommation énergétique du bâtiment.
- L'estimation de la production de l'enveloppe photovoltaïques (PV) adaptive.

2.1 Les besoins énergétiques du bâtiment :

Le calcul des besoins énergétiques du bâtiment est effectué à l'aide de logiciel Rhinoceros avec le plugin grasshopper / honeybee.

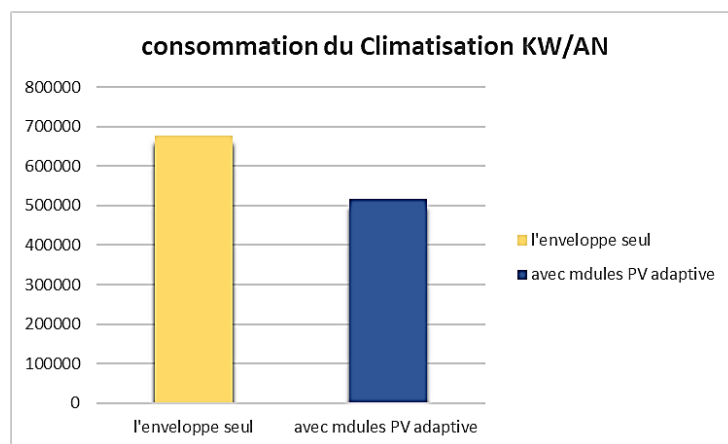
Les résultats obtenus :

Les résultats obtenus sont organisés sur le tableau suivant (tableau 15)

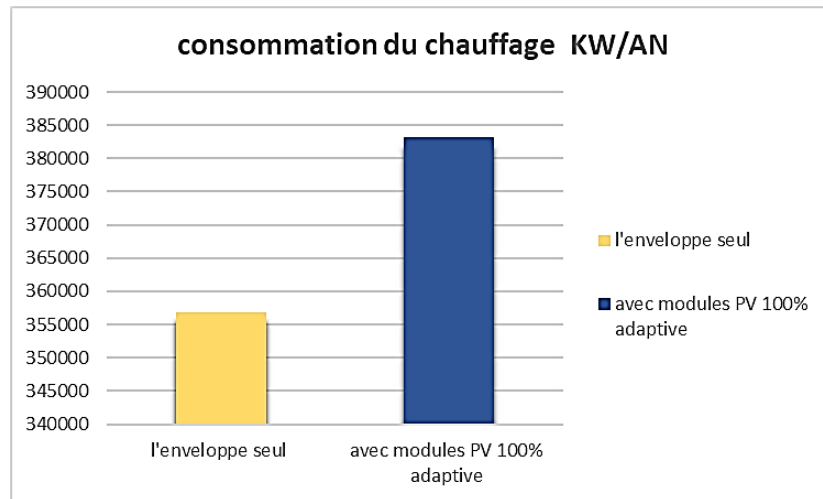
Tableau 15: les résultats de calcule des besoins énergétiques du bâtiment (auteur ,2021)

	Cooling (KW/AN)
L'enveloppe seul	676411.3155
Avec modules PV adaptive	517279.2515
	Heating (KW/AN)
L'enveloppe seul	356764.5967
Avec modules PV 100% adaptive	383128.5753
Avec modules PV 100% ouverts	297525.5883
Avec modules PV 75% ouverts	314541.2448
Avec module PV 50% ouverts	325534.5231
Avec modules PV 25% ouverts	339890.0245

Les résultats du tableau sont résumés en graphes suivant (graphe6) (graphe7) (graphe8)



Graphe 6: la consommation énergétique pendant la période de refroidissement (auteur,2021)



Graph 7: la consommation énergétique pendant la période de chauffage (auteur,2021)

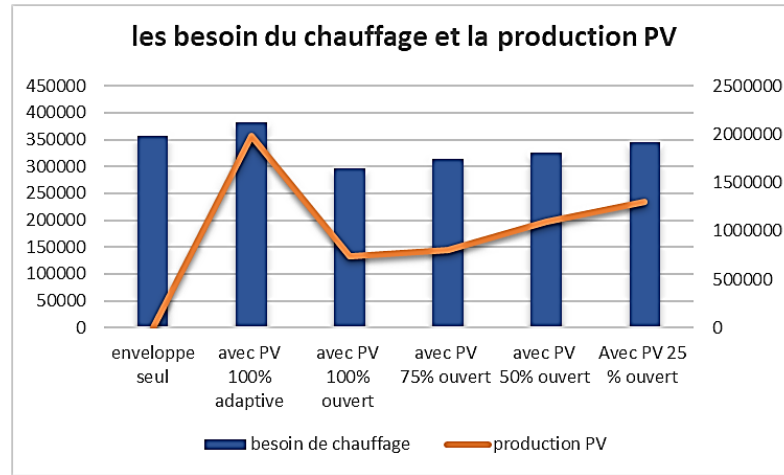
2.1.1 La consommation d'énergie pendant la période de refroidissement (cooling) :

D'après les résultats du tableau (Tableau15) et du graph (6) on remarque que les besoins énergétiques avec la façade adaptative solaire à cellules photovoltaïques sont inférieurs à celle de l'enveloppe seule cela signifie que l'enveloppe adaptative peut effectuer une économie d'énergie de 159132.063992 kW/an en période de refroidissement grâce à la capacité des modules PV de s'adapter avec l'environnement extérieur ce qu'il offre une protection des rayons solaires donc elle l'empêche à entrer à l'intérieur de l'espace ou elle permet une réduction de la demande annuelle du climatisation.

2.1.2 La consommation d'énergie pendant la période de chauffage (heating) :

D'après les résultats du tableau (Tableau15) et du graph (7) on remarque que les besoins de chauffage avec les cellules PV adaptative est supérieure à celle de l'enveloppe seule, cela signifie que l'enveloppe adaptative grâce à sa capacité de suivre le soleil il crée un masque d'ombrage sur la façade ce qui empêche les rayons solaires à entrer à l'intérieure de l'espace.

Donc il faut prévoir des solutions afin de profiter au maximum des gains énergétiques en période hivernale et produire le maximum d'énergie ou au moins équilibrer entre la production et la protection.



Graph 8: la consommation énergétique pendant la période et de chauffage et la production

(Auteur ,2021)

D'après les résultats du graphique (8) on remarque que l'enveloppe avec modules PV 100% ouverts diminue la consommation du chauffage dans le bâtiment avec une économie de 59239.00KW/an par contre l'enveloppe avec modules PV 75% ouverts diminue la consommation du chauffage avec une économie de 42223.35KW/an, l'enveloppe avec modules PV 50% ouverts diminue la consommation de chauffage avec une économie de 31230.07KW/an et l'enveloppe avec modules PV 25% ouverts diminue la consommation de chauffage avec une économie de 16874.57KW/an.

L'enveloppe avec les modules PV 100% adaptative offre une production d'énergie maximale de 1982478.3 KW/an suite par l'enveloppe avec modules PV 25% ouvert qui offre une production de 1306869.5 KW/an après l'enveloppe avec modules PV 50% ouvert qui offre une production de 1095531.5 KW/an ensuite l'enveloppe avec modules PV 75% ouverts qui offre une production de 806376.81KW/an et enfin l'enveloppe avec modules PV 100% ouvert qui offre une production de 741078.79 KW/an.

On va choisir l'enveloppe avec PV 50% ouvert paracerque il y a un équilibre entre la production et les gains énergétiques externes 50% des modules PV sont adaptative ce qui permet d'effectue un suivie solaire donc une production maximale en période hivernale et les 50% des modules PV qui prend la position complètement ouverte permet les rayons solaires de pénétrer dans l'espace intérieur et le chauffer passivement.

2.2 L'estimation de l'énergie annuelle produite par l'enveloppe adaptive :

L'estimation de l'énergie produite par l'enveloppe PV adaptive est effectuée à l'aide de logiciel PVGIS.

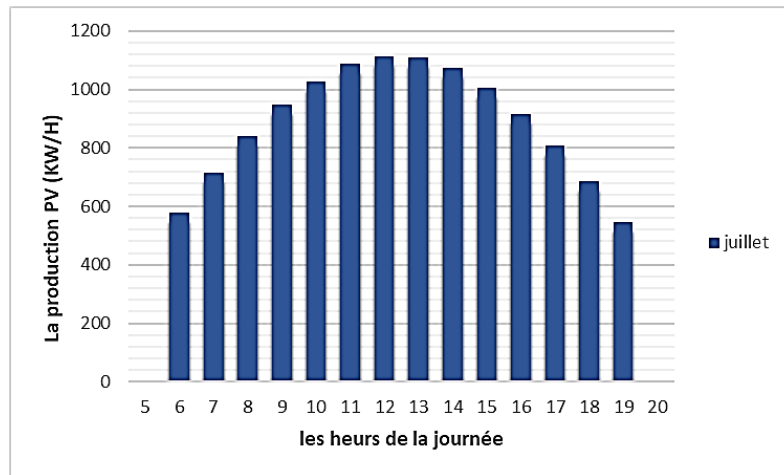
Les résultats obtenus :

On a pris comme exemple les résultats de la production des modules PV adaptive de la façade Sud en mois de juillet comme le montre le tableau suivant (Tableau 16)

Tableau 16: méthode de calcul de la production de façade Sud-Ouest adaptive en mois de juillet(Auteur,2021)

Façade Sud-Ouest				
juillet				
Heurs	hauteur du soleil	AnglePV(Inclinaison)	durée de jour	produ/Heur
5	0	90	14,06	0
6	7	83	14,06	579,18
7	19	71	14,06	716,46
8	31	59	14,06	838,66
9	44	46	14,06	947,61
10	56	34	14,06	1026,19
11	67	23	14,06	1087,47
12	74	16	14,06	1111,75
13	73	17	14,06	1107,91
14	64	26	14,06	1072,88
15	52	38	14,06	1006,86
16	40	50	14,06	914,6
17	28	62	14,06	809,28
18	16	74	14,06	684,57
19	4	86	14,06	545,27
20	0	90	14,06	0
Totale				12448,69

Les résultats du tableau suivant sont introduits en graphe ci-dessus



Graph 9: la production des PV intégrés en façade S-O en mois de juillet (Auteur,2021)

D'après les résultats du graphe (9) On constate que la production PV change chaque heure selon l'intensité des rayons solaires cela grâce à la capacité de l'enveloppe adaptive d'effectuer un mouvement qui lui permet de suivre continuellement la position du soleil ou

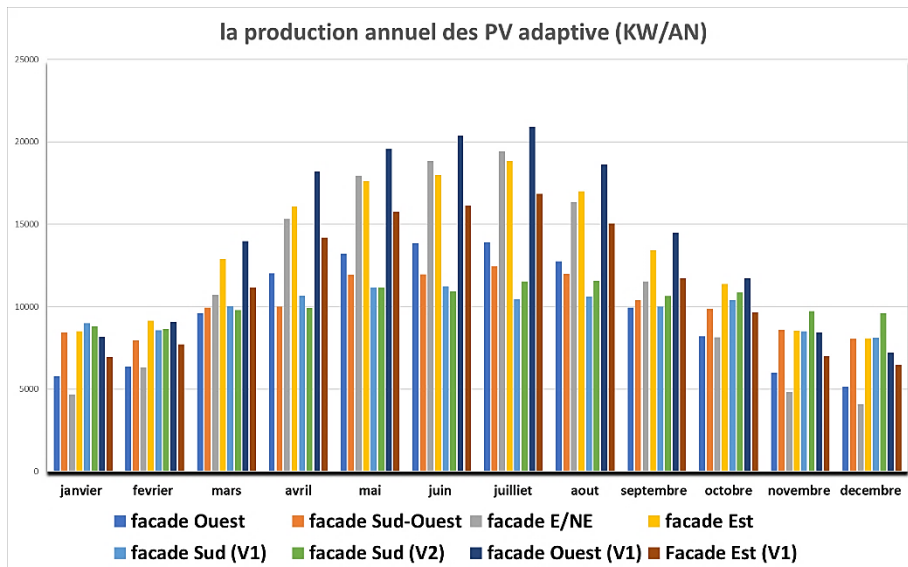
chaque heure de la journée prend un angle d'incidence 90° avec le rayon solaire ce qui permet une production maximale d'énergie chaque heure.

Le tableau suivant montre l'estimation de la production PV adaptive des façades pendant les heures de la journée, pour les différents mois, afin de connaître la capacité de production des modules chaque mois.

Tableau 17: L'estimation de la production PV adaptive(auteur,2021)

mois	facade Ouest	facade Sud-Ouest	facade E/NE	facade Est	facade Sud (V1)	facade Sud (V2)	facade Ouest (V1)	Facade Est (V1)
janvier	5800,6	8457,32	4643,49	8504,75	9000,61	8800,82	8167,11	6954,17
fevrier	6350,91	7950,04	6299,68	9136,76	8553,64	8647,49	9076,34	7713,66
mars	9590,77	9952,14	10699,19	12907,81	10032,34	9800,12	13970,95	11163,98
avril	12021	10014,54	15312,94	16071,96	10688,07	9896,67	18196,02	14171,98
mai	13209,42	11939,35	17935,35	17603,95	11155,66	11171,73	19566,63	15734,44
juin	13840,9	11948,75	18837,83	17972,81	11213,99	10922,01	20391,89	16138,41
juillet	13900,41	12448,69	19403,21	18830,77	10448,03	11525,71	20898,23	16857,74
aout	12742,57	11973,32	16345,28	16990,73	10618,85	11569,08	18626,64	15052,72
septembre	9930,11	10391,59	11537,01	13434,38	9999,37	10628,33	14488,19	11697,95
octobre	8200,66	9875,13	8151,91	11365,44	10412,95	10862,13	11716,39	9653,56
novembre	5990,38	8605,81	4803,75	8529,5	8500,69	9720,31	8438,27	6997,9
decembre	5150,91	8034,56	4072,9	8063,08	8100,3	9615,55	7222,67	6463,01
	116728,64	121591,24	138042,54	159411,94	118724,5	123159,95	170759,33	138599,52
	ToTAL							1095531,5

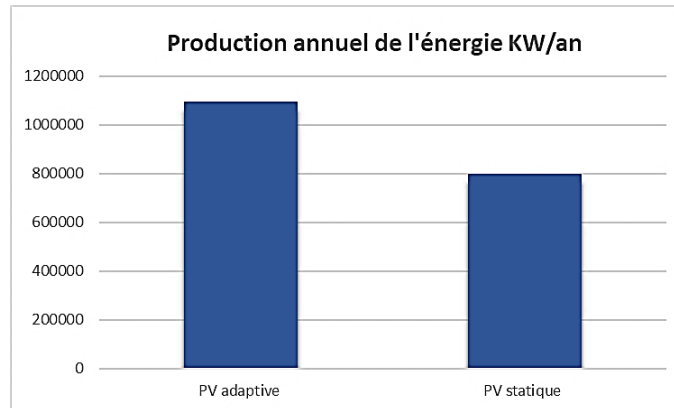
Les résultats du tableau suivant sont introduits en graphe ci-dessus



Graphe 10: la production annuelle des PV adaptive (Auteur,2021)

D'après les résultats du tableau (17) et le graphe (10) on remarque que l'énergie produite par les modules PV atteindre son maximum en mois de la période d'été parce que les modules PV pendant les périodes estivales sont 100% adaptive par contre les modules en période hivernale sont 50% adaptive.

Afin de confirmer l'efficacité de l'enveloppe adaptative on va le comparer avec une enveloppe statique les résultats son résumer dans le graph si dessus :



Graph 11: la production annuelle d'un enveloppe adaptative et statique (auteur,2021)

D'après les résultats du graphe (11) on constate que le rendement de l'enveloppe PV adaptative est supérieur à celle de l'enveloppe PV statique avec une différence de 359939.49 KW/an cela confirme l'efficacité de l'enveloppe dynamique avec sa capacité de changement son comportement et d'effectuer un suivi solaire tout le long de la journée ce que lui permet d'atteindre un rendement maximal par rapport à un système PV fixe.

Conclusion :

L'interprétation des résultats de la simulation nous a permis de constater que la façade adaptative solaire à cellules photovoltaïques à un apport sur l'efficacité énergétique du bâtiment. D'un part elle offre une bonne production d'énergie estimer à 1095531.5 KW/an grâce sa capacité de s'adapter avec les conditions météorologiques en suivant continuellement les rayons solaires ce qui assure les besoins énergétiques du bâtiment, d'autre part en période estivale elle permet de réduire la demande annuelle de la climatisation de 76.47% et en période hivernale ou on a opté pour une enveloppe avec modules photovoltaïques 50% ouverts afin d'équilibrer entre la production et la protection ce qui offre une réduction de 91.25% la demande de chauffage .

Conclusion générale :

Afin de réduire la demande d'énergie primaire fossile et ses effets sur le climat mondial, les stratégies énergétiques visent à accroître l'efficacité énergétique ainsi que l'utilisation de sources renouvelables. Étant donné que le secteur du bâtiment contribue de manière significative à la consommation d'énergie et aux émissions de gaz à effet de serre.

L'enveloppe est l'un des éléments essentiels du bâtiment qui contribue à la réduction de la consommation d'énergie. Elle est responsable du transfert d'énergie sous forme de lumière du jour, de chaleur et d'air entre les deux environnements : externe et interne.

Concevoir soigneusement la façade d'un bâtiment durable signifie accroître son potentiel d'économie d'énergie. Une « façade adaptative solaire à cellules photovoltaïques » est l'une des meilleures techniques adaptatives qui peuvent apporter des améliorations en termes d'efficacité énergétique et d'économie du bâtiment on protège l'environnement intérieur des changements climatiques et des risques environnementaux externes aussi la production de l'énergie sur site afin de répondre aux besoins énergétiques du bâtiment et d'amélioration du confort des occupants.

Cette recherche présente une étude sur l'utilisation de la façade adaptative solaire à cellules photovoltaïques et ses apports sur l'efficacité énergétique d'un bâtiment à usage commercial dans un climat semi-aride froid (BSK) à Tébessa.

Pour atteindre l'objectif visé, on a décomposé le sujet en trois parties :

Une partie théorique c'était un aperçu sur les techniques de la façade solaire adaptative et son principe de fonctionnement, ces composantes, son processus de conception et comment elle attribue à l'amélioration de l'efficacité énergétique. On a conclu que la façade solaire adaptative a cellules photovoltaïques qui se compose des modules photovoltaïques basés sur un actionneur hybride en matériau souple, grâce à sa capacité à modifier leur comportement en temps réel en fonction des paramètres intérieur-extérieur peut moduler activement le rayonnement solaire afin de permettre une production d'énergie locale, le chauffage passif, l'ombrage et la pénétration de la lumière du jour à l'intérieure de l'espace et aussi on a étudié quelque informations liées aux différents concepts d'organisation spatiale et fonctionnelle d'un centre commercial.

D'après ces concepts on a passé à la phase conceptuelle où on a conçu une composition de départ basé sur les données du terrain, climatique, le principe de fonctionnement et la logique

conceptuelle des centres commerciaux ainsi que le concept thématique qui concerne les apports de la façade solaire adaptative sur l'efficacité énergétique.

Afin de garantir l'efficacité et développer la composition de départ, nous avons réalisé une troisième étape, qui est la simulation numérique, on a pris comme variable l'orientation du projet et des différentes façades afin d'améliorer leurs orientations pour bénéficier au maximum des rayons solaires répartie presque sur toutes les façades.

Pour réaliser cet objectif on a créé un modèle d'analyse qui est un bâtiment commercial et on a entamé une expérimentation par la simulation de 24 scénarios à l'aide du logiciel de simulation Rhinoceros / Grasshopper avec le plugin / ladybug, après l'interprétation des résultats de la simulation on a opté pour une variante allongée sur l'axe Nord/Sud qui donne plusieurs possibilités d'une bonne orientation répartie sur diverses façades (Sud/Sud-Est/Sud-ouest/Ouest et Est), ce qui permet une bonne production d'énergie. Après avoir fixé la composition finale du projet, on a passé à la phase suivante qui est l'estimation de la consommation du bâtiment et la production de l'enveloppe adaptative.

Les principales déductions qui peuvent être déduites des résultats de cette phase sont :

- Avec l'enveloppe seule (sans aucun dispositif) il n'est pas possible de maintenir des conditions intérieures confortables, un chauffage, un refroidissement ou un éclairage actif sont utilisés, ce qu'il signifie l'augmentation de la demande d'énergie.
- La façade adaptative solaire à cellules photovoltaïques (PV) peut effectuer une économie d'énergie et une production maximale en période de refroidissement grâce à la capacité des modules PV de s'adapter avec l'environnement extérieur ce qu'il offre une protection des rayons solaires donc elle l'empêche à entrer à l'intérieur de l'espace ou elle permet une réduction de la demande annuelle de la climatisation.
- La façade adaptative solaire à cellules photovoltaïques en période hivernale augmente la demande de chauffage, donc on a opté pour plusieurs solutions : on a choisi l'enveloppe avec modules PV 50% ouverts parce qu'elle offre un équilibre entre la production et les gains énergétiques externe ou 50% des modules PV sont adaptative ce qui permet d'effectuer un suivi solaire donc une bonne production en période hivernale. Et les 50% des modules PV qui prend la position complètement ouverte permet les rayons solaires de pénétrer à l'intérieure de l'espace et le chauffer passivement.

La façade adaptative solaire à cellules photovoltaïques offre la potentialité de réduire la demande de chauffage et de la climatisation, grâce à sa capacité de s'adapter avec les conditions météorologiques externes où elle effectue un suivie solaire en assurant une bonne production d'énergie sur site ce qui contribue à améliorer l'efficacité énergétiques du bâtiment.

Parmi les difficultés auxquelles nous avons été confrontés pendant notre recherche : le manque du temps et la difficulté d'apprendre le logiciel de la simulation numérique et l'indisponibilité des données climatique ainsi que le manque de certains documents et d'autres sont payants ou on ne peut pas y accéder.

Cette recherche est limitée uniquement pour la zone, le climat et les paramètres mentionnés.

Au final on peut recommander pour cette recherche une autre simulation pour garantir une protection maximale des espaces de détente extérieur, aussi on recommande de faire des recherches supplémentaires pour voir ces éléments en réalité c'est à dire de renforcer cette simulation par une recherche expérimental.

Bibliographies et références :

Articles et rapports :

- Anne de Béthencourt et al (2013), « Efficacité énergétique : un gisement d'économies ; un objectif prioritaire ». PDF consulté 30 / 12 /2020, depuis le site : https://www.lecese.fr/sites/default/files/pdf/Avis/2013/2013_01_efficacite_energetique.pdf
- Bresette Daniel (2020), « Institut d'études environnementales et énergétiques (EESI) » consulté le 28/12/2020 depuis le site : <https://www.eesi.org/about>
- BONSOR, K. (2020). "How Smart Windows Work." Consulté le [28/03, 2020] depuis <https://home.howstuffworks.com/homeimprovement/construction/green/smartwindow2.htm>.
- Bratislav Svetozarevic et al (2019), Dynamic photovoltaic building envelopes for adaptive energy and comfort management consulté le [12/2/2021] depuis <https://www.nature.com/articles/s41560-019-0424-0?proof=t>
- Céline Lequeux (2016) « Les logiciels de bilan énergétique professionnel » consulté le 14/2/2021 <https://www.quelleenergie.fr/pro/actualites/normes-techniques->
- Caitlin McGee (2013) « Orientation » consulté le [28/02/2021] depuis <https://www.yourhome.gov.au/passive-design/orientation>
- Dualsun (2020). "Le Rendement et la Production d'un panneau solaire." consulté le 05/02/2020, depuis le site <https://news.dualsun.com/technologie-solaire/rendement-productionpanneau-solair>
- Donaldson, Teri L. (2021) « Conception de maison solaire passive » consulté le 15/01/2021 depuis le site : <https://www.energy.gov/energysaver/energy-efficient-home-design/passive-solar-home-design>
- Daniel Aeleneia,b, Laura Aelenei et al (2016), « Adaptive Façade: concept, applications, research questions » PDF consulté le 10/01/2021 depuis <https://pdf.sciencedirectassets.com/>
- Dominique André-Chaigneau (2016) « Centres commerciaux : qui sont les acteurs en présence ? » consulté le 18/02/2021 depuis <https://www.toute-la-franchise.com/vie-de-la-franchise-A18551-centres-commerciaux-qui-sont-les.html>
- Eduardo Souza (2019) « Learn How to Avoid Energy Loss in Your Buildings » consulté le 19/02/2021 depuis <https://www.archdaily.com/>

- Emmanuel Gallay (2019) « ÉNERGIE SOLAIRE : LES AVANTAGES ET LES INCONVÉNIENTS » consulté le [14/4/2021] depuis <https://www.idelecplus.com/blog/energie-solaire-avantages-inconvenients>
- François Guéna et al (2012), « Grasshopper » consulté le [19/4/2021] depuis <https://docplayer.fr/26963231-1-grasshopper-introduction-definitions-pour-gh-version-du-28-fevrier-2011.html>
- Géraldine Marcheteau (2019) « C'est quoi l'énergie solaire ? » consulté le [10/4/2021] depuis <https://www.lenergioutcompris.fr/actualites-conseils/c-est-quoi-l-energie-solaire-48577>
- Izzet Yüksek and Tülay Tikansak Karadayi(2017), « Energy-Efficient Building Design in the Context of Building Life Cycle » consulté le [24/2/2021] depuis <https://www.intechopen.com/books/energy-efficient-buildings/energy-efficient-building-design-in-the-context-of-building-life-cycle>
- Mélanie R (2020), « Rhinoceros 3D, caractéristiques et fonctionnalités du logiciel de CAO » consulté le [1/05/2021] depuis <https://www.3dnatives.com/rhinoceros-3d-logiciel-08042020/>
- Nunes Philippe (2021) « Le portail expert de la performance énergétique » consulté le 03/01/2021 depuis le site : <https://www.xpair.com/>
- Poirazis, H. (2006). « Double Skin Façades A Literature Review ». sweden, Lund University, Lund Institute of Technology. Consulté le [12/02/2021] depuis https://annex53.iea-ebc.org/Data/publications/EBC_Annex_43_Task34-Double_Skin_Facades_A_Literature_Review.pdf
- Roel C.G.M. Loonen et al (2013), « Design for façade adaptability – Towards a unified and systematic characterization » PDF consulté le [20/01/2021] depuis https://www.researchgate.net/publication/279955723_Design_for_facade_adaptability
- Robert ANGIOLETTI et Hubert DESPRETZ (2010) « Maîtrise de l'énergie dans les bâtiments » consulté le [21/12/2020] depuis <http://cregen.free.fr/>
- Sumanta Deb et al (2020) « Spatial Logic of Shopping Malls: Application of Space Syntax in understanding Economics of Architecture » PDF consulté le 10/3/2021 depuis [file:///C:/Users/DELL/Downloads/CS003_Sumanta%20\(1\).](file:///C:/Users/DELL/Downloads/CS003_Sumanta%20(1).)
- Wang Haofeng (2017) « The spatial performance of multi-level shopping clusters » PDF consulté le [23/02/2021] depuis <https://global.ctbuh.org/>

- Xavier Pinon (2021) « Les différentes sources d'énergie » consulté le [16/04/2021] depuis <https://www.kelwatt.fr/energie.php>
- Yves Robillard (2011), « vers un bâtiment durable : les équipements et solutions d'efficacité énergétique » PDF consulté 25 / 12 /2020, depuis le site : <https://acaba.typepad.fr/files/guide-efficacite-energetique.pdf>
- ZoltanNagy et BratislavSvetozarevic et al (2016) « The Adaptive Solar Facade: From concept to prototypes » PDF consulté le [25/01/2021] depuis <https://reader.elsevier.com/>
- مفهوم الالواح الشمسية مع أنواعها وتطبيقاتها). 2019. (al et), عليوي).

Thèses doctorat :

- Saelens, d. (2002). « Energy performance assessment of single storey multiple-skin facades ». Departement burgerlijke bouwkunde, katholieke universiteit leuven. Phd in applied science. PDF Consulté [le2/02/2021] depuis <https://bwk.kuleuven.be/bwf/PhDs/PhDSaelens>.
- Helena Nilsson (2020) « Spatial organization of retail activities » Jönköping University. PDF Consulté le (21/03/2021) depuis <http://hj.diva-portal.org/>

Livres :

- Fabio Favoino et al (2018) « Building Performance Simulation and Characterisation of Adaptive Facades – Adaptive Facade Network ». Edition COST (European Cooperation in Science and Technology)
- Philippe VINCENT (2013), « Architecture des centres commerciaux ». Edition L'Etincelle, Canada.
- Bellay, J.-C. d., et al. (2010). Neufert 10° Edition-Fr.

Sites Web :

- PHOTOVOLTAIC-GEOGRAPHICAL-INFORMATION-SYSTEM « PVGIS » https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/en/#PVP. Consulté le [25/4/2021]
- Site HALIO <https://halioglass.eu/fr/> consulté le [27/2/2021]
- Ecolodis Solaire <https://www.ecolodis-solaire.com/conseils/panneau> consulté le [26/2/2021]
- Le site CONSEIL NATIONAL DES CENTRES COMMERCIAUX (CNCC) <https://www.cncc.com/qui-sommes-nous/> consulté le [21/02/2021]

- Le site Météonorm <https://meteonorm.com/en/> consulté le [26/03/2021]
- Ministère de l'énergie et des mines <https://www.energy.gov.dz/?rubrique=a-propos-du-ministere-de-l-energie> consulté le [12/01/2021]
- Guide Bâtiment Durable. <https://www.guidebatimentdurable.brussels/fr/limiter-les-gains-internes.html?IDC=10537> consulté le [14/02/2021]
- Le site Autodesk (2021) <https://www.autodesk.com/> consulté le [25/04/2021]
- Le site Rhinoforyou <https://rhinoforyou.com/> [consulté le 02/05/2021]

Autres sources :

- Florian Gabriele (2021) « Rendement Panneau Solaire » consulté le [02/3/2021] depuis <https://www.insunwetrust.solar/blog/le-solaire-et-vous/rendement-panneau-solaire/>
- Emmanuel Gallay (2017) « LES SOLUTIONS D'EFFICACITÉ ÉNERGÉTIQUE ACTIVES DANS LE BÂTIMENT » consulté le 15/02/2021 depuis : <https://www.idelecplus.com/blog/efficacite-energetique-active>
- Guide Bâtiment Durable <https://www.guidebatimentdurable.brussels/fr/> consulté le [25/04/2021]
- Mostapha Sadeghipour Roudsari (2020) « LADYBUG: A PARAMETRIC ENVIRONMENTAL PLUGIN FOR GRASSHOPPER TO HELP DESIGNERS CREATE AN ENVIRONMENTALLY-CONSCIOUS DESIGN » consulté le [28/4/2021].

Liste des tableaux

Tableau 1: les technologies des cellules photovoltaïques.....	18
Tableau 2: fiche technique des exemples 01 et 02.....	37
Tableau 3 : fiche technique de l'exemple 03.....	38
Tableau 4: fiche technique de l'exemple 04.....	39
Tableau 5: fiche technique de l'exemple 05.....	40
Tableau 6: le programme qualitatif et quantitatif du centre commercial.....	51
Tableau 7: les objectifs et les principes conceptuels.....	53
Tableau 8: Scénario de simulation étape 01.....	67
Tableau 9: Scénario de simulation étape 02.....	68
Tableau 10: Scénario de simulation étape 03.....	70
Tableau 11: les paramètres de calculs sur PVGIS.....	72
Tableau 12: les résultats de la simulation étape 01.....	75
Tableau 13: les résultats de la simulation étape 02.....	78
Tableau 14: les résultats de la simulation étape 03.....	81
Tableau 15: les résultats de calcul des besoins énergétiques du bâtiment.....	85
Tableau 16: méthode de calcul de la production de façade Sud-Ouest adaptive en mois de juillet.....	88
Tableau 17: L'estimation de la production PV adaptive.....	89

Liste des graphes

Graphe 1: Schéma graphique représente la dominance des différentes fonctions dans le centre commercial.....	52
Graphe 2: les résultats de la simulation étape 01.....	78
Graphe 3: les résultats de simulation étape 02.....	81
Graphe 4: les résultats de simulation étape 03.....	84
Graphe 5: vérification des résultats de l'étape (02) et (03).....	84
Graphe 6: la consommation énergétique pendant la période de refroidissement.....	85
Graphe 7: la consommation énergétique pendant la période de chauffage.....	86
Graphe 8: la consommation énergétique pendant la période et de chauffage et la production.....	87
Graphe 9: la production des PV intégrer en façade S-O en mois de juillet.....	88

Graph 10: la production annuelle des PV adaptive.....	89
Graph 11: la production annuelle d'un enveloppe adaptive et statique	90

Liste des figures

Figure 1: Représentation du fonctionnement d'un bâtiment (besoin énergétique et la consommation).....	7
Figure 2: les sources des gains énergétique dans un bâtiment.....	7
Figure 3: les sources des déperditions énergétiques dans un bâtiment.....	8
Figure 4: Représentation de la démarche d'amélioration de l'efficacité énergétique	9
Figure 5: Course du soleil en hiver	10
Figure 6: Course du soleil en été	10
Figure 7: Coefficients de déperditions comparés suivant les surfaces de contact, la taille et la forme de l'enveloppe	10
Figure 8: Un bâtiment isolé par l'intérieur	11
Figure 9: Un bâtiment isolé par l'extérieur.....	11
Figure 10: les type des énergie renouvelables	12
Figure 11: fenêtre ventilé à double peau.....	14
Figure 12: principe de fonctionnement de verre rayonnant.....	14
Figure 13: Exemple de la façade cinétique.....	15
Figure 14: Fonctionnement de fenêtre convertible	16
Figure 15: Exemple de l'utilisation du verre electrochrome	16
Figure 16: la facade adaptive solaire a cellules photovoltaïques.....	17
Figure 17: les composantes de la façade adaptive solaire.	17
Figure 18: le fonctionnement d'une cellule photovoltaïque.....	18
Figure 19: positionnement de l'actionneur.....	19
Figure 20 : Cantilever (le pilier /porte-à-faux)	20
Figure 21: cadre de support et le câble	20
Figure 22: Vue arrière sur le module FSA pour la configuration du suivi solaire	21
Figure 23: Processus de conception de la façade adaptive solaire à cellules photovoltaïques.....	22
Figure 24: les gains énergétiques.....	22
Figure 25: la protection du rayon solaire assurer par la façade adaptive solaire à cellules photovoltaïques.....	23

Figure 26: la production de l'énergie assurée par la façade adaptative solaire à cellules photovoltaïques.....	23
Figure 27: classification des centres commerciaux	27
Figure 28: représentation de l'évolution historique du centre commercial	27
Figure 29: les utilisateurs et les usagers d'un centre commercial.....	28
Figure 30: les fonctions d'un centre commercial.....	28
Figure 31: Exemple d'un Centre commercial à système d'espaces libres -galerie du monde Seoul-	29
Figure 32: Exemple d'un centre commercial à système mixte -Aérolite-	29
Figure 33: le circuit des utilisateurs et des marchandises dans un centre commercial.....	29
Figure 34: le circuit des administrateurs et des travailleurs dans un centre commercial.....	30
Figure 35: circulation assurée par l'escalator	30
Figure 36: circulation assurée par l'ascenseur.....	30
Figure 37: schéma d'une circulation linéaire	31
Figure 38: exemple d'une circulation horizontale de type linéaire	31
Figure 39: schéma d'une circulation central	31
Figure 40: exemple d'une circulation central.....	31
Figure 41: circulation horizontale de type composé.....	32
Figure 42: Exemple d'un centre commercial avec un parcours linéaire -Créteil Soleil-	32
Figure 43: Exemple d'un centre commercial avec un parcours circulaire -Parque Tereo-	33
Figure 44: Exemple d'un centre commercial avec un parcours labyrinthique	33
Figure 45: Vente fermée, entrée libre et sortie contrôlée	34
Figure 46: Vente ouverte entrée et sorties libres	34
Figure 47: le cheminement des clients inclut tous les angles.....	34
Figure 48: Dimensions des comptoirs et des étagères dans la grande surface	35
Figure 49: Les exigences techniques pour la conception d'un escalator.....	35
Figure 50: les dimensionnements d'un ascenseur.....	36
Figure 51: les dimensionnements de l'aire de stationnement pour une voiture	36
Figure 52: les dimensionnements de l'aire de stationnement pour handicap	36
Figure 53: les dimensionnements de l'aire de stationnement pour un véhicule lourd.....	37
Figure 54: l'entrée et le stationnement dans un centre commercial	37
Figure 55: le centre commercial city life et son organisation spatiale.....	38
Figure 56: le centre commercial parque toreo et son organisation spatiale.....	38
Figure 57: : ambiance spatiale extérieure	39

Figure 58: la transparence	39
Figure 59: ambiance spatiale intérieure dans un centre commercial	40
Figure 60: Organigramme spatio-fonctionnel d'un centre commercial.....	41
Figure 61: Situation géographique de la ville de Tébessa	43
Figure 62: La variation de la température dans la région de Tébessa.....	44
Figure 63: le diagramme du vent de la région de Tébessa.....	44
Figure 64: les jours d'ensoleillement de précipitations dans la région de Tébessa	45
Figure 65: la situation de terrain	46
Figure 66: l'environnement immédiat du terrain.....	46
Figure 67: l'accessibilité du terrain	47
Figure 68: le repérage de terrain	48
Figure 69: La morphologie du terrain.....	49
Figure 70: Axes de composition du terrain.....	49
Figure 71: axes de visibilité	49
Figure 72: Coupe transversal de terrain.....	49
Figure 73: coupe longitudinale du terrain.....	50
Figure 74: Analyse climatique du terrain	50
Figure 75: zoning proposé	54
Figure 76: zoning a étage proposé	54
Figure 77: les Processus conceptuels du projet	55
Figure 78: forme de départ proposé.....	56
Figure 79: Construction d'un prototype ASF à l'échelle du bâtiment Naturel Ressources (HoNR)	58
Figure 80: Une vue rendue de l'intérieur du bâtiment de l'étude.....	60
Figure 81: Le model de recherche	61
Figure 82: logiciel ECOTECT analyse solaire	63
Figure 83: Logiciel PVGIS	63
Figure 84: Logiciel Rhinoceros	64
Figure 85: Plugin grasshopper de Rhinoceros	64
Figure 86: plugin ladybug analyse solaire	65
Figure 87: plugin honeybee analyse d'énergie	65
Figure 88: le model de la simulation	66
Figure 89: création du model de la simulation	71
Figure 90: fenêtre de travail du logiciel PVGIS	72

المخلص

يعتبر الغلاف الخارجي للبناء أحد العناصر الأساسية التي تساهم في تقليل استهلاك الطاقة وتحسين النجاعة الطاقوية للبناء، ولا يُنظر إليه على أنه حاجز سلبي ولكن يجب تصميمه كطبقة تكيفية، نشطة وحساسة بين البيئتين: الخارجية والداخلية

تعد الواجهة الشمسية ذات الخلايا الكهروضوئية المتكيفة واجهة بناء متكاملة، ديناميكية ومعيارية. يمكن من خلالها التحكم في السلوك النشط وكذلك التعبير المعماري للواجهة بدقة عالية مكانية وزمانية بفضل الوحدات النمطية القابلة للتوجيه بشكل فردي

يهدف البحث إلى دراسة مساهمات الواجهة الشمسية المتكيفة ذات الخلايا الكهروضوئية في نجاعة الطاقة لمبنى تجاري في مناخ شبه جاف في تبسة.

من أجل تحقيق الهدف، بدأنا تجربة تعتمد على المحاكاة الرقمية باستخدام برنامج Rhinoceros مع ملحق grasshopper و Ladybug، بدءاً من متغير وهو اتجاه المشروع والواجهات المختلفة من أجل تحسين توجهاتهم والاستفادة قدر الإمكان من الأشعة الشمسية الموزعة على جميع الواجهات تقريباً. ثم أطلقنا عملية حسابية لاحتياجات الطاقة للمبنى وتقدير الطاقة التي ينتجها الغلاف ذات الوحدات الكهروضوئية المتكيفة باستخدام برنامج PVGIS.

النتيجة التي تم الحصول عليها تبين أن الواجهة الشمسية المتكيفة ذات الخلايا الكهروضوئية تساهم في تحسين النجاعة الطاقوية للمبنى حيث توفر إمكانية تقليل الطلب على التدفئة وتكييف الهواء، وذلك بفضل قدرتها على التكيف مع الظروف الجوية الخارجية وتقوم بتتبع الأشعة الشمسية مما يضمن إنتاج جيد للطاقة في الموقع

Résumé

L'enveloppe architectural est l'un des éléments essentiels du bâtiment qui contribue à réduire la consommation d'énergie et d'améliorer l'efficacité énergétique du bâtiment, on ne le considère pas comme une barrière passive, mais il doit être conçu comme une couche adaptative, active et sensible entre les deux environnements : externe et interne.

La façade adaptative solaire à cellules photovoltaïques est définie comme une façade de bâtiment dynamique et modulaire hautement intégrée. Le comportement énergétique ainsi que l'expression architecturale de la façade peuvent être contrôlés avec une résolution spatio-temporelle élevée grâce à des modules adressables individuellement.

Cette recherche vise à étudier les apports de la façade adaptative solaire à cellules photovoltaïques sur l'efficacité énergétique d'un bâtiment à usage commercial dans un climat semi-aride froid à Tébessa.

Afin de réaliser l'objectif visé on a entamé une expérimentation basée sur la simulation numérique à l'aide du logiciel Rhinoceros avec le plugin Grasshopper / Ladybug, nous partons d'une variable qui est l'orientation du projet et des différentes façades afin d'améliorer leurs orientations pour bénéficier au maximum des rayons solaires réparties presque sur toutes les façades. Ensuite on a lancé un calcul des besoins énergétiques du bâtiment suivi par l'estimation de l'énergie produite par l'enveloppe à modules photovoltaïques adaptative à l'aide de logiciel PVGIS.

Les résultats obtenus montrent que la façade adaptative solaire à cellules photovoltaïques a un apport sur l'efficacité énergétique du bâtiment où elle offre la potentialité de réduire la demande du chauffage et de la climatisation, grâce à sa capacité de s'adapter avec les conditions météorologiques externes où elle effectue un suivi solaire en assurant une bonne production d'énergie sur site.