

République Algérienne Démocratique Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université 8 Mai 1945 Guelma



Faculté des Sciences et de la Technologie
Département d'Architecture

MÉMOIRE
EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLOME DE
MASTER

Filière : **Architecture**

Spécialité : **Architecture**

Présenté par :

KHOUALED Zeyneb Aya

**La conception architecturale optimisée par les systèmes
énergétiques hybrides**
Le cas d'un Experimentarium à Guelma

Sous la direction de :

Dr. SALAH-SALAH Hana

Année Universitaire : 2022/2023

Dédicace

Du profond de mon cœur, je dédie ce travail à :

À ma chère Mère

Aucune dédicace ne saurait exprimer mon respect, mon amour éternel et ma considération pour les sacrifices que vous avez consenti pour mon instruction et mon bien être. Je tiens à honorer la femme que vous êtes.

Grâce à vos conseils, indications, votre amour, encouragement, tendresse, Grâce à vous, que je suis là.

Je vous remercie pour tout le soutien et l'amour que vous me portez depuis mon enfance et j'espère que votre bénédiction m'accompagne toujours.

Je vous remercie de croire en moi plus que je ne croyais en moi-même, votre présence à mes côtés a toujours été ma source de force pour affronter les différents obstacles.

Que ce modeste travail soit l'exaucement de vos vœux tant formulés, le fruit de vos innombrables sacrifices. Puisse Dieu, le très Haut, vous accorder santé, bonheur et longue vie.

...

À mon cher père

Qui n'est jamais cessé, de formuler des prières à mon égard, de me soutenir et de m'épauler pour que je puisse atteindre mes objectifs.

Grâce à vous j'ai appris le sens du travail et du courage. Que dieu vous protéger.

...

À mon cher unique frère Islem

À tous les moments d'enfance passés avec toi mon frère, en gage de ma profonde estime pour l'aide que tu m'as apporté. Tu m'as soutenu, réconforté et encouragé. Puissent nos liens fraternels se consolider et se pérenniser encore plus.

...

À ma chère sœur et copine Racha

A ma chère sœur Dr. DJEDOUANI Racha, merci d'être toujours à mes côtés avec tes encouragements, ton soutien et ton influence positive sur moi, qui avec toi, je savais ce qui est le bonheur d'avoir une grande sœur sur laquelle je peux compter.

...

A tous ceux qui m'aiment.

Remerciements

« Celui qui ne remercie pas les gens n'a pas remercié Allah »

-Le prophète Mohammed (que la paix et les bénédictions de Dieu soient sur lui) -

Après avoir rendu grâce à Dieu le tout-puissant et le bienveillant, qui a éclairé mon chemin, m'a aidé et m'a béni avec la santé, la force et de la volonté pour terminer ce travail.

*Je tiens avant tout à exprimer ma reconnaissance à **Dr. SALAH-SALAH Hana** pour avoir accepté de m'encadrer dans mon PFE. Je la remercie pour son implication, son soutien et ses encouragements tout au long de ce travail. Ce fut un grand honneur pour moi, je lui souhaite plus d'excellence dans sa vie professionnelle, et elle restera toujours mon idole.*

*Un merci bien particulier adressé à **Dr. CHERAITIA Mohammed** mon honorable enseignant, pour son soutien, pour m'avoir accordé de son temps et pour avoir toujours été disponible pour m'aider.*

*Je remercie sincèrement **Pr. NAFA Zahreddine** pour son aide et sa disponibilité.*

*Je voudrais également adresser mes remerciements à **Mm. MIHOUBI Mounira** pour ses remarques, ses directives et son soutien.*

*J'exprime vivement ma gratitude au **Président et Membres de jury** pour l'honneur qu'ils me font en acceptant d'examiner ce travail.*

*Mes gratitudes à tous mes enseignants et du personnel du département d'Architecture - Guelma- chacun en son nom, à leur tête le chef département **Mr. BOUDJEHEM Houcine**.*

*Je remercie profondément ma chère enseignante, mais aussi ma sœur, Future **Dr. KIRATI Amal** pour ses encouragements, et de croire en moi, je lui souhaite tout le succès en sa soutenance du doctorat prochainement.*

*Grand merci du cœur à **mes parents et mon frère Islem et ma sœur et copine Racha** pour tout ce qu'ils m'ont donné ; qui sont toujours là pour moi, les mots ne suffiront pas pour décrire l'amour que je vous porte, que dieu vous protège pour moi.*

*Merci à mes chers oncles **Choukri** et **Abd El Wahab**, et à ma chère tante **Wafa** Aucun langage ne saurait exprimer mon respect et ma considération pour votre soutien et encouragements. Que Dieu le Tout Puissant vous garde et vous procure santé et bonheur.*

Enfin, je remercie toutes les personnes qui m'ont soutenu de près ou de loin, pour élaborer ce travail.

KHOVALED Zeyneb Aya...

Résumé

L'énergie représente les deux tiers des émissions totales de gaz à effet de serre, de sorte que le secteur de l'énergie est l'acteur central dans les efforts visant à réduire les émissions et à atténuer les changements climatiques. L'émergence de problèmes de réchauffement climatique oblige les pays à élaborer des politiques saines en matière de consommation d'énergie et de pollution de l'environnement, et de catalyser une transition vers un système énergétique plus durable.

Le secteur de bâtiment et de la construction représentait la significative part des émissions mondiales de GES résultant de la consommation d'énergie, et à la demande finale d'énergie. La façon dont nous construisons nos bâtiments et nos villes est un exemple de pratiques de consommation et de production non durables. C'est pourquoi, sans aucun doute, cette façon doit changer si nous voulons atténuer la consommation excessive d'énergie et les changements climatiques. En raison de cet impact élevé, les bâtiments éco énergétiques et durables s'avèrent, de plus en plus, nécessaires.

Les technologies des énergies renouvelables sont, aujourd'hui, les principaux moteurs de la transition des systèmes énergétiques, y compris la décarbonisation et l'efficacité énergétique, nombreux réglementation thermiques et environnementales sont mis à la disposition des acteurs du bâtiment dans tous les pays du monde. Pour cela, l'Algérie a élaboré un programme d'appui national au secteur des énergies renouvelables, principalement électriques, et de l'efficacité énergétique nationale.

Dans cette étude, nous présentons une nouvelle démarche conceptuelle d'efficacité énergétique dans les bâtiments énergivores combinée entre des procédés passives optimisé par une approche active intelligente par un système hybride multi-sources (solaire-géothermique).

Pour vérifier la faisabilité de cette proposition, et à l'aide de la simulation énergétique des bâtiments, en tant qu'outil méthodologique permettant d'évaluer et d'estimer, nous appliquons notre étude de l'impact des mesures d'efficacité énergétique sur les besoins énergétiques d'un bâtiment énergivore de référence conditionné par des données climatiques.

Mots clés : Efficacité énergétique, bâtiment, optimisation, réglementation thermique, énergies renouvelables, systèmes hybrides, modélisation, simulation.

Abstract

Energy accounts for two-thirds of total greenhouse gas emissions, making the energy sector the central player in efforts to reduce emissions and mitigate climate change. The emergence of global warming issues is forcing countries to develop sound policies on energy consumption and environmental pollution, and to catalyze a transition to a more sustainable energy system.

The building and construction sector accounted for the significant share of global GHG emissions from energy consumption and final energy demand. The way we build our buildings and cities is an example of unsustainable consumption and production practices. That is why, without a doubt, this approach must change if we want to mitigate excessive energy consumption and climate change. Because of this high impact, energy-efficient and sustainable buildings are increasingly needed.

Renewable energy technologies are today the main drivers of the transition of energy systems, including decarbonization and energy efficiency. Numerous thermal and environmental regulations are available to the building industry in all countries of the world. To this end, Algeria has developed a national support program for the renewable energy sector, mainly electricity, and national energy efficiency.

In this study, we present a new conceptual approach to energy efficiency in energy-intensive buildings combined between passive processes optimized by an intelligent active approach by a hybrid multi-source (solar-geothermal) system.

To verify the feasibility of this proposal, and using energy simulation of buildings, as a methodological tool for evaluating and estimating, we apply our study of the impact of energy efficiency measures on the energy needs of a reference energy-intensive building conditioned by climate data.

Keywords: Energy efficiency, building, optimization, thermal regulation, renewable energy, hybrid systems, modelling, simulation.

ملخص

تمثل الطاقة تثنى إجمالى انبعاثات غازات الاحتباس الحرارى، مما يجعل قطاع الطاقة اللالعب الرئىسى فى الالهدود المبدولة للحد من الانبعاثات والتخفيف من الالغير المناخ. وىالبر ظهور قضايا الاحترار العالمى الالدان على وضع سياسات سليمة بشأن استهلاك الطاقة والتلوث الببئى، وتحفيز الانتقال إلى نظام طاقة أكثر استدامة.

تأثر قطاع البناء والتشيد بالحصلة الكبيرة من الانبعاثات العالمية لغازات الالفةئة النالمة عن استهلاك الطاقة والطلب النهائى على الطاقة. الطرىقة التى نبنى بها مباننا ومدننا هى مثال على ممارسات الاستهلاك والإنتاج الالر المستدامة. وهذا هو السبب، بلا شك، فى أن هذا النهج الالجب أن الالغير إذا أردنا التخفيف من الاستهلاك المفرط للطاقة والالغير المناخ. وبسبب هذا التأثير الكبیر، تزداد الالاجة إلى مبان تتسم بالكفاءة فى استخدام الطاقة والاستدامة.

تعد الأهمية المتزايدة لتكنولوجيات الطاقات المتالدة الالوم أحد المحركات الرئىسية لانتقال نظم الطاقة، بما فى ذلك إزالة الكربون وكفاءة الطاقة. وتحقیقا لهذه الالاية، وضعت الجزائر برنامجا وطنيا لدعم قطاع الطاقة المتالدة، خاصة الكهربائية، وكفاءة الطاقة الوطنية.

نقدم فى هذه الدراسة نهجا مفاهيميا جديدا لكفاءة الطاقة فى المباني كثيفة الطاقة مألمةة بين العمليات السلبية التى تم تحسينها من خلال نهج نشط ذكى بواسطة نظام هالبن متعدد المصادر (الطاقة الشمسية-الحرارية الأرضية).

للتحقق من جدوى هذا الاقتراح، واستخدام محاكاة الطاقة للمباني، كأداة منهجية للتقييم والتقدير، نطبق دراستنا لتأثير تدابير كفاءة الطاقة على احتياجات الطاقة لمبنى مرجعى كثيف الطاقة مشروط ببيانات المناخ.

الكلمات المفتاحية: كفاءة الطاقة، المبنى، التحسين، التنظيم الحرارى، الطاقة المتالدة، النظم الهالبنة، النمذجة، المحاكاة.

Table des matières

<i>Dédicace</i>	i
<i>Remerciements</i>	ii
Résumé	iv
Abstract	v
ملخص	vi
Liste des Abréviations	xvi
Liste des Figures	xviii
Liste des Tableaux	xxii
Chapitre introductif	xxiii
I. Introduction.....	xxiii
II. Problématique.....	xxv
III. Hypothèses.....	xxvii
IV. Objectifs.....	xxvii
V. Méthodologie de recherche.....	xxviii
VI. Structure de mémoire.....	xxviii
Chapitre I : Efficience énergétique et énergies renouvelables dans le bâtiment : positionnement théorique	1
Introduction :.....	1
I.1. Efficience énergétique et performance du bâtiment.....	1
I.1.1. Efficience énergétique : Eléments de conceptualisation.....	1
I.1.1.1. Efficience.....	1
I.1.1.2. Efficience énergétique.....	2
I.1.1.3. Énergie.....	2
I.1.2. La crise énergétique dans le monde : État des lieux.....	3
I.1.2.1. La situation énergétique post pandémie : vers une stratégie de résilience énergétique.....	3
I.1.2.2. La situation énergétique dans le sillage de l'invasion russe de l'Ukraine.....	4
I.1.3. Avantages de l'efficience énergétique.....	5
I.1.3.1. Avantages économiques.....	6
I.1.3.2. Avantages environnementaux.....	6
I.1.3.3. Avantages sociaux.....	6
I.1.3.4. Résilience et fiabilité.....	6
I.1.3.5. Avantages de santé.....	6
I.1.4. L'efficience énergétique des bâtiments.....	6

I.1.4.1.	Définition de l'efficacité énergétique des bâtiments	6
I.1.4.2.	La consommation énergétique des bâtiments.....	7
I.1.5.	La Réglementation Thermique en matière de performance énergétique	8
I.1.6.	La réglementation environnementale européenne RE2020	8
I.1.6.1.	Le volet de la performance énergétique des bâtiments de la RE2020.....	9
I.1.6.1.1.	Le coefficient Bbio (Besoin Bioclimatique).....	10
I.1.6.1.2.	Le Coefficient d'Énergie Primaire (Cep)	10
I.1.6.1.3.	Coefficient d'Énergie Primaire non renouvelable (Cep,nr).....	11
I.1.6.2.	Labellisation et certification énergétique	11
I.1.6.2.1.	La labellisation énergétique des bâtiments.....	11
I.1.6.2.2.	L'audit énergétique.....	14
I.1.6.2.3.	Le bilan énergétique	14
I.1.6.2.4.	Diagnostic de performance énergétique DPE.....	15
A.	Étiquette Énergie	16
B.	Étiquette climat.....	16
I.1.7.	La Réglementation Algérienne en matière de performance énergétique	17
I.1.7.1.	Politique Algérienne pour la transition énergétique.....	17
I.1.7.1.1.	Les perspectives de maîtrise de l'énergie.....	17
A.	La Réglementation Thermique Algérienne du bâtiment RT2016	19
I.1.7.1.2.	Programme d'appuis à la transition énergétique : "TAKA NADIFA".....	20
A.	Aperçu sur le programme "TAKA NADIFA"	20
a.	<i>Programme national des énergies renouvelables 2015-2030 (PNDER) : ..</i>	<i>20</i>
b.	<i>Programme national d'efficacité énergétique 2015-2030 (PNEE) :</i>	<i>20</i>
B.	La démarche du programme "TAKA NADIFA"	21
C.	Axes d'intervention et groupes d'activités du programme.....	21
a.	<i>Appui institutionnel et réglementaire du programme</i>	<i>21</i>
b.	<i>Appui dans le domaine des énergies renouvelables</i>	<i>21</i>
c.	<i>Appui dans le domaine de l'efficacité énergétique</i>	<i>21</i>
D.	Proposition d'optimisation de la réglementation thermique des bâtiments RTB+.....	22
E.	Les cinq propositions de l'Assistance Technique pour une RTB+ par rapport à la RTB.....	23
F.	Attestation de Performance Énergétique Potentielle APPE	24
a.	<i>Étiquettes énergie</i>	<i>24</i>
b.	<i>Étiquettes climat</i>	<i>25</i>
I.1.8.	Stratégies d'efficacité énergétique dans le bâtiment	26
I.1.8.1.	Stratégies passives	27
I.1.8.2.	Stratégies actives	27

I.2.	Les énergies renouvelables dans le bâtiment.....	28
I.2.1.	Aperçu sur les énergies renouvelables	28
I.2.1.1.	Énergies renouvelables : élément de conceptualisation	28
I.2.1.2.	Types des énergies renouvelables.....	28
I.2.1.2.1.	L'énergie solaire	28
A.	Le solaire photovoltaïque	29
B.	Le solaire thermique	30
I.2.1.2.2.	Énergie éolienne	31
I.2.1.2.3.	Énergie géothermique.....	31
A.	Géothermie haute température/énergie.....	33
B.	Géothermie basse température/énergie.....	33
C.	Géothermie très basse température/énergie (Géothermie superficielle).....	34
a.	<i>Puits canadien</i>	34
b.	<i>Pompes à chaleur géothermiques (PAC)</i>	35
c.	<i>Géostructures thermo-énergétiques</i>	37
I.2.1.2.5.	Énergie hydraulique.....	38
I.2.1.3.	Avantages des énergies renouvelables	39
I.2.1.3.1.	Avantages économiques	39
I.2.1.3.2.	Avantages environnementaux.....	39
I.2.1.3.3.	Avantages sociaux	40
I.2.1.3.4.	Résilience et fiabilité	40
I.2.2.	Les systèmes énergétiques hybrides.....	40
I.2.2.1.	Systèmes énergétiques hybrides : Éléments de conceptualisation	40
I.2.2.1.1.	Systèmes énergétiques	40
I.2.2.1.2.	Systèmes énergétiques hybrides	40
I.2.2.2.	Classification des systèmes énergétiques hybrides	41
I.2.2.2.1.	Régime de fonctionnement.....	41
I.2.2.2.2.	Classification par gamme électrique.....	42
I.2.2.2.3.	La structure du système hybride.....	42
I.2.2.3.	Avantages des systèmes énergétiques hybrides.....	43
I.2.2.4.1.	Les composants du système hybride photovoltaïque-géothermique	43
A.	Le système solaire photovoltaïque	43
a.	<i>Principe</i>	44
b.	<i>Mode de fonctionnement</i>	45
B.	Le système géothermique (Géostructure thermo-énergétique)	47
a.	<i>Principe</i>	48
b.	<i>Mode de fonctionnement</i>	50

Conclusion.....	51
Chapitre II : Modélisation énergétique des bâtiments	52
Introduction :.....	52
II.1. Modélisation énergétique et performance des bâtiments	52
II.1.1. Modélisation énergétique des bâtiments : Éléments de conceptualisation.....	52
II.1.1.1. Modélisation.....	52
II.1.1.2. Modélisation énergétique des bâtiments (Building Energy Modeling (BEM)).....	52
II.1.2. Les aspects de modélisation des bâtiments.....	54
II.1.2.1. Le site	54
II.1.2.2. Le bâti.....	54
II.1.2.3. L'utilisation de bâtiment.....	54
II.1.3. Les avantages de modélisation énergétique des bâtiments.....	54
II.1.4. Évolution de modélisation énergétique des bâtiments	55
II.2. La simulation thermo-énergétique des bâtiments.....	55
II.2.1. Définition.....	55
II.2.2. Paramètres de la simulation thermo-énergétique.....	56
II.2.3. Processus de la simulation thermo-énergétique.....	56
II.2.4. Système de la simulation thermo-énergétique.....	57
II.2.5. Principe de la simulation thermo-énergétique	58
II.2.6. Objectifs de la simulation thermo-énergétique.....	59
II.2.7. Les outils de simulation thermo-énergétique des bâtiments.....	59
II.2.7.1. Pleiades 2022.....	60
II.2.7.2. TRNSYS 18.....	60
II.2.7.3. EnergyPlus.....	61
II.2.7.4. DesignBuilder.....	61
II.2.7.5. ArchiWIZARD 2023.0.3_v11.0.3	62
II.2.7.5.1. Présentation de logiciel	62
II.2.7.5.2. Les avantages d'ArchiWIZARD 2023	63
A. RT2012 et RE2020	63
B. Conception Bioclimatique et analyses solaires	63
C. Analyse de Cycle de vie du produit (ACV).....	63
D. Réglementation thermique des bâtiments existants RT	64
E. Calcul des déperditions calorifiques EN 12831	64
F. Simulation thermique dynamique (STD)	64
II.2.7.5.3. Les principales fonctionnalités d'ArchiWIZARD 2023.....	64
A. La maquette numérique au service des études réglementaires RE2020/RT2012.....	64
B. Réalisation de conception Bioclimatique et d'analyses solaires agiles et en temps réel	65
C. ACV – Une analyse de Cycle de Vie et expérimentation E+C- optimisée	66

D.	Applique de la réglementation thermique des bâtiments existants RT.....	67
E.	EN 12831 – Dimensionnement automatisé des équipements de chauffage EN 12831 68	
F.	La référence pour la simulation thermique dynamique (STD).....	68
II.2.7.5.4.	La méthodologie de la simulation par le logiciel ArchiWIZARD 2023	69
A.	L’import depuis a maquette numérique BIM / Logiciel de CAO.....	69
a.	<i>Version intégrée dans Autodesk Revit® 2023 (Plug-in)</i>	69
b.	<i>Version autonome</i>	70
	Conclusion.....	80
	Chapitre III : Autours du projet “Experimentarium”	81
	Introduction :	81
III.1.	Aperçu sur l’Experimentarium	81
III.1.1.	Définition d’Experimentarium :	81
III.1.1.1.	La science	82
III.1.1.2.	La technologie	82
III.1.1.3.	L’expérimentation	82
III.1.2.	Histoire et évolution	82
III.1.3.	Objectifs de l’Experimentarium	83
III.2.	Analyse des exemples	83
III.2.1.	Exemple 01 : Experimentarium.....	83
III.2.1.1.	Présentation	83
A.	Motivation de choix.....	84
B.	Fiche technique du projet	84
III.2.1.2.	Dimension urbaine	84
A.	Situation.....	84
B.	Environnement immédiat	85
C.	Étude de plan de masse.....	85
D.	Accessibilité	86
III.2.1.3.	Dimension conceptuelle	86
A.	Principe de conception	86
B.	Orientation.....	87
C.	Volumétrie.....	88
D.	Façades	88
E.	Structure	89
III.2.1.4.	Dimension fonctionnelle	90
A.	Analyse de l’intérieur	90
a.	<i>Principe d’organisation</i>	90
b.	<i>Présentation des plans</i>	90
III.2.1.5.	Synthèse.....	91
III.2.2.	Exemple 02 : La cité des sciences et de l’industrie	92

III.2.2.1. Présentation	92
A. Motivation de choix.....	92
B. Fiche technique du projet	92
III.2.2.2. Dimension urbaine	93
A. Situation.....	93
B. Environnement immédiat	93
C. Étude de plan de masse.....	94
D. Accessibilité	94
III.2.2.3. Dimension conceptuelle	95
A. Principe de conception	95
B. Orientation.....	96
C. Volumétrie.....	96
D. Façades	97
E. Structure	98
III.2.2.4. Dimension fonctionnelle	99
A. Analyse de l'intérieur	99
a. <i>Principe d'organisation</i>	99
b. <i>Présentation des plans</i>	99
III.2.2.5. Synthèse.....	101
III.2.3. Exemple 03 : musée du Futur.....	102
III.2.3.1. Présentation	102
A. Motivation de choix.....	102
B. Fiche technique.....	102
III.2.3.2. Dimension urbaine	103
A. Situation.....	103
B. Environnement immédiat	103
C. Étude de plan de masse.....	104
D. Accessibilité	104
III.2.3.3. Dimension conceptuelle	104
A. Principe de conception	104
B. Orientation.....	105
C. Volumétrie.....	106
D. Façades	106
E. Structure	107
III.2.3.4. Dimension fonctionnelle	107
A. Analyse de l'intérieur	107
a. <i>Principe d'organisation et circulation</i>	107
III.2.3.5. Synthèse.....	108
III.2.4. Synthèse écologique globale	109

III.2.4.1. Exemple 01 : Experimentarium à Danemark	109
III.2.4.2. Exemple 02 : Cité des sciences et de l'industrie à Paris.....	110
III.2.4.3. Exemple 03 : Musée du Futur à Dubaï.....	111
III.3. Programme du projet Experimentarium	113
III.3.1. La programmation architecturale	113
III.3.2. Programme retenu	114
Conclusion.....	116
Chapitre IV : Site d'intervention et éléments conceptuels.....	117
Introduction	117
IV.3.2. Motivation de choix.....	117
IV.2. Analyse du site d'intervention.....	117
IV.2.1. Présentation de la ville de Guelma	117
IV.2.1.1. Contexte géographique : situation et les limites de la ville de Guelma.....	117
IV.2.2. Analyse climatique	119
IV.2.2.1. Les températures (°C).....	120
IV.2.2.1.1. Le graphique horaire de température	121
IV.2.2.1.2. Les moyennes journalières mensuelles des températures sèches et humides	122
IV.2.2.2. Les radiations solaires (Wh/m ² par heure)	122
IV.2.2.3. Diagrammes solaires	123
IV.2.2.3.1. Hiver – Printemps (De 21 Décembre à 21 Juin)	123
IV.2.2.3.2. Été – Automne (De 21 Juin à 21 Décembre)	124
IV.2.2.4. L'éclairage naturel (lux).....	124
IV.2.2.4.1. Eclairage naturel direct normal	124
IV.2.2.4.2. Eclairage naturel global horizontal	125
IV.2.2.5. Le ciel.....	125
IV.2.2.6. La vitesse des vents	126
IV.2.2.7. La rose des vents	126
IV.2.2.8. Les températures du sol (moyenne mensuelle).....	127
a. Profondeur de 0.5m	127
b. Profondeur de 2.0m	127
c. Profondeur de 4.0m	127
IV.2.2.9. Diagramme psychrométrique	128
IV.2.3. Présentation de terrain	129
IV.2.3.1. Situation et limites.....	129
IV.2.3.1.1. Situation	129
IV.2.3.1.2. Limites	130
A. Limite de la route nationale.....	130
B. La servitude de la ligne électrique.....	130
IV.2.3.2. Environnement immédiat	131

IV.2.3.3. Morphologie	132
IV.2.3.3.1. Forme	132
La forme du terrain est un Trapèze à angle droit.....	132
IV.2.3.3.2. Superficie et dimensions	132
IV.2.3.4. Topographie.....	132
IV.2.3.4.2. Transversale	133
IV.2.3.4.3. Modélisation 3D de la topographie du terrain.....	134
IV.2.3.5. Accessibilité	134
IV.2.3.6. Analyse microclimatique.....	135
IV.2.3.6.1. Ensoleillements	135
IV.2.3.6.2. Les masques solaires.....	136
A. Les masques solaires Hiver – Printemps (De 21 Décembre à 21 Juin).....	136
B. Les masques solaires Été – Automne (De 21 Juin à 21 Décembre).....	136
IV.2.3.6.3. Les vents dominants.....	137
A. Hiver (De décembre à mars).....	137
B. Printemps (De mars à juin).....	137
C. Été (De juin à septembre).....	138
D. Automne (De septembre à décembre).....	138
E. Vents dominants -annuel-.....	139
IV.2.4. Synthèse AFOM.....	139
IV.3. Éléments conceptuels	141
IV.3.1. Recommandations conceptuelles.....	141
IV.3.1.1. Recommandations conceptuelles passives	141
IV.3.1.1.1. Masse bâtie.....	141
IV.3.1.1.2. Enveloppe	144
A. Gain	144
B. Stockage	146
C. Protection.....	147
IV.3.1.1.3. Revêtements et isolation	148
IV.3.1.1.4. Espace extérieur	150
IV.3.1.2. Recommandations conceptuelles actives.....	150
IV.3.1.2.1. Énergie solaire.....	150
A. Le potentiel solaire de Guelma.....	150
B. Recommandations conceptuelles solaires	151
IV.3.1.2.2. Énergie géothermique	153
A. Le potentiel géothermique de Guelma	153
B. Recommandations conceptuelles géothermiques	154
IV.3.2. Schéma de principe	154
IV.3.2.1. Processus de formalisation du projet.....	154

A. Principes	155
B. Genèse de projet	155
IV.3.2.2. Démarche conceptuelle	157
A. Description du projet	157
B. Principe d'implantation	158
IV.3.2.3. Projection des éléments conceptuels sur le site d'intervention	158
IV.3.2.3.1. Accessibilité	158
IV.3.2.3.2. Schéma de principe	159
Conclusion.....	159
Conclusion générale	160
Bibliographie.....	162
Annexes.....	i
ANNEXE 1	ii
ANNEXE 2	vii
ANNEXE 3	xiii
ANNEXE 4	ii
ANNEXE 5	xiii
ANNEXE 6	xxvii

Liste des Abréviations

ACV : Analyse de Cycle de vie.

APRUE : Agence Nationale pour la Promotion et la Rationalisation de l'Utilisation de l'Energie.

APPE : Attestation de Performance Energetique Potentielle du batiment.

Bbio: Besoin bioclimatique.

BEM : Building Energy Modeling.

BEPOS : Bâtiment à Energie POSitive.

BIM : Building Information Modeling.

CAO : Conception Assistée par Ordinateur.

Cep : Coefficient d'énergie primaire.

Cep,nr : Consommation en énergie primaire non renouvelable.

CNERIB : Centre National d'Etudes et de Recherches Intégrées du Bâtiment.

CO₂ : Dioxyde de carbone.

COP : Conference Of the Parties.

Cp : Capacité calorifique.

CSTB : Centre Scientifique et Technique du Bâtiment.

CSV : Coma Separated Values.

CVC : Chauffage, Ventilation, Climatisation.

DHUP : Direction de l'Habitat, de l'Urbanisme et des Paysages.

DPE : Diagnostic de Performance Energétique.

DTR : Document Thermique Réglementaire.

DTR.C3.2/4 : La réglementation thermique algérienne actuellement en vigueur (RT2016).

E+C- : Énergie Positive et Réduction Carbone.

EC research : European Commission research.

ECS : Eau Chaude Sanitaire.

EE : Efficacité Energétique.

EnR : Énergies Renouvelables.

FLJ : Facteur de Lumière du Jour.

GES : Gaz à Effet de Serre.

GHG : GreenHouse Gas.

GW : GigaWatt.

HVAC : Heating, Ventilation and Air-Conditioning.

IFC : Industry Foundation Classes.

INIES : Inventaire National des Émissions de polluants dans l'air et les eaux en France.

kgCO₂/m².an : la consommation des émissions de gaz à effet de serre (GES) par mètre carré et par an.

kWh : KiloWatheure.

Kwh/m².an : la consommation d'énergie par unité de surface et par an.

KWhEP/(m².an)) : la consommation d'énergie primaire par unité de surface et par an.

m² : Mètre carré.

MTEER : Ministère de la Transition Energétique et des Energies Renouvelables.

MTep : Million de Tonnes équivalent pétrole.

ODD : Objectifs de Développement Durable.
PAC : Pompes À Chaleur.
PACg : Pompe À Chaleur géothermique.
PNDER : Programme National Des Energies Renouvelables.
PNEE : Programme National d'Efficacité Energétique.
PNME : Programme National de Maîtrise de l'Energie.
PV : Photovoltaïque.
Q_{aux} : le bilan d'énergie.
Q_{gi} : gains internes.
Q_{gs} : gains solaires.
Q_{le} : pertes par conduction de l'enveloppe.
Q_{lv} : pertes par renouvellement d'air.
RE : Réglementation Environnementale.
RSEE : Rapport Standardisé d'Etude Thermique.
RT : Réglementation Thermique.
RTB : Réglementation Thermique des Bâtiments.
STD : Simulation Thermique Dynamique.
TEP : Tonnes Equivalent Pétrole.
T_{sol} : Température du Sol.
UE : Union Européenne.
 λ : conductivité thermique.
 ρ : masse volumique.
3E : Economie / Energie / Environnement.
3D : Trois Dimensions.

Liste des Figures

Figure 1: Population touchée par les mesures Covid-19 au premier semestre 2020.....	4
Figure 2: Gazoduc de Russie vers l'union européenne et Türkiye	5
Figure 3: Consommation finale d'énergie dans le secteur des bâtiments en 2021	7
Figure 4: L'évolution des réglementations thermiques vers la réglementation environnementale 2020	8
Figure 5: Principales évolutions de la RE2020 sur le volet performance énergétique	10
Figure 6: Évolution de la performance énergétique des bâtiments	12
Figure 7: L'échelle des niveaux de performance énergétique du bâtiment à énergie positive	14
Figure 8: Diagnostic de performance énergétique	16
Figure 9: étiquetage énergétique	22
Figure 10: Production d'électricité mondiale par l'énergie solaire	29
Figure 11: Panneau solaire photovoltaïque	29
Figure 12: Principe de fonctionnement du panneau solaire photovoltaïque	30
Figure 13: Principe de fonctionnement du panneau solaire thermique.....	30
Figure 14: production d'électricité mondiale par l'énergie éolienne.....	31
Figure 15: Production d'électricité par l'énergie géothermique	32
Figure 16: Principe de fonctionnement de la centrale de bouillante.....	33
Figure 17: Schéma général d'un réseau de chaleur	34
Figure 18: Principe de fonctionnement du puits canadien.....	35
Figure 19: Schéma des pompes à chaleur à capteurs horizontaux et verticaux	36
Figure 20: Schéma des pompes à chaleur sur nappes d'eau	36
Figure 21: Schéma de principe du fonctionnement d'une géostructure thermique en hiver....	37
Figure 22: Exemple de ville équipée de multiples géostructures thermiques.....	37
Figure 23: production d'électricité mondiale par l'énergie de biomasse.....	38
Figure 24: Production d'électricité mondiale par l'énergie hydraulique.....	39
Figure 25: Structure d'un système énergétique hybride solaire-géothermique connecté à une charge	43
Figure 26: Définition de la position du soleil (latitude et azimut)	44
Figure 27: Représentation de la latitude (hauteur) angulaire et l'azimut.....	44
Figure 28: Orientation des panneaux solaires	45
Figure 29: Distribution des rayonnements solaires reçu sur les façades et le toit d'un bâtiment	46
Figure 30: Mur rideau solaire.....	47
Figure 31: Les types d'intégration des panneaux photovoltaïques en façades des bâtiments ..	47
Figure 32: Géostructure thermo-énergétique	48
Figure 33: Un exemple de configuration des géostructures thermiques dans un projet	49
Figure 34: La Terre comme machine thermique.....	49
Figure 35: Schéma général des 3 circuits d'échange de chaleur entre le sol et le bâtiment	50
Figure 36: phases d'importation IFC – BIM – BEM	54
Figure 37: Les données d'entrée pour les outils de simulation.....	57
Figure 38: Interface de logiciel Pleiades BIM	60
Figure 39: Interface TRNBuild de logiciel TRNSYS	60
Figure 40: Interface de logiciel EnergyPlus.....	61
Figure 41: Interface de logiciel DesignBuilder.....	61
Figure 42: Interface de logiciel Graitec_ArchiWizard_2023.0.3_v11.0.3.....	62
Figure 43: les outils de logiciel ArchiWIZARD 2023	62
Figure 44: les deux modes d'import de maquette 3D de bâtiment dans ArchiWIZARD.....	63
Figure 45: La maquette numérique au service des études réglementaires RE2020/RT2012... 65	

Figure 46: Réalisation de conception Bioclimatique et d’analyses solaires agiles et en temps réel.....	66
Figure 47: ACV – Une analyse de Cycle de Vie et expérimentation E+C- optimisée	66
Figure 48: : La réglementation thermique des bâtiments existants RT.....	67
Figure 49: Calcul selon la norme NF EN 12831	68
Figure 50: : Simulation thermique dynamique STD	69
Figure 51: Ruban de GRAITEC ArchiWizard 2023 dans l’interface de Revit 2023.....	70
Figure 52: Icône d’ArchiWIZARD 2023	70
Figure 53: Importation de modèle d’ArchiWIZARD 2023	70
Figure 54: Renseignement de la localisation du projet dans ArchiWIZARD 2023.....	71
Figure 55: Définir la configuration du projet dans ArchiWIZARD 2023.....	71
Figure 56: Préparation de la maquette pour l’analyse énergétique - ArchiWIZARD 2023.....	73
Figure 57: Définir l’échelle de la scène - ArchiWIZARD 2023	73
Figure 58: Configurateur des parois - ArchiWIZARD 2023	74
Figure 59: Modification de matériaux des parois - ArchiWIZARD 2023	74
Figure 60: Modification de compositions des parois - ArchiWIZARD 2023.....	75
Figure 61: Configurateur des baies - ArchiWIZARD 2023.....	75
Figure 62: Configurateur des ponts thermiques - ArchiWIZARD 2023.....	76
Figure 63: Outil d’imagerie solaire - ArchiWIZARD 2023.....	76
Figure 64: Outil d’ombres portées - ArchiWIZARD 2023	77
Figure 65: Outil de cartes d’éclairage - ArchiWIZARD 2023.....	77
Figure 66: Résultats - ArchiWIZARD 2023 (Source : Capture de logiciel ArchiWIZARD ...	78
Figure 67: Résultats RT2012 - ArchiWIZARD 2023 (Source : Capture de logiciel	78
Figure 68: Résultats RE2020 - ArchiWIZARD 2023 (Source : Capture de logiciel	79
Figure 69: EN12831- Calcul des déperditions - ArchiWIZARD 2023.....	79
Figure 70: STD – EnergyPlus - ArchiWIZARD 2023.....	80
Figure 71: Les volets d’Experimentarium.....	81
Figure 72: L’évolution des musées d’art et d’histoire vers les musées et les centres des sciences et de la technologie	83
Figure 73: Experimentarium	84
Figure 74: Situation d’Experimentarium par rapport au Danemark	84
Figure 75: Situation d’Experimentarium par rapport à la ville de Hellerup	84
Figure 76: Environnement immédiat du projet Experimentarium	85
Figure 76: Plan de masse du projet Experimentarium	85
Figure 77: Accessibilité du projet Experimentarium	86
Figure 78: Principe de conception du projet Experimentarium	87
Figure 79: Orientation du projet d’Experimentarium	87
Figure 80: Volume du projet Experimentarium	88
Figure 81: Façade du projet Experimentarium.....	89
Figure 82: Façade du projet Experimentarium.....	89
Figure 83: Structure du projet Experimentarium	89
Figure 84: La structure du cuivre d’escalier à hélice	89
Figure 85: Principe d’organisation intérieure du projet d’Experimentarium	90
Figure 86: Plan RDC d’Experimentarium	90
Figure 87: Plan premier étage d’Experimentarium.....	90
Figure 88: Plan deuxième étage d’Experimentarium.....	91
Figure 89: Plan troisième étage d’Experimentarium	91
Figure 90: Plan quatrième étage d’Experimentarium	91
Figure 91: Cité des sciences et de l’industrie.....	92
Figure 92: Situation de la cité des sciences et de l’industrie par rapport au France.....	93

Figure 93: Situation de la cité des sciences et de l'industrie par rapport à la ville de Paris	93
Figure 94: Environnement immédiat de la cité des sciences et de l'industrie	93
Figure 95: Plan de masse de la cité des sciences et de l'industrie	94
Figure 96: Accessibilité de la cité des sciences et de l'industrie	95
Figure 97: Volume 3D de la cité des sciences et de l'industrie	95
Figure 98: Orientation de la cité des sciences et de l'industrie	96
Figure 99: Volume de la cité des sciences et de l'industrie	96
Figure 100: Façade Nord de la cité des sciences et de l'industrie	97
Figure 101: Façade Sud de la cité des sciences et de l'industrie	97
Figure 102: Structure intérieure de la cité des sciences et de l'industrie.....	98
Figure 103: Structure extérieure de la cité des sciences.....	98
Figure 104: Structure de la Géode.....	98
Figure 105: Plan niveau -2 de la cité des sciences et de l'industrie.....	99
Figure 106: Plan niveau -1 de la cité des sciences et de l'industrie.....	100
Figure 107: Plan niveau 0 de la cité des sciences et de l'industrie	100
Figure 108: Plan niveau 1 de la cité des sciences et de l'industrie	100
Figure 109: Plan niveau 2 de la cité des sciences et de l'industrie	101
Figure 110: Musée du Futur	102
Figure 111: Situation de musée du future par rapport aux UEA.....	103
Figure 112: Situation de musée du future par rapport à la ville de Dubaï	103
Figure 113: Environnement immédiat de musée du Futur	103
Figure 114: Plan de masse de musée du Futur	104
Figure 115: Accessibilité de musée du Futur	104
Figure 116: Principe de conception du musée de Futur	105
Figure 117: Orientation du musée de Futur	105
Figure 118: Volume du musée de Futur	106
Figure 119: Facade du musée de Futur	106
Figure 120: Détail de facade du musée de Futur.....	106
Figure 121: Structure du musée de Futur	107
Figure 122: Détail structure toroïdale du musée de Futur.....	107
Figure 123: Principe d'organisation intérieur du musée de Futur	108
Figure 124: hall d'accueil du musée de Futur.....	108
Figure 125: Coupe du musée de Futur	108
Figure 126: Schéma des éléments écologiques intégrés dans le projet d'Experimentarium ..	110
Figure 127: Les serres de façade sud de la cité des sciences et de l'industrie	111
Figure 128: Principe d'Eau, végétation, lumière	111
Figure 129: Les capteurs d'air et pénétration de lumière naturelle à l'intérieur du musée de Futur	112
Figure 130: Schéma de programmation du projet.....	113
Figure 131: schéma des entités principales de projet.....	114
Figure 132: La situation géographique et administrative de la wilaya de Guelma	118
Figure 133: Le profil de dénivelé des montagnes qui entourées la ville de Guelma	119
Figure 134: Carte mondiale de la classification climatique Köppen-Geiger	120
Figure 135: Gamme de température de la ville de Guelma.....	120
Figure 136: Graphique horaire 3D des températures de la ville de Guelma	121
Figure 137: Graphique horaire des températures de la ville de Guelma.....	121
Figure 138: Les moyennes journalières mensuelles des températures sèches et humides de la ville de Guelma	122
Figure 139: Quantité des radiations solaires de la ville de Guelma.....	123

Figure 140: Diagramme solaire Hiver-Printemps de la ville de Guelma.....	123
Figure 141: Diagramme solaire Été-Automne de la ville de Guelma.....	124
Figure 142: Gamme d'éclairage naturel de la ville de Guelma.....	124
Figure 143: Gamme des masques de ciel de la ville de Guelma.....	125
Figure 144: Gamme des vitesses du vent de la ville de Guelma.....	126
Figure 145: La rose des vents de la ville de Guelma.....	127
Figure 146: Les températures du sol moyennes mensuelles de la ville de Guelma.....	128
Figure 147: Diagramme psychométrique de la ville de Guelma.....	128
Figure 148: Diagramme psychométrique de la ville de Guelma avec les stratégies de conception pour un confort à 100%.....	129
Figure 149: Situation du terrain dans la ville de Guelma.....	129
Figure 150: Limites du terrain d'intervention.....	131
Figure 151: Environnement immédiat du terrain d'intervention.....	132
Figure 152: Morphologie du terrain.....	132
Figure 153: Coupe topographique longitudinale du terrain d'intervention.....	133
Figure 154: Le profil de dénivelé de la coupe longitudinale du terrain d'intervention.....	133
Figure 155: Coupe topographique transversale du terrain d'intervention.....	133
Figure 156: Le profil de dénivelé de la coupe transversale du terrain d'intervention.....	134
Figure 157: Modélisation 3D de la topographie du terrain d'intervention.....	134
Figure 158: Accessibilité du terrain d'intervention.....	135
Figure 159: Étude d'ensoleillement pendant les 2 équinoxes à 10 :00h.....	135
Figure 160: Étude d'ensoleillement pendant les 2 solstices à 10 :00h.....	135
Figure 161: Les masques solaires Hiver-Printemps.....	136
Figure 162: Les masques solaires Été-Automne.....	136
Figure 163: Les vents dominants en hiver au terrain d'intervention par le logiciel Climate Consultant 6.0.....	137
Figure 164: Les vents dominants en printemps au terrain d'intervention par le logiciel Climate Consultant 6.0.....	137
Figure 165: Les vents dominants en été au terrain d'intervention par le logiciel Climate Consultant 6.0.....	138
Figure 166: Les vents dominants en automne au terrain d'intervention par le logiciel Climate Consultant 6.0.....	138
Figure 167: Les vents dominants annuels au terrain d'intervention par le logiciel Climate Consultant 6.0.....	139
Figure 168: Carte d'Irradiation Globale Directe Annuelle Moyenne.....	150
Figure 169: Carte d'Irradiation Directe Annuelle Moyenne.....	150
Figure 170: les moyennes mensuelles des quantités d'énergie des radiations solaire de la ville de Guelma.....	151
Figure 171: Quantité d'énergie des radiations solaires à 0° d'inclinaison et d'orientation ...	151
Figure 172: Quantité d'énergie des radiations solaires à 45° d'inclinaison et -25° d'orientation.....	152
Figure 173: Angle d'inclinaison et d'Azimut recommandés.....	152
Figure 174: Principales zones géothermiques en Algérie.....	153
Figure 175: Carte géologique de région de Guelma.....	153
Figure 176: Disposition de tube échangeur au centre des parois moulées thermoactives.....	154
Figure 177: L'interface sol/structure.....	154
Figure 178: Accessibilité proposée.....	158
Figure 179: Schéma de principe.....	159

Liste des Tableaux

Tableau 1: Étiquetage énergétique européen de la consommation annuelle d'énergie	16
Tableau 2: Étiquetage climatique européen des émissions de GES.....	17
Tableau 3: Les cinq propositions e l'assistance technique pour une RTB+ par rapport à la RTB	24
Tableau 4: Étiquetage énergétique algérien de la consommation annuelle d'énergie primaire sans énergies renouvelables	25
Tableau 5: Étiquetage énergétique algérien de la consommation annuelle d'énergie primaire avec panneaux photovoltaïques.....	25
Tableau 6: Étiquetage climatique algérien de la consommation annuelle d'énergie primaire sans énergies renouvelables	26
Tableau 7: Étiquetage climatique algérien de la consommation annuelle d'énergie primaire avec panneaux photovoltaïques	26
Tableau 8: Classification des systèmes énergétiques hybrides par gamme électrique	42
Tableau 9: Programme retenu	114
Tableau 10: La zone de confort des températures en 50 % humidité relative	121
Tableau 11: Pourcentage des températures de la ville de Guelma	122
Tableau 12: Horaires et températures du zone de surchauffe de la ville de Guelma	122
Tableau 13: Températures et directions des vents de la ville de Guelma	126
Tableau 14: Humidités et directions des vents de la ville de Guelma.....	127
Tableau 15: Les stratégies de conception.....	128
Tableau 16: Synthèse AFOM.....	139
Tableau 17: Recommandations conceptuelles de la masse bâtie	141
Tableau 18: Recommandations conceptuelles de gain.....	144
Tableau 19: Recommandations conceptuelles de stockage.....	146
Tableau 20: Recommandations conceptuelles de protection	147
Tableau 21: Recommandations conceptuelles des revêtements et isolation	148
Tableau 22: Recommandations conceptuelles d'espace extérieur par Climate Consultant....	150

CHAPITRE INTRODUCTIF

I. Introduction

Aujourd'hui, Le secteur de l'énergie dans le monde entier fait face à des défis importants qui viennent encore plus aigus, et avec les tendances énergétiques actuelles qui soulèvent de grandes préoccupations au sujet des "Three Es"¹ (Diakaki, Grigoroudis, & Kolokotsa, 2008), dans ce cadre la COP27 récemment effectuée en novembre 2022 à Charm el-cheikh en Égypte, illustre qu'à l'heure actuelle, seulement 29 % de la production mondiale d'électricité provient des énergies renouvelables, mais comme la production d'électricité représente 23 % des émissions mondiales de gaz à effet de serre, nous devons aller plus loin et plus vite pour accroître notre capacité mondiale d'énergie renouvelable d'ici 2030².

Mondialement, les bâtiments consomment environ 32 % de l'énergie électrique totale et sont responsables d'environ 30 % des émissions de CO₂ (Pinzon, Vergara, Da Silva, & Rider, 2018), à titre d'exemple annuellement aux États-Unis les bâtiments consomment environ 40 % de l'énergie et 70 % de l'électricité (Tadokoro, et al., 2014). Aussi, environ 40% de la consommation finale d'énergie dans la Communauté européenne est dans le secteur du bâtiment. «EC Research » a indiqué qu'en améliorant l'efficacité énergétique, les émissions de carbone des bâtiments pourraient être réduites de 22 %. Cela aidera l'Union Européenne à atteindre ses objectifs en matière de changement climatique dans le cadre des engagements du « Protocole de Kyoto », ainsi qu'à améliorer la performance énergétique des bâtiments nouveaux et existants (Li & Yao, 2009).

Aussi, Le secteur de la construction en Chine représente actuellement 30 % de la consommation finale totale d'énergie en Chine, ce qui montre la superficie des nouvelles constructions achevées dans les villes chinoises de 1991 à 2006. De ce fait Le gouvernement chinois ont mis en garde contre la consommation d'énergie dans les bâtiments en raison de la demande croissante d'énergie des bâtiments. Le rapport « Energy comprehensive development strategy and policy in China » par le Centre de recherche pour le développement du Conseil d'Etat a souligné que pour établir une société aisée dans les 20 prochaines années, les stratégies d'efficacité énergétique devraient être axées sur la poursuite de la promotion de l'économie

¹ the environment, the energy security and the economic prosperity

² <https://climatechampions.unfccc.int/cop27-day8-energy/>

d'énergie industrielle et, en particulier, sur la promotion de l'efficacité énergétique dans les bâtiments et les transports (Li & Yao, 2009).

À l'échelle nationale, le secteur du bâtiment est le premier consommateur d'énergie en Algérie, il absorbe 41% de la consommation totale d'énergie finale selon les statistiques de l'Agence nationale pour la promotion et la rationalisation de l'utilisation de l'énergie, et en raison de la forte urbanisation et de la croissance du parc immobilier algérien, la consommation d'énergie dans le secteur du bâtiment résidentiel a considérablement augmenté. Plus de 40% de la consommation totale d'énergie du pays est alloué au secteur résidentiel et 70 % de la consommation d'énergie de ce secteur est affectée au chauffage et au refroidissement (Imessad K. , et al., 2017).

En raison de cet impact élevé de la consommation énergétique des bâtiments à l'échelle mondiale, les bâtiments doivent être écoénergétiques et durables s'avèrent être une priorité parce qu'ils ont contribué de façon importante à la consommation d'énergie et aux problèmes environnementaux dans le monde.

Aujourd'hui, la technologie nous permet de construire des bâtiments de manière plus performant, de fournir des espaces productifs et sains pour les occupants et les visiteurs, et de produire un environnement sûr, écoénergétique et durable (Elmualim, 2010). Ainsi, les tendances de la conception des bâtiments sont actuellement en phases de mutations tendant actuellement à introduire de nouvelles notions à l'image de : la durabilité, la résilience, l'efficacité énergétique et tout récemment l'intelligence (smart building) (Apanaviciene, Vanagas, & Fokaidis, 2020). Ainsi les installations et les systèmes technologiques intégrés nécessaires pour le fonctionnement des smart buildings, peuvent contribuer de manière significative à trouver des solutions efficaces dans la réduction de la consommation énergétique dans le bâtiment.

Ces smart buildings peuvent atteindre un meilleur rendu avec ces techniques intelligentes par la combinaison des stratégies et des techniques de constructions passives et actives, des techniques passives où le bâtiment adapté au climat qui offre des conditions intérieures confortables, naturellement, à savoir : orientation, forme, ouverture et protection solaire pour éviter le rayonnement solaire, promouvoir la ventilation du vent dominant et assurer la lumière du jour dans le bâtiment. Par conséquent, Le fonctionnement du bâtiment nécessiterait moins de sources d'énergie mécaniques pour être indépendant de l'énergie fournie et rendre le bâtiment performant (Zaki, Nawawi, & Ahmad, 2008). Toutefois optimiser la performance des bâtiments

nécessitera en plus des systèmes constructives passives de faire recours à des procédés actives via des convertisseurs d'énergie qui transforment l'énergie renouvelable (énergie solaire, énergie éolienne, etc.) en énergie conventionnelle, en particulier l'énergie électrique, mécanique ou chimique pour un moyen d'améliorer le rendement du bâtiment (Luo, et al., 2019).

II. Problématique

Actuellement, Le présent et l'avenir des environnements construits de manière durable sont influencés par la capacité des architectes, des ingénieurs et des concepteurs urbains à créer des bâtiments qui réduisent les émissions de dioxyde de carbone associées aux bâtiments tout en atteignant des niveaux élevés d'efficacité énergétique. Cependant, cette capacité est influencée par la compréhension du climat local et l'application des principes et des stratégies de conception bioclimatique correspondants. Dans le passé, de nombreuses technologies innovantes ont été proposées pour améliorer les conditions intérieures, indépendamment des économies d'énergie. Aujourd'hui, l'intégration de solutions de conception passive et active dans les bâtiments nouvellement construits devient une nécessité dans le monde entier (Semahi, Zemmouri, Singh, & Attia, 2019).

Selon les dernières projections des Nations Unies, d'ici l'année 2030, il y aura 8,5 milliards de personnes dans le monde³ et la consommation augmentera de 75 % par rapport à 2000, répartie également entre les pays en développement et les pays développés. Cela signifie une augmentation de 37,5 % de la consommation d'énergie tous les 10 ans. Ces facteurs ont motivé la recherche sur la durabilité dans la production, la distribution, le stockage et la consommation d'énergie (Moreno, et al., 2016).

Les préoccupations au sujet du changement climatique découlant de l'augmentation des émissions anthropiques de gaz à effet de serre comme le CO₂ ont catalysé une transition vers un système énergétique plus durable. Dans de nombreux pays, de telles ambitions ont été formalisées par des objectifs fixés par les décideurs politiques, à titre d'exemple, la directive 20-20-20 de l'UE d'ici 2020, qui prévoit une réduction de 20 % de la consommation d'énergie d'ici 2020 par rapport aux niveaux de 1990, ainsi qu'une réduction de 20 % des émissions de CO₂ et de 20 % de toute l'énergie produite par les technologies renouvelables. Bien que de

³ <https://news.un.org/fr/story/2022/07/1123492>

telles mesures fassent l'objet de discussions en vue de stimuler l'adoption de technologies d'énergie renouvelable (Rocha, Siddiqui, & Stadler, 2014).

Notamment, il est important de souligner que la consommation d'énergie des bâtiments représente 30-40 % de la consommation d'énergie primaire mondiale (Zhang, Shah, & Papageorgiou, 2013), les pays développés consomment une énorme quantité d'énergie dans les bâtiments, où 50 % 65% sont consommés par l'électricité (Fahim, Fraz, & Sillitti, 2020), aussi 40 % de la consommation énergétique totale de l'UE et génèrent 36 % des GES, également aux Etats-Unis les bâtiments consomment près de 40% de l'énergie primaire, et près de 30% en Chine (Deng, Wang, & Dai, 2014).

Aujourd'hui, Les progrès technologiques stimulent de nouveaux produits et services, comprennent également le secteur des bâtiments en particulier les (smart buildings) qui, cependant, se traduisent inévitablement par des ressources intensives, notamment la consommation d'énergie. En même temps, une prise de conscience globale de leurs coûts en termes d'empreinte énergétique se fait jour au nom de la protection de l'environnement. En fait, les taux actuels d'utilisation de l'énergie dans le monde sont considérés comme plus abordables et, par conséquent, un nombre croissant de gouvernements promeuvent des politiques de développement durable et une utilisation intelligente des ressources énergétiques mondiales. Leur objectif ultime est une réduction significative de l'ensemble des émissions polluantes et l'adoption de stratégies appropriées pour réduire les déchets énergétiques inutiles. Par conséquent, plutôt que de réduire les services, la recherche dans le domaine de l'efficacité énergétique doit se concentrer sur l'optimisation de l'utilisation des ressources tout en offrant un niveau de confort adéquat pour les utilisateurs.

Au cours de la dernière décennie, l'analyse de l'efficacité énergétique de l'environnement bâti a reçu une attention croissante. Diverses approches ont abordé l'efficacité énergétique des bâtiments à l'aide de modèles prédictifs de consommation d'énergie fondés sur le profil d'utilisation, les données climatiques et les caractéristiques des bâtiments. Cependant, la plupart des approches proposées à ce jour ne fournissent que des solutions partielles au problème global de l'efficacité énergétique dans les bâtiments, où différents facteurs sont impliqués de manière holistique, mais ont jusqu'à présent été abordés séparément ou même négligés par les propositions précédentes. Cette division est souvent due à l'incertitude et au manque de données et d'intrants inclus dans le processus de modélisation, de sorte que l'analyse de la consommation d'énergie dans les bâtiments est incomplète (Moreno, et al., 2016).

Cela indique la nécessité de construire des bâtiments écoénergétiques où leur consommation d'énergie est faible et une efficacité énergétique plus grande. En outre, l'environnement du bâtiment affecte la qualité de vie et de travail de tous les citoyens. Ainsi, les bâtiments doivent être capables non seulement de fournir des mécanismes pour minimiser leur consommation d'énergie même en intégrant leurs propres sources d'énergie pour assurer leur durabilité énergétique, mais aussi améliorer l'expérience des occupants et la productivité (Moreno, et al., 2016).

Le bâtiment énergivore comprend des installations et des utilisations des systèmes technologiques avancés et intégrés qui constituent une part significative de la consommation énergétique, ce qui les rend énergivores. Dans ce sens, la question de l'efficacité énergétique de ce genre de bâtiment est l'un des plus grands défis à relever.

L'étude de l'impact des mesures d'efficacité énergétique sur les besoins énergétiques d'un bâtiment énergivore conditionné par les données climatiques de la ville de Guelma, afin d'améliorer leur performance énergétique, en adaptant les mesures les plus appropriées pour cette zone. Et cela nous fait chercher à identifier :

- **Comment optimiser l'efficacité énergétique des bâtiments à grande consommation énergétique dans le contexte spécifique de Guelma ?**

III. Hypothèses

Pour aborder la question de recherche nous posons l'hypothèse suivante :

La diversification des sources d'énergies renouvelables avec un système hybride (intelligent) peut contribuer à l'optimisation de la performance énergétique des bâtiments énergivores. Dans ce sens la combinaison Solaire-géothermique semble être une des meilleures configurations pour le cas spécifique de Guelma.

IV. Objectifs

Notre travail consiste à mettre en œuvre un processus conceptuel combinée entre des procédés passives optimisé par une approche active intelligente (multi-sources).

Les objectifs de ce travail sont :

- ✓ Tester la faisabilité de l'intégration des systèmes hybrides (multi sources) dans le processus de conception architecturale ;

- ✓ Optimiser l'efficacité énergétique des bâtiments énergivore déjà conçu par un système d'énergie passive ;
- ✓ Mettre en œuvre un processus conceptuel pour créer un bâtiment a grande efficacité énergétique sous le climat spécifique de Guelma.

V. Méthodologie de recherche

Afin de répondre à la question de recherche et atteindre les résultats escomptés dans ce travail, une démarche méthodologique est proposée, suite à la méthodologie exposée, la recherche s'articule autour :

- Positionnement théorique et méthodologique : les concepts/revue de littérature, et déterminer les indicateurs à étudier.
- Cadrer les éléments de contextualisation : présentation de projet, analyse des exemples, programme et analyse de site.
- Définir les éléments de projection : par un processus conceptuel d'abord des recommandations passives pour créer le modèle efficace, et ensuite les recommandations d'intégrations des procédés actives pour créer le modèle optimisé.

VI. Structure de mémoire

Suite à la méthodologie exposée, le présent mémoire se composera en deux phases : théorique et analytique. La phase théorique sera présentée par deux chapitres. En outre, la phase analytique, présente le projet d'étude, et le site d'intervention.

- **Le chapitre I** : présente deux axes, le premier concerne un positionnement théorique sur l'efficacité énergétique, et les différentes réglementations thermiques. Le deuxième concerne une revue sur les énergies renouvelables et les systèmes hybrides pour l'efficacité énergétique des bâtiments.
- **Le chapitre II** : Traite le comportement physique qui contribue à la modélisation et la simulation thermo-énergétique des bâtiments. Nous présentons encore une revue sur les outils de simulation et leurs rôles dans l'amélioration des performances énergétiques par la conception des alternatives plus adapté au projet étudié.
- **Le chapitre III** : Explique le principe et le concept d'un projet d'Experimentarium, par une analyse des exemples pour élaborer un programme.
- **Le chapitre IV** : Présente une analyse climatique et physique de site d'intervention, afin de tirer des éléments conceptuels pour le projet.

Chapitre I : Efficiencia energética y energías renovables en el edificio : posicionamiento teórico

Introduction

La crisis energética actual ha puesto en luz la demanda de energía. La producción de energía depende principalmente de las fuentes convencionales, que son la causa fundamental de los problemas ambientales. Los edificios son el primer consumidor de energía, para mejorar el rendimiento energético del edificio, es esencial implicar todas las estrategias pasivas y activas, así como las regulaciones que controlan su eficiencia energética.

El objetivo de este capítulo es identificar los principios y las regulaciones térmicas y ambientales que concierne la eficiencia energética de los edificios. A este respecto, la eficiencia energética y el uso de las energías renovables son las principales aproximaciones de este capítulo, mediante la presentación de los sistemas energéticos híbridos, y sus efectos sobre el rendimiento energético del edificio.

I.1. Efficiencia energética y rendimiento del edificio

I.1.1. Efficiencia energética : Elementos de conceptualización

I.1.1.1. Efficiencia

Según el diccionario de la energía, la eficiencia es : “En general, la eficacia relativa de un sistema o de un dispositivo, en particular en términos de recursos totales requeridos para alcanzar el resultado deseado, una cantidad sin dimensión que caracteriza un proceso de conversión de la energía basado en la relación entre la salida de trabajo y la entrada de energía” (Cleveland & Morris, 2005).

El término « eficiencia » designa el nivel de rendimiento máximo que utiliza el menor insumo para obtener la mayor cantidad de producción. La eficacia exige reducir el número de recursos inútiles utilizados para producir un producto dado, y también el tiempo y la energía personales. La eficiencia es un concepto medible que puede ser determinado por la fórmula siguiente utilizando el cociente entre los extráctos útiles y los insumos totales.

$$\text{Efficiencia} = \text{Extráctos} \div \text{Insumos} \quad (1)$$

Aussi, L'efficacité peut être défini comme la capacité d'atteindre un objectif final avec peu ou pas de gaspillage, d'effort ou d'énergie. Être efficace signifie que peuvent atteindre des résultats en mettant les ressources existantes de la meilleure façon possible. En termes simples, quelque chose est efficace si rien n'est gaspillé et que tous les processus sont optimisés. Cela comprend l'utilisation de l'argent, du capital humain, du matériel de production et des sources d'énergie. L'efficacité peut être utilisée de diverses façons pour décrire divers processus d'optimisation. Par conséquent, l'analyse de l'efficacité peut aider à réduire les coûts et à augmenter les bénéfices nets⁴.

I.1.1.2. Efficacité énergétique

L'efficacité énergétique est définie comme le rapport entre l'énergie nécessaire pour fournir un service particulier et la quantité d'énergie primaire utilisée pour le procédé. Améliorer l'efficacité énergétique augmente la productivité des sources d'énergie de base en fournissant des services donnés avec moins de ressources énergétiques. Par exemple, le conditionnement de l'espace, l'éclairage ou l'alimentation mécanique peuvent être fournis avec moins de charbon, d'énergie solaire, d'énergie éolienne ou d'uranium dans un système plus écoénergétique (Goswami & Kreith, 2016).

Aussi, L'efficacité énergétique est l'utilisation de moins d'énergie pour effectuer la même tâche ou produire le même résultat, et elle est l'un des moyens les plus faciles et les plus rentables de lutter contre les changements climatiques, de réduire les coûts énergétiques pour les consommateurs et d'améliorer la compétitivité des entreprises américaines. L'efficacité énergétique est également un élément essentiel pour atteindre la carboneutralité par la décarbonisation.

I.1.1.3. Énergie

L'énergie est un pilier de la société. À mesure que la population mondiale augmente et que les gens aspirent à un niveau de vie plus élevé, la quantité d'énergie nécessaire pour soutenir notre société augmente sans cesse (Goswami & Kreith, 2016). D'un point de vue biophysique fondamental, l'évolution humaine préhistorique et le cours de l'histoire peuvent être considérés comme la quête de formes d'énergie plus concentrées et plus polyvalentes et leur conversion, de manière plus abordable, à moindre coût et avec une plus grande efficacité, dans la chaleur, la lumière et le mouvement (Smill, 2017).

⁴ <https://www.investopedia.com/terms/e/efficiency.asp#toc-types-of-efficiency>

L'énergie est une grandeur physique nécessaire à la réalisation d'un travail (mécanique, chimique, ...) matérialisée sous différentes formes d'énergie : calorifique ou thermique (chaleur), électrique (électricité), mécanique, chimique. Son origine peut être fossile (charbon, pétrole, gaz, uranium), renouvelable (vent, soleil, bois, eau chaude, biomasse, hydraulique, marées) (Melquiot, 2003).

Ainsi, l'énergie est la seule monnaie universelle : l'une de ses nombreuses formes doit être transformée pour que tout soit fait. Les manifestations universelles de ces transformations vont des énormes rotations des galaxies aux réactions thermonucléaires dans les étoiles. Sur Terre, ils vont des forces de la tectonique des plaques formant des terres qui séparent les fonds marins et élèvent de nouvelles chaînes de montagnes aux impacts cumulatifs érosifs des gouttes de pluie minuscules. La vie sur Terre malgré des décennies de tentatives pour attraper un signal extraterrestre significatif, encore la seule vie dans l'univers que nous connaissons serait impossible sans la conversion photosynthétique de l'énergie solaire en phytomasse (biomasse végétale). Les humains dépendent de cette transformation pour leur survie, et de beaucoup d'autres flux d'énergie pour leur existence civilisée (Smill, 2017).

I.1.2. La crise énergétique dans le monde : État des lieux

La crise énergétique mondiale d'aujourd'hui est beaucoup plus vaste et complexe que celles d'avant. Les chocs des années 70 concernaient le pétrole, et la tâche des responsables politiques était relativement claire (si elle n'était pas nécessairement simple à mettre en œuvre) : réduire la dépendance vis-à-vis du pétrole, en particulier des importations de pétrole. En revanche, la crise énergétique présente aujourd'hui de multiples dimensions : gaz naturel, mais aussi pétrole, charbon, électricité, sécurité alimentaire et climat. Par conséquent, les solutions sont toutes de la même façon. En fin de compte, ce qu'il faut, ce n'est pas simplement diversifier les sources d'énergie, mais changer la nature du système énergétique lui-même, et ce, tout en maintenant la fourniture abordable et sûre de services énergétiques (International Energy Agency, 2022).

I.1.2.1. La situation énergétique post pandémie : vers une stratégie de résilience énergétique

Le coronavirus (COVID-19) a créé la plus grande crise mondiale depuis des générations, envoyant des ondes de choc dans les systèmes de santé, les économies et les sociétés du monde entier. Face à une situation sans précédent, les gouvernements s'efforcent de maîtriser la maladie et de relancer leur économie. Le secteur de l'énergie a été durement touché par les

confinements répétés en 2020, le ralentissement des transports, du commerce et de l'activité économique à l'échelle mondiale ayant fait baisser la consommation d'énergie de 4 %. Mais même si les vagues de la pandémie ont continué de déferler dans le monde en 2020, les mesures de relance et le déploiement des vaccins ont permis à une grande partie de l'activité économique de revenir, et la demande mondiale d'énergie a rebondi de 4,6 % en 2021, dépassant les niveaux d'avant la pandémie.

Les répercussions de la pandémie sur les systèmes énergétiques et les transitions en matière d'énergie propre évoluent toujours, mais trois domaines en particulier ressortent :

- La sécurité énergétique demeure une pierre angulaire de nos économies, surtout en période de turbulences.
- Les systèmes énergétiques résilients sont plus que jamais indispensables aux sociétés modernes.
- Les transitions en matière d'énergie propre doivent être au cœur de la reprise économique et des plans de relance, et les énergies renouvelables ont été un élément positif majeur, les installations éoliennes et solaires continuant de prendre de l'expansion même pendant la pandémie⁵.

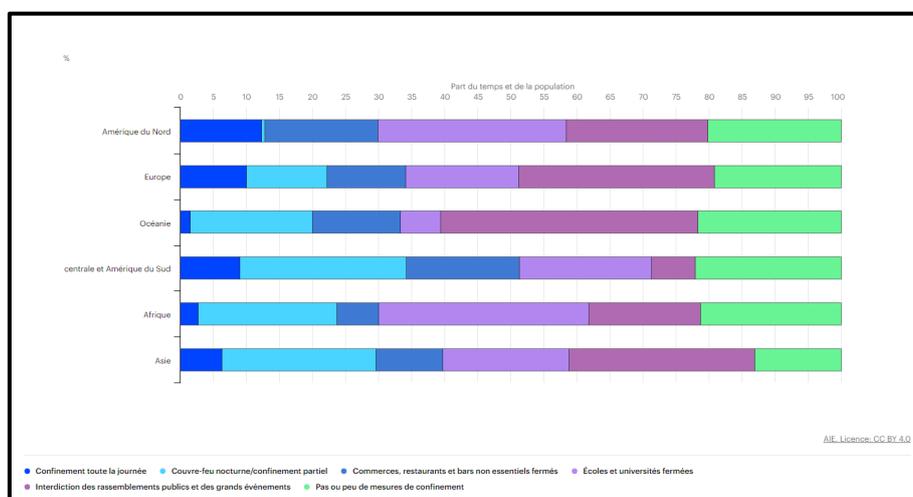


Figure 1: Population touchée par les mesures Covid-19 au premier semestre 2020 (Source : www.iea.org)

I.1.2.2. La situation énergétique dans le sillage de l'invasion russe de l'Ukraine

Le monde est au beau milieu d'une crise énergétique mondiale d'une profondeur et d'une complexité sans précédent. L'Europe est au centre de cette crise, mais elle a des implications majeures pour les marchés, les politiques et les économies du monde entier.

⁵ <https://www.iea.org/topics/covid-19>

L'invasion de l'Ukraine par la Russie ont transformé une reprise économique rapide après la pandémie, qui a mis à rude épreuve toutes sortes de chaînes d'approvisionnement mondiales, y compris l'énergie, en une véritable tourmente énergétique. La Russie est de loin le plus grand exportateur mondial de combustibles fossiles, mais ses restrictions à l'approvisionnement en gaz naturel de l'Europe et les sanctions européennes sur les importations de pétrole et de charbon en provenance de la Russie coupent l'une des principales artères du commerce mondial de l'énergie.

La Russie a réduit ses gazoducs vers l'Union européenne d'environ 80% depuis l'invasion, 75 millions de personnes qui ont récemment eu accès à l'électricité risquent de perdre la capacité de payer, ce qui signifie que, pour la première fois le nombre total de personnes dans le monde qui n'ont pas accès à l'électricité a commencé à augmenter (International Energy Agency, 2022).

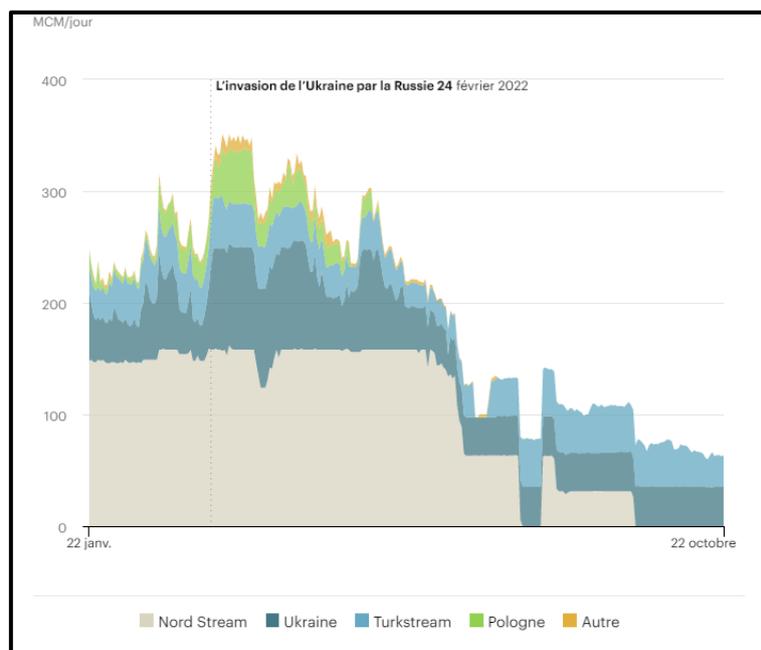


Figure 2: Gazoduc de Russie vers l'union européenne et Türkiye (Source : www.iea.org)

I.1.3. Avantages de l'efficience énergétique

L'efficience énergétique permet d'économiser de l'argent, accroît la résilience et la fiabilité du réseau électrique et procure des avantages pour l'environnement, la collectivité et la santé par :

I.1.3.1. Avantages économiques

Peuvent économiser sur les factures d'énergie en améliorant l'efficacité énergétique. Les bâtiments écoénergétiques coûtent moins cher à chauffer, à refroidir et à exploiter, tandis que l'industrie et les usines de fabrication peuvent fabriquer des produits à moindre coût.

I.1.3.2. Avantages environnementaux

La réduction de la consommation d'énergie est essentielle dans la lutte contre le changement climatique, car les centrales électriques traditionnelles consomment des combustibles fossiles qui dégagent des GES et contribuent à la pollution atmosphérique. Les maisons et les bâtiments écoénergétiques sont également mieux équipés pour passer à l'énergie renouvelable, qui ne produit pas d'émissions nocives.

I.1.3.3. Avantages sociaux

Les programmes d'efficacité énergétique améliorent la résilience des collectivités et visent l'équité énergétique en apportant des technologies et des infrastructures efficaces et rentables aux collectivités.

I.1.3.4. Résilience et fiabilité

Les améliorations de l'efficacité énergétique réduisent la quantité d'électricité sur le réseau à la fois, ce qu'on appelle la charge, ce qui réduit la congestion et le stress. Moins de charge empêche les interruptions de courant.

I.1.3.5. Avantages de santé

De l'air, de l'eau et des terres propres, qui ont tous une incidence directe sur la santé humaine, surtout dans les communautés marginalisées et chez les personnes dont les conditions sont exacerbées par la pollution⁶.

I.1.4. L'efficacité énergétique des bâtiments

I.1.4.1. Définition de l'efficacité énergétique des bâtiments

L'efficacité énergétique est l'utilisation de moins d'énergie dans un bâtiment pour effectuer la même opération que les bâtiments qui consomment de l'énergie de façon inefficace. Il devrait être pris en considération à l'étape de la conception, du choix des matériaux de construction, du processus de construction et de l'exploitation du bâtiment. L'adoption de stratégies de conception de bâtiments solaires passives à l'étape de la conception est la première étape vers une structure écoénergétique. Les matériaux de construction à faible consommation d'énergie

⁶ <https://www.energy.gov/eere/energy-efficiency>

et les équipements de construction moins énergivores doivent être utilisés pendant le processus de construction. En ce qui concerne l'exploitation des bâtiments, les services publics pour les systèmes d'énergie renouvelable doivent être intégrés dans le bâtiment pour le chauffage de l'eau, l'électrification photovoltaïque, etc...⁷.

I.1.4.2. La consommation énergétique des bâtiments

En 2021, Les secteurs du bâtiment et de la construction sont responsables de 30 % de la consommation finale d'énergie mondiale, y compris la consommation finale d'énergie associée à la production de ciment, d'acier et d'aluminium, la part augmente à 34%. Et de 27 % des émissions totales du secteur de l'énergie, (8 % étant des émissions directes dans les bâtiments et 19 % des émissions indirectes provenant de la production d'électricité et de chaleur utilisées dans les bâtiments). À la suite de l'assouplissement des restrictions liées à la COVID-19, en 2021, la demande d'énergie dans les immeubles a augmenté de près de 4 % par rapport à 2020 (ou de 3 % par rapport à 2019), la plus forte augmentation annuelle au cours de la dernière décennie⁸.

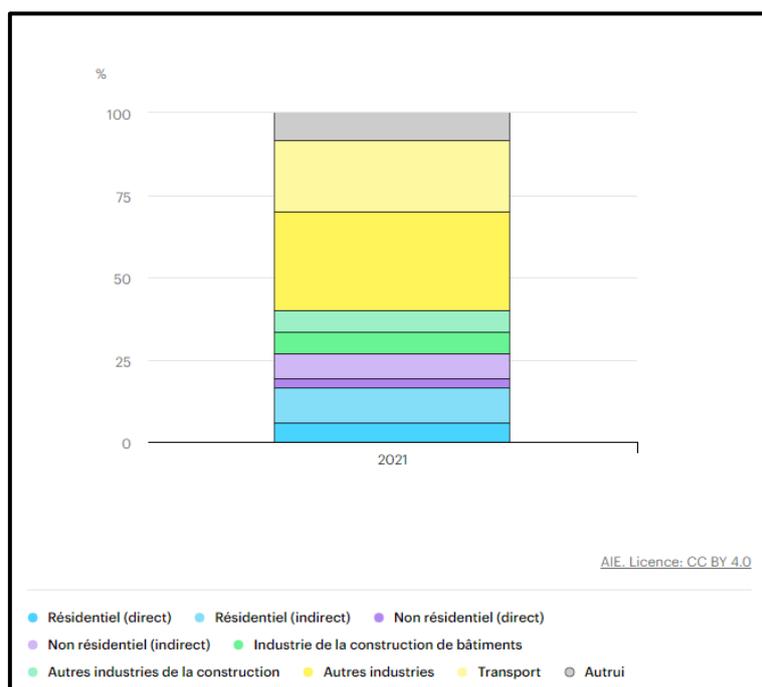


Figure 3: *Consommation finale d'énergie dans le secteur des bâtiments en 2021 (Source : www.org.com)*

⁷ <https://theconstructor.org/building/energy-efficiency-building/562100/>

⁸ <https://www.iea.org/reports/buildings>

I.1.5. La Réglementation Thermique en matière de performance énergétique

Afin de résoudre les défis liés aux enjeux énergétiques, économiques et environnementaux (Les principes du développement durable) au sein du secteur du bâtiment, de nombreux textes législatifs et réglementaires sont mis à la disposition des acteurs du bâtiment dans tous les pays du monde, pour veiller à l'équilibre entre les trois paramètres "3E" : Economie / Energie / Environnement de toute conception de projet de bâtiment.

La Réglementation Thermique du bâtiment est pour objectif de :

- Fixer les exigences en matière de performance énergétique de l'enveloppe : niveau d'isolation thermique, optimisation du taux de vitrage par orientation, protection solaire des fenêtres, etc.
- Inciter à couvrir une partie des besoins énergétiques par une production d'énergie à l'aide des techniques solaires thermiques et photovoltaïques.
- Exiger des systèmes de climatisation et de chauffage, d'éclairage et d'ECS, à efficacité énergétique, les systèmes HVAC.
- Limiter au maximum les consommations énergétiques en kwh/m².an (Dakhia, 2019).

I.1.6. La réglementation environnementale européenne RE2020

La nouvelle réglementation environnementale RE2020 s'inscrit dans l'objectif d'atteindre la neutralité carbone pour 2050. Elle a été préparée et élaborée à partir des résultats de l'expérimentation E+C-. En 2020, la réglementation thermique RT2012 passe à une

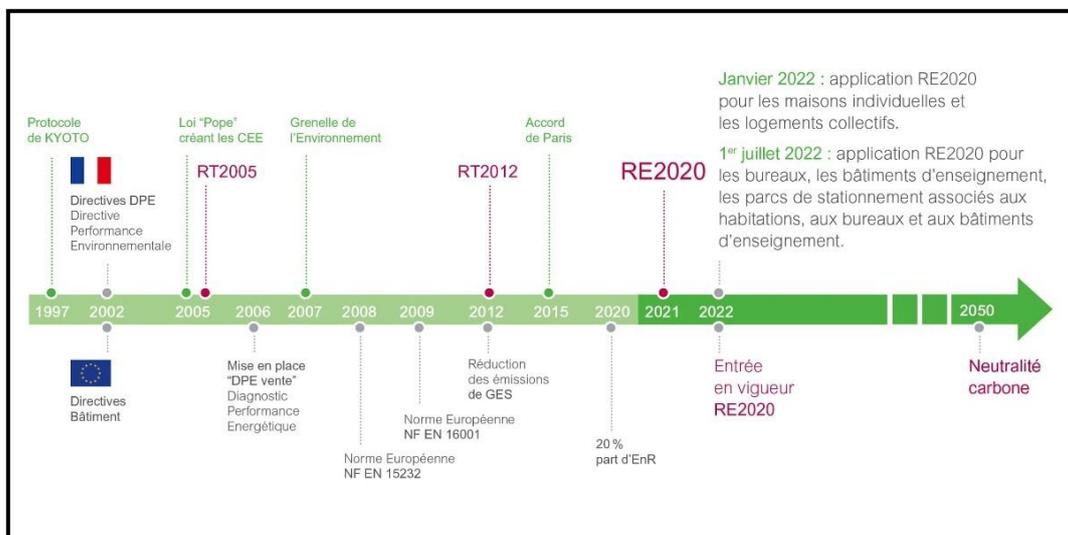


Figure 4: L'évolution des réglementations thermiques vers la réglementation environnementale 2020 (Source : www.se.com)

réglementation environnementale la RE2020, et elle a entrée en vigueur le 1er janvier 2022. Elle impacte fortement le secteur des bâtiments et de l'électricité⁹.

La RE2020 est fixé : toute nouvelle construction devra produire davantage d'énergie qu'il n'en consomme. Cet objectif repose sur le principe des bâtiments à énergie positive (BEPOS), qui produit plus d'énergie qu'il en consomme et des bâtiments passives, qui dépense très peu d'énergie et recycle celle qu'elle produit¹⁰, la RE2020 vise une dépense énergétique des nouveaux bâtiments de 0 kWh par m² et par année.

Cette réglementation, a pour objectif de construire des bâtiments plus "propres", bas-carbone et qui consomment moins. Elle poursuit 3 volets principaux :

- La performance énergétique des bâtiments,
- La performance environnementale des bâtiments,
- Le confort de ses occupants durant l'été¹¹.

I.1.6.1. Le volet de la performance énergétique des bâtiments de la RE2020

La RE2020 elle poursuit les objectifs visant l'amélioration de la performance énergétique et la baisse des consommations des bâtiments neufs, engagés par les précédentes réglementations thermiques. La RE2020 elle exige des évolutions qui renforcent le principe d'efficacité énergétique et de recours aux énergies renouvelables. Elle intègre le retour d'expérience de huit d'années d'application de la RT2012 pour ce qui l'indicateur sur les besoins énergétiques (Bbio), et l'indicateur sur les consommations énergétiques (Cep) comptabilisera toujours la quantité d'énergie nécessaire pour couvrir les besoins restant du bâtiment. L'objectif de réduction de la consommation se traduit également par l'amélioration de l'efficacité énergétique des équipements. Le Bbio et le Cep de la RE2020 sont non comparables avec Bbio et Cep de la RT2012. La méthode de calcul et la surface de référence ont changé.

Enfin, la RE2020 privilégie réellement les énergies renouvelables : un nouvel indicateur, le Cep,nr (consommation en énergie primaire non renouvelable). Cette nouveauté incite les concepteurs à progressivement remplacer les énergies fossiles et nucléaires par des énergies renouvelables¹².

⁹ <https://www.ecologie.gouv.fr/reglementation-environnementale-re2020>

¹⁰ <https://www.les-energies-renouvelables.eu/conseils/reglementation-thermique-2012/lobjectif-de-la-reglementation-thermique-2020/>

¹¹ <https://www.legrand.fr/questions-frequentes/quest-ce-que-la-reglementation-environnementale-2020-ou-re2020#:~:text=La%20RE2020%2C%20ou%20r%C3%A9glementation%20environnementale%202020%2C%20remplace%20la,b%C3%A2timents%20plus%20%22propres%22%2C%20bas-carbon>

¹² <https://www.cerema.fr/fr/actualites/reglementation-environnementale-2020-quelles-evolutions-0?folder=8182>

Les principales évolutions au niveau des exigences concernent :

- L'évolution du coefficient du Besoin Bioclimatique (Bbio)
- L'évolution du Coefficient d'Énergie Primaire (Cep)
- L'introduction du Coefficient d'Énergie Primaire non renouvelable (Cep,nr).

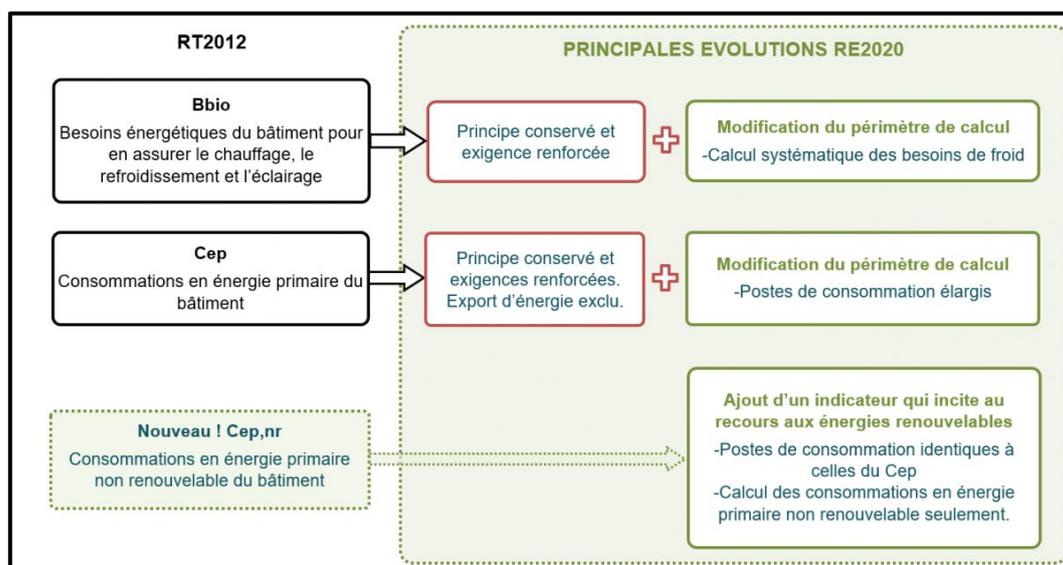


Figure 5: Principales évolutions de la RE2020 sur le volet performance énergétique
(Source : www.cerema.fr)

I.1.6.1.1. Le coefficient Bbio (Besoin Bioclimatique)

S'approche de celui de la RT2012. Ce coefficient valorise l'efficacité énergétique du bâti indépendamment des systèmes énergétiques, a pour objectif d'inciter à une conception bioclimatique (orientation, compacité, protections solaires, inertie) et bien maîtriser les apports solaires (énergie et lumière) en toutes saisons¹³.

$$Bbio \text{ (sans unité)} = 2 \times (\text{Besoin chauffage} + \text{Besoin refroidissement}) + 5 \times \text{Besoin éclairage} \text{ (2)}$$

I.1.6.1.2. Le Coefficient d'Énergie Primaire (Cep)

Le Cep (consommation d'énergie primaire renouvelable et non renouvelable importée en KWhEP/(m².an)), ce coefficient caractérise la consommation d'énergie globale du bâtiment, et peut être réduit en améliorant la performance du bâti (réduction des déperditions donc de la consommation), et en améliorant la performance des équipements (ou systèmes) énergétiques.

¹³ <https://www.e-re2020.fr/explications/energie/bbio/>

Seules les énergies importées (renouvelables ou non) sont comptabilisées dans le calcul. Les exports d'énergie sont désormais exclus¹⁴.

I.1.6.1.3. Coefficient d'Énergie Primaire non renouvelable (Cep,nr)

Le Cep,nr (consommation d'énergie primaire non renouvelable importée par le bâtiment en KWhEP/(m².an)) est un nouveau coefficient réglementaire. Il est calculé selon la même méthode que l'indicateur Cep mais ne prend en compte que les consommations d'énergie primaire non renouvelables et vise à limiter en priorité ces consommations non renouvelables.

Cet indicateur incite donc au recours aux énergies renouvelables (bois, solaire thermique, solaire photovoltaïque, etc.). L'objectif est d'arriver progressivement à l'abandon des énergies fossiles¹⁵.

I.1.6.2. Labellisation et certification énergétique

Le secteur du bâtiment joue un rôle de premier plan en ce qui a trait au développement durable. Pour y parvenir, les acteurs de ce secteur s'en remettent aux systèmes d'évaluation de la performance énergétique environnementale des bâtiments par le biais des : labels, certifications, et normes (Benoudjafer, 2018), Ils ont vocation à certifier une qualité de bâtiment supérieure aux normes réglementaires.

I.1.6.2.1. La labellisation énergétique des bâtiments

Le label énergie est une certification qui garantit qu'une construction immobilière comporte certaines qualités énergétiques. Il peut par exemple s'agir d'une haute performance énergétique, ou encore d'une faible consommation électrique¹⁶.

A. Label BEPOS

Le label BEPOS 2020 est une certification visant à offrir la possibilité au secteur du bâtiment de se préparer à la construction de bâtiments à énergie positive, qui produisent plus d'énergie qu'ils n'en besoin pour leur fonctionnement. Les bâtiments à énergie positive doivent mettre en avant la production d'énergie renouvelable, la sobriété énergétique ainsi que les équipements performants. Bien entendu, les nouveaux bâtiments devront être dotés d'énergies

¹⁴ <https://www.e-re2020.fr/explications/energie/cep/>

¹⁵ <https://www.e-re2020.fr/explications/energie/cep/>

¹⁶ <https://www.lelynx.fr>

renouvelables pour parvenir à ce but. Le BEPOS, qui vise pour les bâtiments un bilan énergétique positif. L'idée est en effet de faire en sorte que les bâtiments neufs produisent plus d'énergie qu'ils n'en consomment. Et dans ce cas, il faudra mettre en place les moyens pratiques dédiés à la production d'une telle énergie. En la matière, on note les énergies renouvelables : solaire, la géothermie, l'énergie éolienne et hydraulique¹⁷.

Pour certifier qu'un bâtiment est bien un BEPOS, il existe deux labels principaux en la matière :

- Le label E+C- créé pour amorcer la généralisation des BEPOS. Il prend en compte le bilan BEPOS (différence entre production et consommation d'énergie) et l'Eges (quantité d'émissions de gaz à effet de serre) ;
- Le label Effinergie, il reprend les critères du label E+C- ainsi que son propre référentiel¹⁸.

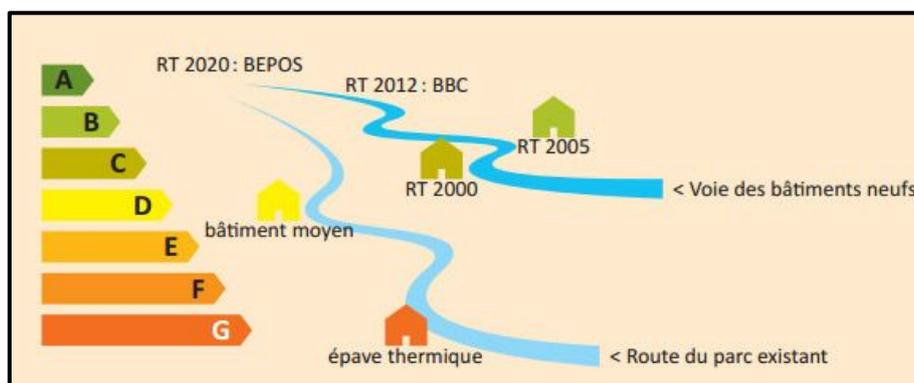


Figure 6: *Évolution de la performance énergétique des bâtiments (Source : www.rt-2020.com)*

B. Label E+C-

Avec le label E+C- « Bâtiments à Énergie Positive et Réduction Carbone », il ne s'agit plus uniquement de performance énergétique puisqu'il concerne également la « performance environnementale » des bâtiments. Ce label d'État repose sur une nouvelle méthode de calcul et de nouveaux indicateurs pour évaluer la performance énergétique et environnementale des bâtiments, dans le cadre d'une construction neuve, selon les critères « Bilan Bepos » et « Carbone »¹⁹.

¹⁷ <https://www.megastructures.fr/bepos-2020/#:~:text=En%20d%C3%A9finitive%2C%20le%20label%20BEPOS%202020%20est%20une,a%20rendu%20obligatoire%20la%20construction%20de%20tels%20logements.>

¹⁸ <https://batiadvisor.fr/bepos/>

¹⁹ <https://www.qualitel.org/professionnels/certifications/label-e-c/>

- **L'indicateur Bilan Bepos**

L'indicateur « Bilan Bepos » (Bilan énergétique du bâtiment à énergie positive) mesure la capacité du bâtiment à consommer l'énergie qu'il produit. Il correspond à la consommation d'énergie primaire non renouvelable du bâtiment diminué de la quantité d'énergie renouvelable ou de récupération produite et injectée dans le réseau par la construction.

Afin de tenir compte de la spécificité des différentes typologies de bâtiment, des usages et des facteurs géographiques, quatre niveaux sont prévus : Énergie 1 à 4, d'un niveau de base accessible jusqu'à un bâtiment avec un bilan énergétique nul dans le cas d'un BEPOS, le bilan énergétique est inférieur à 0 kWh/m² par an (Énergie niveau 4), (cela signifie que les énergies produites par le bâtiment sont égales à ses consommations)²⁰.

L'évaluation de la performance d'un bâtiment relative au bilan énergétique est faite par comparaison avec un niveau de bilan énergétique maximal, Bilan BEPOS_{max}.

$$\text{Bilan BEPOS} \leq \text{Bilan BEPOS}_{\text{Max}} \quad (3)$$

L'échelle des niveaux de performance énergétique du bâtiment à énergie positive comporte quatre niveaux de performance. Les niveaux « Énergie 1 », « Énergie 2 » et « Énergie 3 » permettent d'afficher une progressivité dans l'amélioration de l'efficacité énergétique et du recours à la chaleur et à l'électricité renouvelable pour le bâtiment :

- Les premiers niveaux, « Énergie 1 », « Énergie 2 » constituent une mise en œuvre doit conduire à une amélioration des performances du bâtiment à coût maîtrisé, soit par des mesures d'efficience énergétique, soit par le recours, pour les besoins du bâtiment, à des énergies renouvelables (notamment la chaleur renouvelable).
- Le niveau « Énergie 3 » constitue un effort supplémentaire par rapport aux précédents niveaux. Son atteinte nécessite un effort en termes d'efficience énergétique du bâti et des systèmes et un recours significatif aux énergies renouvelables, qu'il s'agisse de chaleur ou d'électricité renouvelable.
- Enfin, le dernier niveau « Énergie 4 » correspond à un bâtiment avec bilan énergétique nul (ou négatif) sur tous les usages et qui contribue à la production d'énergie renouvelable²¹.

²⁰ <https://www.qualitel.org/professionnels/certifications/label-e-c/>

²¹ <http://www.batiment-energiecarbone.fr/niveaux-de-performance-a88.html>

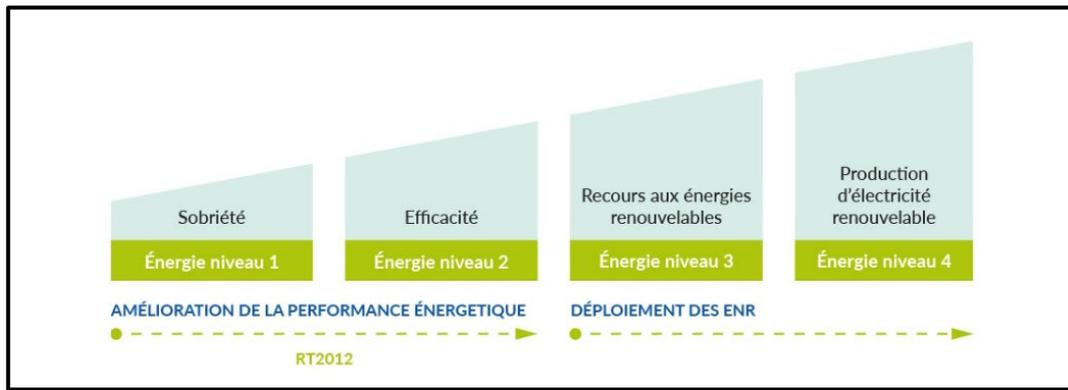


Figure 7: L'échelle des niveaux de performance énergétique du bâtiment à énergie positive (Source : www.poujoulat.fr)

C. Label Effinergie RE2020

Effinergie est un label de qualité certifiant des bâtiments neufs ayant une très faible consommation d'énergie (label BBC arrêté du 8 mai 2007) et offrant un confort supérieur à la moyenne. Les constructions neuves labellisées Effinergie consomment 4 à 5 fois moins d'énergie que la plupart des bâtiments existants et moitié moins que les constructions neuves réalisées selon la réglementation actuelle²².

Effinergie redéfinit le bâtiment à énergie positive BEPOS tout en renforçant des exigences sur plusieurs indicateurs de la RE2020²³.

I.1.6.2.2. L'audit énergétique

L'audit énergétique est une procédure permettant d'émettre un avis relatif à la qualité énergétique et l'analyse des performances énergétiques d'un bâtiment. Il permet de faciliter de réaliser les bons travaux pour rendre un bâtiment moins énergivore. Il doit permettre, à partir d'une analyse détaillée des données du bâtiment, d'établir une proposition chiffrée et argumentée de programmes d'économie d'énergie. Et il est destinée à :

- Connaître les points faibles et de déperditions thermiques du bâtiment.
- Proposer des solutions pour améliorer l'efficacité énergétique.

I.1.6.2.3. Le bilan énergétique

Le bilan énergétique détermine précisément la quantité totale d'énergie requise et consommée pour chaque bâtiment. Il est calculé pour :

²² <https://www.effinergie.org/web/61-ffinergie-c-est-quoi/1781-qu-est-ce-que-le-label-ffinergie#:~:text=ffinergie%C2%AE%20est%20un%20label%20de%20qualit%C3%A9%20certifiant%20des,et%20offrant%20un%20confort%20sup%C3%A9rieur%20%C3%A0%20la%20moyenne.>

²³ <https://www.effinergie.org/web/les-labels-ffinergie/ffinergie-re20202>

A. L'Hiver

Le bilan énergétique est calculé à partir de l'équation :

$$Q_{aux} = Q_{le} + Q_{lv} + Q_{gs} - Q_{gi} \quad (4)$$

B. L'été

Le bilan énergétique d'été est calculé à partir de l'équation :

$$Q_{aux} = Q_{le} + Q_{lv} + Q_{gs} + Q_{gi} \quad (5)$$

Avec : Q_{aux} : le bilan d'énergie.

Q_{le} : pertes par conduction de l'enveloppe.

Q_{lv} : pertes par renouvellement d'air.

Q_{gs} : gains solaires.

Q_{gi} : gains internes (Dakhia, 2019).

I.1.6.2.4. Diagnostic de performance énergétique DPE

Le diagnostic de performance énergétique (DPE) renseigne sur la performance énergétique et climatique d'un bâtiment (étiquettes A à G). Il s'inscrit dans le cadre de la politique énergétique définie au niveau européen. Un DPE valable de 10 ans, afin de réduire la consommation d'énergie des bâtiments et de limiter les émissions de gaz à effet de serre et sert notamment à identifier les passoires énergétiques²⁴.

Un bon diagnostic DPE de bâtiment doit suivre les sept 07 instructions suivantes :

1. Identifier le mode constructif du bâtiment (selon son époque de construction).
2. Connaître son fonctionnement thermique (avec ses dispositions actives et passives).
3. Avoir une approche bioclimatique du bâtiment (pour interpréter les consommations).
4. Étudier conjointement son comportement thermique d'hiver et son confort thermique d'été.
5. Considérer que les dispositions les plus économes en énergie sont passives.
6. Éviter les ponts thermiques dans les constructions (surtout les bâtiments anciens).
7. Ne préconiser que des améliorations qui ne risquent pas de provoquer de désordres (Dakhia, 2019).

²⁴ <https://www.ecologie.gouv.fr/diagnostic-performance-energetique-dpe>

Le nouveau DPE comporte une nouvelle étiquette « énergie » intégrant directement deux volets : la consommation énergétique et les émissions de gaz à effet de serre exprimées respectivement en kilowattheure d'énergie primaire et kilogramme équivalent de dioxyde de carbone (CO₂). Ces étiquettes énergie se résument à :

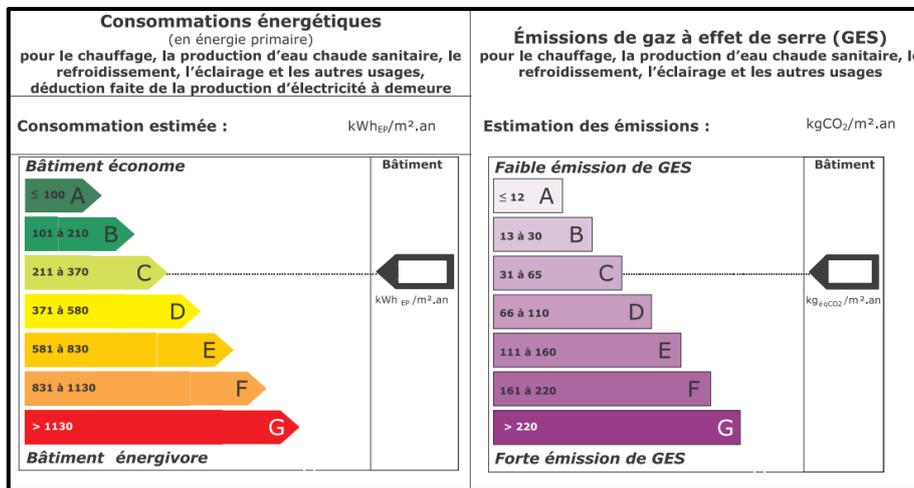


Figure 8: *Diagnostic de performance énergétique*
(Source : www.ecologie.gouv.fr)

A. Etiquette Energie

C'est la classification du bâtiment selon la consommation annuelle par m² (en kWh énergie primaire/m².an), sept classes sont définies de A à G.

Tableau 1: *Étiquetage énergétique européen de la consommation annuelle d'énergie*

Classe énergétique	Consommation annuelle d'énergie
A	≤100 kwh/m ² .an
B	101 à 210 kwh/m ² .an
C	211 à 370 kwh/m ² .an
D	371 à 580 kwh/m ² .an
E	581 à 830 kwh/m ² .an
F	831 à 1130 kwh/m ² .an
G	> 1130 kwh/m ² .an

B. Etiquette climat

C'est la classification d'un bâtiment selon le niveau d'émission annuelle de GES par m² lié à la consommation (en kgCO₂/m².an), allant de la classe A à la classe G.

Tableau 2: *Étiquetage climatique européen des émissions de GES*

Classe climatique	Emissions de GES
A	≤12 kwh/m ² .an
B	13 à 30 kwh/m ² .an
C	31 à 65 kwh/m ² .an
D	66 à 110 kwh/m ² .an
E	111 à 160 kwh/m ² .an
F	161 à 220 kwh/m ² .an
G	> 220 kwh/m ² .an

I.1.7. La Réglementation Algérienne en matière de performance énergétique

I.1.7.1. Politique Algérienne pour la transition énergétique

L'Algérie est confrontée aujourd'hui à l'augmentation de la consommation interne d'énergie. De 2004 à 2014, la consommation d'énergie a doublé, passant de 31.2 MTEp à 52 MTEp. La même tendance haussière est observée pour la production d'énergie électrique qui a augmenté pour la même période avec un taux de croissance de 7 % par an. Les prévisions d'ici 2030 montrent que la production d'énergie primaire couvrira à peine les besoins du marché intérieur. Prenant conscience de cette problématique, l'Algérie a lancé un processus de transition énergétique qui lui permettra de protéger son économie et d'assurer sa sécurité énergétique à long terme. Cette transition est mise en place à travers deux programmes considérés comme priorité nationale. Le premier concerne l'application de mesures d'efficienc e énergétique, tandis que le second concerne le développement des énergies renouvelables. (Imessad K. , et al., 2017).

I.1.7.1.1. Les perspectives de maîtrise de l'énergie

En raison d'une forte urbanisation et de la croissance du parc immobilier algérien, la consommation d'énergie dans ce secteur a considérablement augmenté. Près de 30 % de la consommation totale d'énergie du pays est alloué au secteur résidentiel et 70 % de la consommation d'énergie de ce secteur est affectée au chauffage et au refroidissement (Imessad K. , et al., 2017). À cet effet, l'Agence Nationale pour la Promotion et la Rationalisation de l'Utilisation de l'Energie (APRUE), qui est un établissement public à caractère industriel et

commercial a été créé par décret présidentiel en 1985, placé sous la tutelle du Ministère de la Transition Energétique et des Energies Renouvelables (MTEER). Elle a pour mission principale la mise en œuvre de la politique nationale de maîtrise de l'énergie, et ce à travers la promotion de l'efficacité énergétique. Les principales missions de l'APRUE sont :

- Promouvoir les économies d'énergie dans l'ensemble des secteurs d'activités ;
- Mobiliser les différents acteurs autour des enjeux et des défis liés à l'efficacité énergétique ;
- Favoriser le partenariat dans le montage des projets d'Efficacité Energétique, Et donner la visibilité aux investisseurs potentiels ;
- Contribuer à l'émergence d'un développement durable de l'efficacité énergétique ;
- Améliorer et renforcer les capacités des intervenants dans le domaine²⁵.

La politique énergétique de l'Algérie est encadrée par un recueil de textes législatifs il s'agit de :

1. Loi n°99-09 du 28 juillet 1999, relative à la maîtrise de l'énergie, La présente loi a pour objet de définir les conditions, les moyens d'encadrement et la mise en œuvre de la politique nationale de maîtrise de l'énergie. La maîtrise de l'énergie vise à :
 - Orienter la demande d'énergie vers une plus grande efficacité du système de consommation, à travers un modèle de consommation énergétique nationale, dans le cadre de la politique énergétique nationale.
 - Permet d'assurer et d'encourager le progrès technologique, l'amélioration de l'efficacité économique et de contribuer au développement durable (APRUE, 2019).
2. Loi n°04-09 du 14 août 2004, relative à la promotion des Energies Renouvelables dans le cadre du développement durable. La promotion des énergies renouvelables a pour objectif :
 - De protéger l'environnement, en favorisant le recours à des sources d'énergie non polluantes ;

²⁵ <https://www.aprue.org.dz/index.php/fr/presentation/creation>

- De contribuer à la lutte contre le réchauffement climatique en limitant les émissions de gaz à effet de serre ;
 - De participer à un développement durable par la préservation et la conservation des énergies fossiles ;
 - De contribuer à la politique nationale d'aménagement du territoire par la valorisation des gisements d'énergies renouvelables, en généralisant leurs utilisations (CDER, 2005).
3. Décret exécutif 04-149 du 19 Mai 2004, le présent décret a pour objet de fixer le cadre institutionnel de concertation et les modalités d'élaboration et de mise en œuvre du programme national de maîtrise de l'énergie (PNME). Il comprend :
- Le cadre et les perspectives de la maîtrise de l'énergie ;
 - L'évaluation des potentiels et la définition des objectifs de la maîtrise de l'énergie ;
 - Les moyens d'actions existants et à mettre en œuvre pour atteindre les objectifs de long terme ;
 - Un programme d'actions quinquennal. (APRUE, 2019)
4. Arrêté interministériel du 29 novembre 2008 définissant la classification d'efficacité énergétique des appareils à usage domestique soumis aux règles spécifiques d'efficacité énergétique et fonctionnant à l'énergie électrique.

A. La Réglementation Thermique Algérienne du bâtiment RT2016

Le gouvernement algérien mène une politique d'amélioration de la gestion des ressources énergétiques. Cette politique se décline à travers la loi N°99-09 du 28 juillet 1999 relative à la maîtrise de l'énergie et de ses textes d'application, en autres le décret exécutif N°2000- 90 du 24 avril 2000 portant réglementation thermique dans les bâtiments neufs, et enfin l'Arrêté du 30 juillet 2016 portant approbation du document technique réglementaire DTR.C3.2/4 intitulé « réglementation thermique du bâtiment », qui est actuellement en vigueur, la vérification de la conformité d'un bâtiment vis-à-vis de cette réglementation doit se faire pour la période d'hiver et pour la période d'été séparément (*Annexe 1*) (Imessad K. , et al., 2017).

I.1.7.1.2. Programme d'appuis à la transition énergétique : "TAKA NADIFA"

A. Aperçu sur le programme "TAKA NADIFA"

"TAKA NADIFA" est un programme cofinancé par l'Algérie et l'Union européenne, Le Programme d'appui au secteur des énergies renouvelables (EnR), principalement électriques, et de l'efficacité énergétique (EE) en Algérie, "TAKA NADIFA" a s'inscrit dans le cadre du partenariat stratégique sur l'énergie que l'Union européenne et l'Algérie ont entrepris depuis 2015. C'est un secteur qui occupe une place très importante dans les relations entre l'UE et l'Algérie, en effet, l'Algérie est le troisième fournisseur de gaz naturel de l'UE. Le programme a pour but de soutenir la réalisation de deux programmes du Gouvernement algérien, à savoir :

a. Programme national des énergies renouvelables 2015-2030 (PNDR) :

Il vise le développement des énergies renouvelables d'ici à 2030 pour la production électricité nationale. Il est basé sur 3 volets :

1. Réalisation de la capacité prévue ;
2. Création d'une filière industrielle associée à la réalisation du programme ;
3. Mise en place de mécanismes de soutien pour la promotion du programme et l'implication des organismes de recherche et développement (R&D).

b. Programme national d'efficacité énergétique 2015-2030 (PNEE) :

Il vise à favoriser un marché durable de l'efficacité énergétique avec l'objectif d'économiser une quantité importante de tonnes équivalent pétrole (TEP) d'ici à 2030 soit une bonne part de la consommation totale actuelle d'énergie.

Le programme "TAKA NADIFA" contribue activement aux efforts nationaux entrepris pour contribuer à la poursuite des objectifs de développement durable (ODD) de l'agenda 2030 des Nations Unies du développement durable, en premier lieu l'ODD n°7 (Garantir l'accès de tous à des services énergétiques fiables, durables et modernes, à un coût abordable) ainsi que les ODD n°9 (Bâtir une infrastructure résiliente, promouvoir une industrialisation durable qui profite à tous) et n°13 (Prendre d'urgence des mesures pour lutter contre les changements climatiques et leurs répercussions)²⁶.

La mise en œuvre du programme "TAKA NADIFA" est assurée par des équipes d'experts nationaux et européens, dont le travail est encadré par une Direction Nationale du Programme.

²⁶ <http://paeree.dz/>

Une Unité Nationale d'Appui au Programme apporte un appui technique à la Direction Nationale du Programme. Les experts mis à disposition par la partie européenne intègrent le dispositif d'Assistance Technique du programme confiée à IBF International Consulting en consortium avec ENEA, AllPlan et CRES²⁷.

B. La démarche du programme “TAKA NADIFA”

“TAKA NADIFA” apporte un appui au secteur des énergies renouvelables principalement électriques et de l'efficacité énergétique en Algérie à travers :

- Le soutien aux autorités nationales dans la révision et l'élaboration des dispositifs institutionnels, politiques et réglementaires favorables à la mise en œuvre des politiques énergétiques durables à travers le déploiement des énergies renouvelables et de l'efficacité énergétique ;
- La contribution à la facilitation des investissements privés (locaux et étrangers) à moyen et à long terme dans des projets d'énergie renouvelable et d'efficacité énergétique ;
- Le renforcement des capacités techniques et de gestion des institutions dans ces domaines²⁸.

C. Axes d'intervention et groupes d'activités du programme

a. Appui institutionnel et réglementaire du programme

- Développement des énergies renouvelables et promotion de l'efficacité énergétique
- Cadre réglementaire, juridique et contractuel spécifique favorisant les grands investissements des énergies renouvelables pour la production d'électricité²⁹.

b. Appui dans le domaine des énergies renouvelables

- Planification et maîtrise de l'intégration des parcs éoliens et solaires de grande puissance dans le réseau interconnecté.
- Développement de la production distribuée d'électricité de petite puissance à partir d'énergies renouvelables et de projets de cogénération³⁰.

c. Appui dans le domaine de l'efficacité énergétique

▪ Efficacité énergétique et bâtiment

- Diagnostic de la réglementation existante et de sa mise en application ;

²⁷ <http://paeree.dz/decouvrir-le-paeree/mise-en-oeuvre/>

²⁸ <http://paeree.dz/decouvrir-le-paeree/le-programme/>

²⁹ <http://paeree.dz/appui-institutionnel-et-reglementaire/>

³⁰ <http://paeree.dz/energies-renouvelables/>

- Révision de la Réglementation Thermique des Bâtiments, des méthodes et des outils ;
- Diffusion et application de la Réglementation Thermique des Bâtiments (RTB) ; opérations pilotes
- Mesures en faveur de l'amélioration énergétique des bâtiments existants ;
- Accompagnement des fabricants de produits et équipements performants ; certification des produits et des entreprises ;
- Renforcements des institutions et centres techniques concernés.
 - **Certification et étiquetage énergétique**
- Diagnostic de la réglementation existante et de sa mise en application ;
- Poursuite du processus de normalisation – certification – labellisation – étiquetage ;
- Renforcements des organismes de contrôle et des laboratoires³¹



Figure 9: étiquetage énergétique (Source : paeree.dz)

D. Proposition d'optimisation de la réglementation thermique des bâtiments RTB+

Dans le cadre du projet "TAKA NADIFA", le Groupe 5 de l'Axe 3 « Réglementation de l'efficacité énergétique des bâtiments neufs et isolation thermique des bâtiments existants » a conduit une analyse approfondie du secteur de la construction et de la Réglementation Thermique du Bâtiment en vigueur en Algérie (Document Thermique Réglementaire C3.2/4, dénommé RTB ou DTR).

³¹ <http://paeree.dz/efficacite-energetique/>

Dans un premier temps, les experts du groupe de travail et de l'assistance technique de "TAKA NADIFA" ont effectué un diagnostic approfondi de la Réglementation Thermique du Bâtiment (RTB) existante décrit dans le document technique réglementaire n° C3/2-4 établie par le CNERIB. Dans un second temps, cinq propositions ont été, ainsi, produites pour d'une part pallier les difficultés de mise en œuvre de la RTB existante et d'autre part pour intégrer notamment le volet de la performance énergétique du bâtiment. Il en résulte la RTB+.

Il s'agit d'une première étape vers la vérification de la conformité thermique des bâtiments et d'une première tentative d'établir un étiquetage énergétique qui peut contribuer fortement à l'atteinte des objectifs du Programme National de Maîtrise de l'Énergie (PNME).

Dans ce cadre, la piste privilégiée est de prolonger le calcul thermique de la RTB, par une estimation de la consommation énergétique intégrant – outre la bonne conception thermique du bâtiment – l'influence des performances sur le bilan énergétique des systèmes techniques de chauffage, climatisation et production d'eau chaude sanitaire, sur la base d'un catalogue d'équipements dont le rendement minimal a été fixé au préalable.

Afin de garantir la réalisation de performances minimales, la RTB se concentre sur l'enveloppe du bâtiment et, en particulier, à maîtriser les déperditions calorifiques en période d'hiver et les apports calorifiques en période d'été travers de l'enveloppe en fixant des seuils à ne pas dépasser, appelés respectivement déperditions et apports de référence. La conformité thermique se limite à vérifier les potentialités de l'enveloppe du bâtiment. Pour calculer la consommation énergétique du bâtiment et améliorer le confort d'été, il est nécessaire de prendre en compte les autres spécificités bioclimatiques de l'enveloppe (récupération des apports solaires en hiver, ventilation naturelle en été pour les bâtiments non climatisés) et d'intégrer l'efficacité des systèmes techniques.

L'actuelle RTB n'impose aucune exigence sur les technologies ou des rendements minimaux des systèmes techniques, mais réglemente en effet le dimensionnement des systèmes de chauffage et climatisation (TAKA NADIFA, 2021).

E. Les cinq propositions de l'Assistance Technique pour une RTB+ par rapport à la RTB

Le (*Tab. 3*) détaille les cinq propositions pour améliorer la RTB actuelle, issues d'une étude approfondie du contexte réglementaire et technique algérien. L'adoption de ces propositions nécessitera la rédaction d'une loi spécifique.

Tableau 3: Les cinq propositions et l'assistance technique pour une RTB+ par rapport à la RTB (Source : (TAKA NADIFA, 2021))

RTB (2016)	RTB+
La conformité thermique est obligatoire pour tous les bâtiments neufs, mais le contrôle de conformité est fait à la demande du Maître d'Ouvrage	La conformité thermique est condition pour l'obtention du permis de construire et obligation de dépôt d'un « Dossier Thermique » en phase de conception
La RTB introduit des exigences de performance thermique hivernale et estivale pour les bâtiments neufs . La vérification de conformité à la réglementation consiste à contrôler le respect de ces exigences.	La vérification de conformité est étendue aux bâtiments existants sujets à une rénovation « majeure » représentant au moins 50% de la surface d'enveloppe totale
Les déperditions thermiques globales des bâtiments sont évaluées et comparées avec les déperditions thermiques globales de référence.	La vérification des exigences des déperditions thermiques « par composant » (garde-fous) est introduite quand il y a la substitution d'un composant d'enveloppe (supérieure à 25% de sa surface)
La conformité de la RTB se limite à l'enveloppe du bâtiment. La RTB n'introduit pas de rendements minimaux pour les systèmes techniques , mais définit comment dimensionner les systèmes de chauffage et climatisation	Une méthodologie simplifiée pour l'estimation de la performance énergétique globale due aux systèmes de chauffage, climatisation et production d'ECS est introduite pour les bâtiments résidentiels
Il n'y a pas de systèmes d'étiquetage énergétique des bâtiments en Algérie	Un système d'étiquetage énergétique des bâtiments résidentiels neufs en Algérie est proposé, appelé « APPE » (Attestation de Performance Energétique Potentielle).

F. Attestation de Performance Energétique Potentielle APPE

a. Étiquettes énergie

La classification énergétique du bâtiment avec une consommation annuelle d'énergie primaire pour le chauffage, l'ECS, et climatisation (sans renouvelables), distingue cinq classes énergétiques sont définies de la classe A à E, et classification avec l'optimisation (Avec PV) distingue sept classes de la classe A++ à E (du bâtiment très performant énergétiquement, au bâtiment énergivore) (*Annexe 2*). Ces étiquettes énergétiques se résument à :

- **Sans énergies renouvelables**

Tableau 4: *Étiquetage énergétique algérien de la consommation annuelle d'énergie primaire sans énergies renouvelables (Source : (TAKA NADIFA, 2021), réadapté par Auteur, 2023)*

Classe énergétique	Consommation annuelle d'énergie primaire pour le chauffage, l'ECS, et climatisation
A	≤ 161 kwh/m ² .an
B	230 kwh/m ² .an
C	246 kwh/m ² .an
D	249 kwh/m ² .an
E	≥ 323 kwh/m ² .an

- **Avec panneaux photovoltaïques**

Tableau 5: *Étiquetage énergétique algérien de la consommation annuelle d'énergie primaire avec panneaux photovoltaïques (Source : (TAKA NADIFA, 2021), réadapté par Auteur, 2023)*

Classe énergétique	Consommation annuelle d'énergie primaire pour le chauffage, l'ECS, et climatisation
A++	≤ 110 kwh/m ² .an
A+	132 kwh/m ² .an
A	154 kwh/m ² .an
B	198 kwh/m ² .an
C	246 kwh/m ² .an
D	272 kwh/m ² .an
E	≥ 275 kwh/m ² .an

b. Étiquettes climat

La classification du climat d'un bâtiment (sans renouvelables) allant de la classe A à la classe E, et avec l'optimisation (avec PV) on distingue sept classes de la classe A++ à E :

- **Sans énergies renouvelables**

Tableau 6: *Étiquetage climatique algérien de la consommation annuelle d'énergie primaire sans énergies renouvelables (Source : (TAKA NADIFA, 2021), réadapté par Auteur, 2023)*

Classe climatique	Emissions de CO ₂
A	≤ 35 kg CO ₂ /m ² .an
B	36-45 kg CO ₂ /m ² .an
C	46-49 kg CO ₂ /m ² .an
D	50-55 kg CO ₂ /m ² .an
E	≥ 66 kg CO ₂ /m ² .an

- **Avec panneaux photovoltaïques**

Tableau 7: *Étiquetage climatique algérien de la consommation annuelle d'énergie primaire avec panneaux photovoltaïques (Source : (TAKA NADIFA, 2021), réadapté par Auteur, 2023)*

Classe climatique	Emissions de CO ₂
A++	≤ 25 kg CO ₂ /m ² .an
A+	29 kg CO ₂ /m ² .an
A	34 kg CO ₂ /m ² .an
B	44 kg CO ₂ /m ² .an
C	50 kg CO ₂ /m ² .an
D	57 kg CO ₂ /m ² .an
E	≥ 66 kg CO ₂ /m ² .an

I.1.8. Stratégies d'efficienc e énergétique dans le bâtiment

Assurer un environnement intérieur confortable et sain est l'une des principales fonctions des systèmes énergétiques des bâtiments et représente environ un tiers de la consommation totale d'énergie des bâtiments. Et les perspectives d'efficienc e énergétique se classent dans les catégories de base suivantes :

1. Bonne conception des bâtiments, y compris les systèmes passifs et l'aménagement paysager ;
2. Amélioration de l'enveloppe du bâtiment, y compris les toits, les murs et les fenêtres ;

3. Équipement amélioré pour chauffer et refroidir l'air et éliminer l'humidité ;
4. Stockage d'énergie thermique pouvant faire partie de la structure du bâtiment ou d'un équipement séparé ;
5. Capteurs, systèmes de contrôle et algorithmes de contrôle améliorés pour optimiser les performances du système.

La conception des bâtiments et la sélection des équipements dépendent du climat dans lequel le bâtiment fonctionne. Pour contribuer à la performance énergétique des bâtiments, tout le monde s'accorde à dire qu'il existe principalement trois leviers qui peuvent être activés : les solutions passives, les solutions actives et le comportement des occupants (Rahmouni, 2020).

I.1.8.1. Stratégies passives

Concerne le bâti, c'est-à-dire uniquement l'enveloppe du bâtiment. Il s'agit notamment d'éviter les déperditions énergétiques en améliorant les performances techniques du bâtiment (isolation des murs, isolation des combles, étanchéité à l'air, triple vitrage...). Ces stratégies sont déterminées par les paramètres suivants :

1. La compacité ;
2. Organisation des espaces ;
3. L'éclairage naturel ;
4. Proportion de surface vitrée ;
5. Le vitrage ;
6. Protections solaires ;
7. Enveloppe du bâtiment ;
8. La ventilation des bâtiments.

I.1.8.2. Stratégies actives

Combiner une amélioration de l'efficacité énergétique des équipements techniques, et une gestion de l'énergie basée sur la mesure, le contrôle et la régulation de l'énergie du bâtiment en fonction des utilisations. A savoir :

1. Capteurs, contrôles et réseaux ;
2. Les systèmes CVC ;
3. Les énergies renouvelables.

I.2. Les énergies renouvelables dans le bâtiment

I.2.1. Aperçu sur les énergies renouvelables

I.2.1.1. Énergies renouvelables : élément de conceptualisation

Selon le dictionnaire de l'énergie, l'énergie renouvelable est : "Toute ressource énergétique qui est naturellement régénérée sur une courte période et qui provient directement de l'énergie solaire (solaire thermique, photochimique et photoélectrique), indirectement du soleil (vent, hydroélectricité et énergie photosynthétique stockée dans la biomasse), ou d'autres flux d'énergie naturels (énergie géothermique, marémotrice, houlomotrice et courante). Contrairement aux formes d'énergie non renouvelables comme le pétrole, le charbon et l'uranium" (Cleveland & Morris, 2005).

L'énergie renouvelable est produite en utilisant des ressources naturelles qui sont constamment remplacées et jamais épuisées. Tout comme il existe de nombreuses sources d'énergie naturelles, il existe de nombreuses technologies d'énergie renouvelable³², permettent de produire de l'électricité, de la chaleur, du froid, du gaz, du carburant, du combustible. Ces sources d'énergie, considérées comme inépuisables à l'échelle du temps humain, n'engendrent pas ou peu de déchets ou d'émissions polluantes. Elles se distinguent des énergies fossiles, polluantes et dont les stocks diminuent. Enfin, les EnR sont plus résilientes, notamment en cas de crise³³.

I.2.1.2. Types des énergies renouvelables

Les sources d'énergie renouvelables, comme la biomasse, les ressources géothermiques, la lumière du soleil, l'eau et le vent, sont des ressources naturelles qui peuvent être converties en ces types d'énergie propre et utilisable sont les suivants :

I.2.1.2.1. L'énergie solaire

L'énergie créée par la chaleur et la lumière du soleil. Elle est produite quand l'énergie du soleil est convertie en électricité ou utilisée pour chauffer l'air, l'eau ou d'autres substances. À la fin de 2020, plus de 700 GW d'énergie solaire ont été installés dans le monde, répondant ainsi à environ 3 % de la demande mondiale d'électricité. Plus d'énergie solaire

³² <https://arena.gov.au/what-is-renewable-energy/>

³³ <https://www.ecologie.gouv.fr/energies-renouvelables>

photovoltaïque est ajoutée chaque année que tout autre type de production d'énergie, en grande partie grâce aux réductions de coûts rapides qui ont été réalisées ces dernières années.

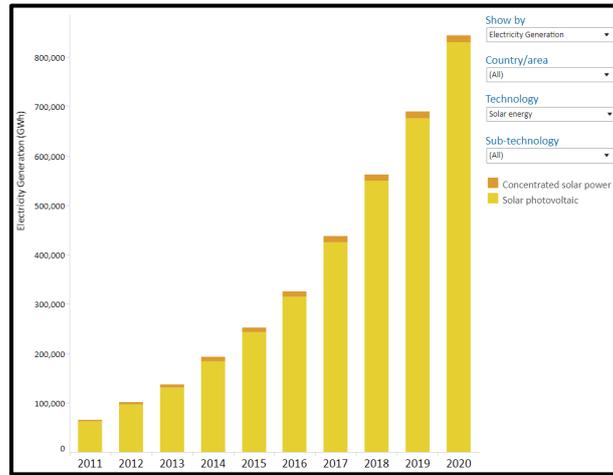


Figure 10: *Production d'électricité mondiale par l'énergie solaire (Source : www.irena.org)*

Il existe deux principaux types de technologie de l'énergie solaire, qui sont :

A. Le solaire photovoltaïque

Le solaire photovoltaïque (PV) convertit directement la lumière solaire en électricité à l'aide d'une technologie appelée cellule semi-conductrice ou cellule solaire photovoltaïque. La forme la plus courante de cellule solaire photovoltaïque est généralement encadrée dans du verre et un cadre en aluminium pour former un panneau solaire.



Figure 11: *Panneau solaire photovoltaïque (Source : www.techniques-ingenieur.fr)*

Les panneaux peuvent être assemblés à grande échelle générant des centaines de mégawatts d'électricité. Les panneaux solaires photovoltaïques sont actuellement le type de

technologie solaire PV le plus répandu, mais d'autres types de panneaux solaires photovoltaïques sont en cours de développement pour des applications ciblées, y compris le PV qui peut être intégré dans les bâtiments, le PV flexible et même la peinture PV³⁴.

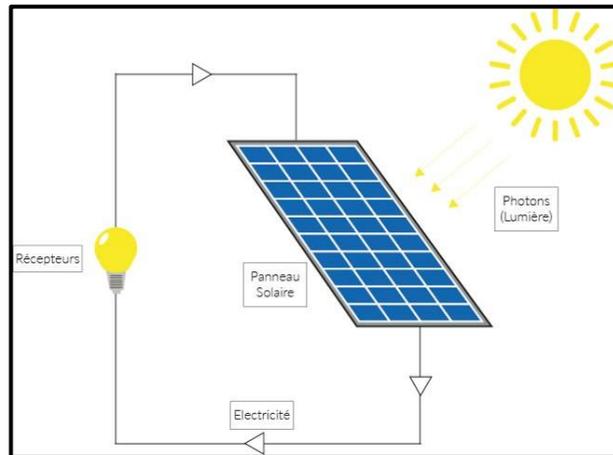


Figure 12: Principe de fonctionnement du panneau solaire photovoltaïque (Source : mon-panneau-solaire.info)

B. Le solaire thermique

Le solaire thermique convertit la lumière du soleil en chaleur qui peut être utilisée à diverses fins, y compris pour créer de la vapeur pour alimenter un générateur d'électricité. Cette énergie peut être utilisée pour conduire un cycle de réfrigération pour fournir un refroidissement à base solaire³⁵.

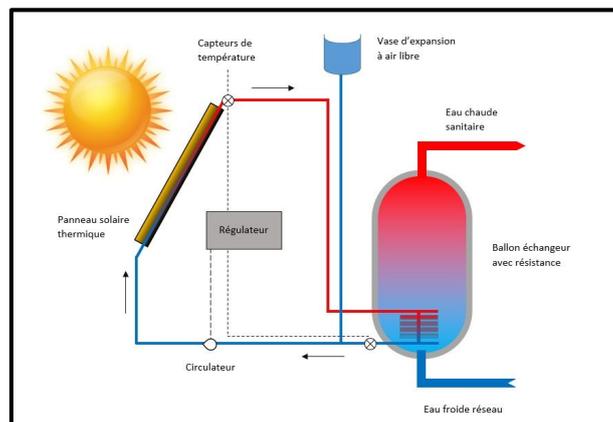


Figure 13: Principe de fonctionnement du panneau solaire thermique

³⁴ <https://arena.gov.au/renewable-energy/solar/>

³⁵ Ibid

I.2.1.2.2. **Énergie éolienne**

Le vent est utilisé pour produire de l'électricité en convertissant l'énergie cinétique de l'air en mouvement en électricité. Dans les éoliennes modernes, le vent fait tourner les pales du rotor, qui convertissent l'énergie cinétique en énergie de rotation. Cette énergie de rotation produit de l'énergie électrique³⁶. À la fin de 2018, 600 GW d'énergie éolienne étaient installés dans le monde, répondant ainsi à près de 6 % de la demande mondiale d'électricité. Elle devrait continuer à accroître sa part de la production d'électricité à l'échelle mondiale, comme le vent ne souffle pas continuellement, les chercheurs ont mis au point des façons d'utiliser l'énergie éolienne qui aident également à maintenir un approvisionnement fiable en électricité, comme l'appariement de parcs éoliens avec des parcs solaires ou le stockage d'énergie comme des batteries³⁷.

Les éoliennes se présentent sous : des éoliennes de grandes puissances raccordées aux réseaux nationaux, ou des micro-éoliennes, présentent sous plusieurs formes dans les zones urbaines offrent la possibilité de devenir moins dépendants du réseau électrique³⁸.

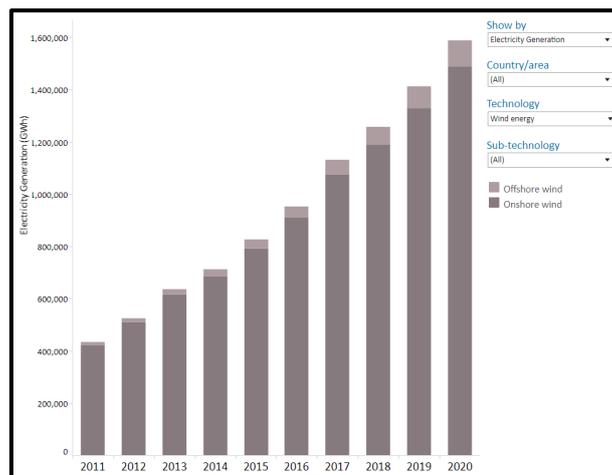


Figure 14: *production d'électricité mondiale par l'énergie éolienne (Source : www.irena.org)*

I.2.1.2.3. **Énergie géothermique**

L'énergie géothermique est la chaleur de la Terre. C'est une source d'énergie renouvelable avec de multiples applications, y compris le chauffage, le séchage et la production d'électricité. Les systèmes géothermiques extraient la chaleur de la Terre sous forme de fluides

³⁶ <https://www.irena.org/Energy-Transition/Technology/Wind-energy>

³⁷ <https://arena.gov.au/renewable-energy/wind/>

³⁸ <https://www.drawdown.org/solutions/micro-wind-turbines>

comme la vapeur ou l'eau. Les températures atteintes déterminent les utilisations possibles de son énergie³⁹.

La technologie géothermique extrait la chaleur trouvée dans le sous-sol de la terre, qui peut être utilisée directement pour le chauffage et le refroidissement, ou convertie en électricité. Cependant, pour produire de l'électricité, il faut des ressources à température moyenne ou élevée. Ceux-ci sont habituellement situés à proximité de à activité volcanique ou tectonique où l'eau chaude et/ou la vapeur sont transportées à la surface de la Terre ou peuvent être accessibles à de faibles profondeurs⁴⁰.

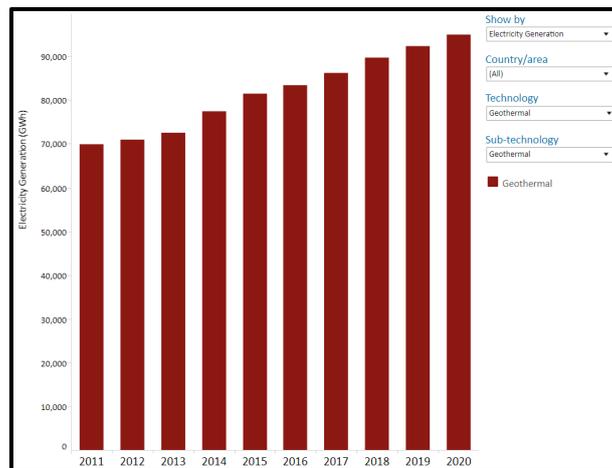


Figure 15: *Production d'électricité par l'énergie géothermique (Source : www.irena.org)*

Les systèmes géothermiques à utilisation directe utilisent des eaux souterraines qui sont chauffées par des processus géologiques naturels sous la surface de la Terre. Cette eau peut être aussi chaude que 200 °F ou plus. Ces réservoirs d'eaux souterraines peuvent atteindre la surface, créant des geysers et des sources chaudes. On peut pomper l'eau chaude de la surface ou du sous-sol pour un large éventail d'applications utiles obtenue par forage.

Les principaux avantages de l'énergie géothermique sont son faible coût et sa capacité à fonctionner toute l'année à des facteurs de capacité élevés. Cela lui permet de fournir de l'électricité fiable et distribuable et, si elle est encouragée, des services auxiliaires au réseau électrique. Plus la pénétration de l'énergie solaire et éolienne augmente, plus ces caractéristiques deviennent précieuses⁴¹.

³⁹ <https://arena.gov.au/renewable-energy/geothermal/>

⁴⁰ <https://www.irena.org/Energy-Transition/Technology/Geothermal-energy>

⁴¹ Ibid

Dans un contexte de développement global des énergies renouvelables, la géothermie se démarque par son aspect multi-échelle ainsi que par la pérennité de sa ressource. En effet, il convient de différencier les différents types de géothermie (DELERABLÉE, 2019), qui sont :

A. Géothermie haute température/énergie

Aussi appelée géothermie haute enthalpie, concerne les fluides dont les températures sont supérieures à 150 °C. Ceux-ci sont mis en production par forages généralement à plus de 1 500 mètres de profondeur. Les ressources de géothermie haute température sont situées dans des zones au gradient géothermal anormalement élevé (jusqu'à 30 °C par 100 m), généralement à la frontière des plaques lithosphériques. Les fortes valeurs de ce gradient s'expliquent par la présence, à quelques kilomètres de profondeur, de roches chaudes. Cette énergie dite quasi-continue car uniquement interrompue par les opérations de maintenance de la centrale. D'ailleurs, les réservoirs géothermiques présentent l'intérêt d'avoir une durée de vie de plusieurs années (30 à 80 ans)⁴².

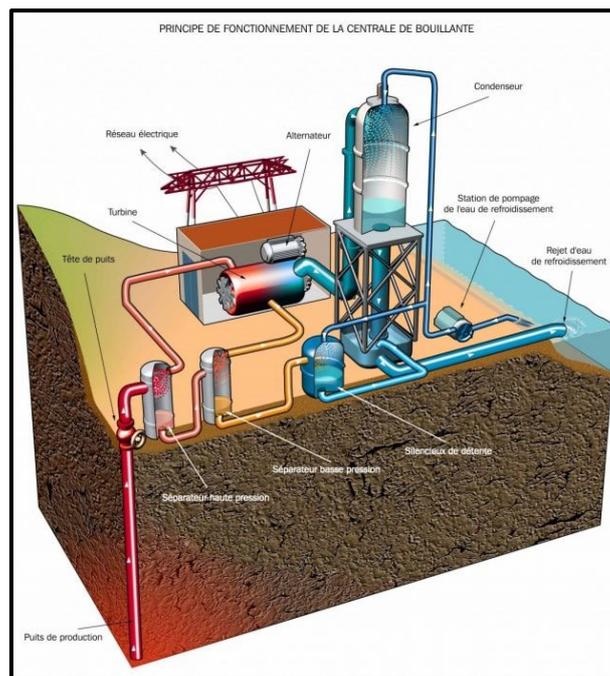


Figure 16: Principe de fonctionnement de la centrale de bouillante

(Source : www.connaissancedesenergies.org)

B. Géothermie basse température/énergie

Elle exploite la chaleur de gisements d'eau situés à des profondeurs de quelques centaines de mètres jusqu'à environ 2 000 m, pour des températures généralement comprises entre 30°C

⁴² <https://www.connaissancedesenergies.org/fiche-pedagogique/geothermie-haute-temperature>

et 90°C. La technique d'exploitation est Par forage, l'eau chaude est captée dans la couche poreuse. Le fluide remonte à la surface dans le puits de production par un système de pompage ou grâce à la pression naturelle présente en profondeur et à la température du fluide (système dit artésien)⁴³.

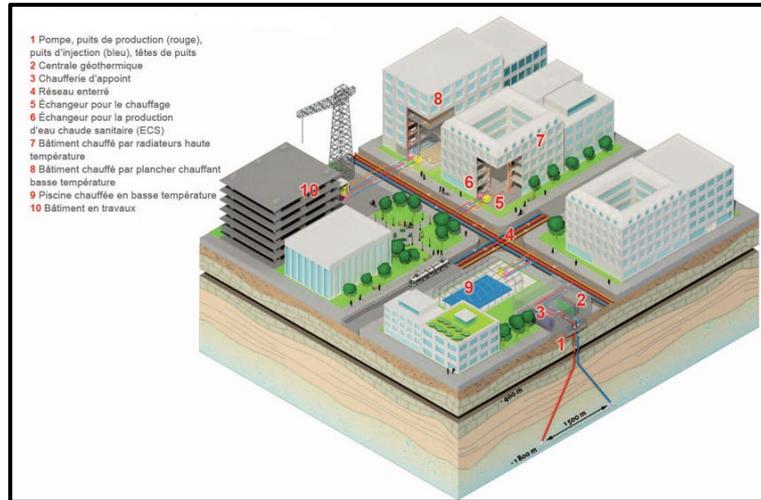


Figure 17: Schéma général d'un réseau de chaleur (Source : www.connaissancedesenergies.org)

C. Géothermie très basse température/énergie (Géothermie superficielle)

Elle exploite la chaleur du sol ou de l'eau du sous-sol à des profondeurs généralement comprises entre 0 et 100 mètres, pour des températures inférieures à 30°C. La pompe à chaleur géothermique permet, à partir de cette source de chaleur, d'ajuster la température aux besoins de l'habitat. Ce type de géothermie est utilisé pour le chauffage et/ou la climatisation de maisons individuelles, de bâtiments tertiaires et de locaux collectifs. Le fluide utilisé pour assurer l'échange avec le sol peut être de l'eau ou de l'air ; dans ce dernier cas on parle de « puits canadien »⁴⁴.

a. Puits canadien

Le puits canadien est une technique géothermique utilisant l'inertie du proche sous-sol et la faible variation de sa température tout au long de l'année, pour, selon les saisons, préchauffer ou rafraîchir l'air neuf de renouvellement des bâtiments. En mode rafraîchissement, on parle aussi de puits provençal. La mesure de ce système où l'échange de chaleur avec le sol ne se fait pas ici avec de l'eau mais avec de l'air. La dénomination « puits provençal » fait référence à la fonction de rafraîchissement estival du système, alors que le puits canadien désigne la fonction de préchauffage hivernal de l'air ventilé.

⁴³ <https://www.connaissancedesenergies.org/fiche-pedagogique/geothermie-basse-temperature>

⁴⁴ <https://www.connaissancedesenergies.org/fiche-pedagogique/geothermie-superficielle>

Le puits canadien consiste à faire circuler de l'air de l'extérieur vers l'intérieur de l'habitation, dans une canalisation enterrée à faible profondeur. En hiver, ce système utilise la chaleur du sous-sol dont la température est plus élevée que l'air (d'environ 7 °C à 2 ou 3 mètres de profondeur). En été, il exploite la fraîcheur du sous-sol, approximativement de 12°C. La circulation d'air dans la canalisation peut être passive (en positionnant par exemple l'entrée de la canalisation vers les vents dominants) ou mécanique grâce une ventilation mécanique contrôlée (**Fig.18**).

Le puits canadien ne peut pas constituer un système de chauffage, sauf s'il est couplé à une pompe à chaleur (air-air ou air-eau si le bâtiment dispose de radiateurs). Il permet néanmoins de renouveler l'air de l'habitat, de le rafraîchir en été et de le préchauffer en hiver⁴⁵.

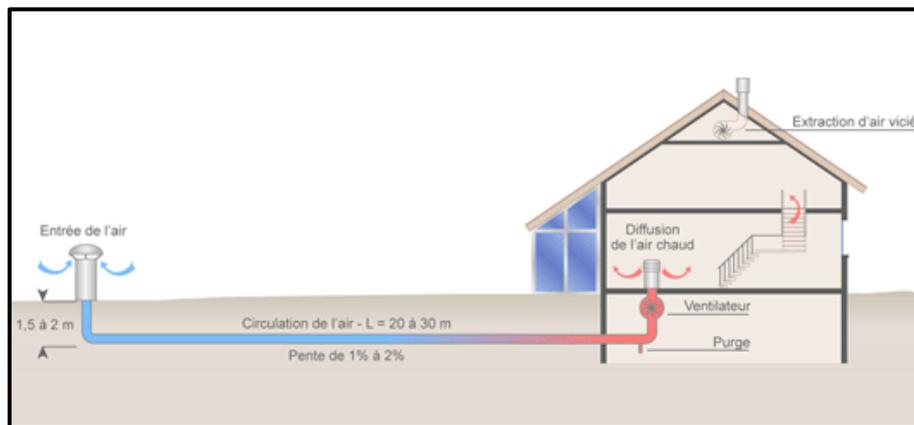


Figure 18: *Principe de fonctionnement du puits canadien*
(Source : www.connaissancedesenergies.org)

b. Pompes à chaleur géothermiques (PAC)

L'exploitation de l'énergie géothermique pour le chauffage par pompe à chaleur se fait en trois grandes étapes : captage de la chaleur, amplification de l'énergie par une PAC et restitution de la chaleur dans l'habitation (par un circuit de chauffage).

La chaleur géothermique est prélevée par des capteurs pour être transmise à un fluide originellement plus froid en circulation dans la PAC. Ce fluide change d'état et se transforme en vapeur, dont la température est augmentée par compression. Cette chaleur générée est restituée au milieu à chauffer via un condenseur, où le fluide se refroidissant repasse à l'état liquide. Les systèmes utilisant une pompe à chaleur se différencient par le type des capteurs utilisés :

⁴⁵ <https://www.connaissancedesenergies.org/fiche-pedagogique/geothermie-superficielle>

- **Techniques avec capteurs verticaux :** (ou sondes géothermiques) sont disposés entre 30 et 150 m de profondeur. L'échange de chaleur avec le sol s'effectue par l'intermédiaire d'un ou deux tubes en U dans un forage vertical.
- **Techniques avec capteurs horizontaux :** Les capteurs sont disposés en réseau de tubes, installés en boucle. Ils sont enterrés à une profondeur allant de 60 cm à 1,20 m (**fig.19**).

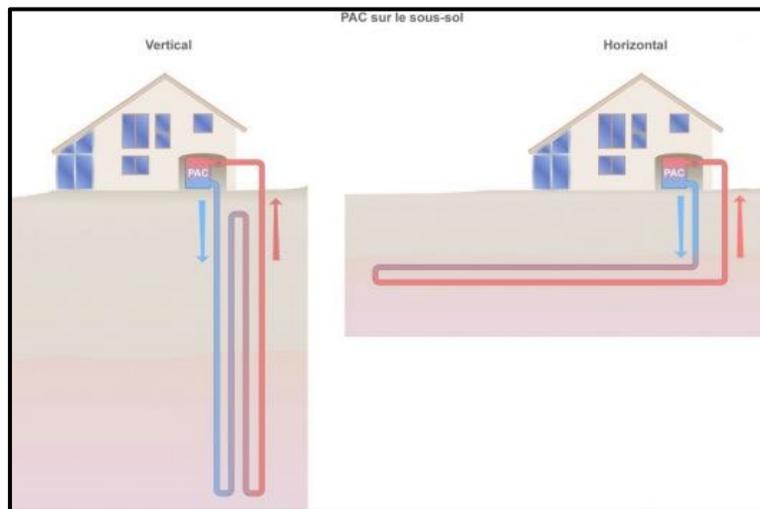


Figure 19: Schéma des pompes à chaleur à capteurs horizontaux et verticaux

(Source : www.connaissancedesenergies.org)

- **Champs de sondes géothermiques :** ce type de capteurs consiste à prélever l'eau des nappes phréatiques, par forage ou puits entre 10 et 30 m. Le captage se fait soit par puits unique avec rejet des eaux en surface soit par double puits avec réinjection des eaux en profondeur. Le captage sur nappe offre un intérêt en termes de puissance et de rendement (**fig.20**)⁴⁶.

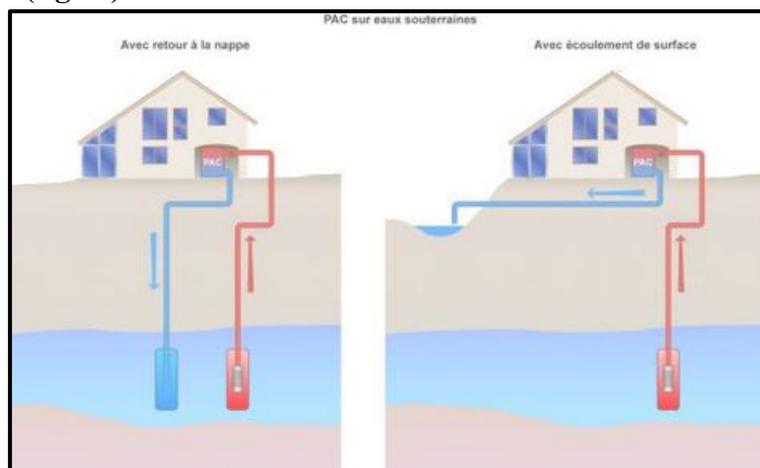


Figure 20: Schéma des pompes à chaleur sur nappes d'eau
(Source : www.connaissancedesenergies.org)

⁴⁶ <https://www.connaissancedesenergies.org/fiche-pedagogique/geothermie-superficielle>

c. Géosstructures thermo-énergétiques

Les géosstructures thermo-énergétiques sont des ouvrages géotechniques (e.g. pieux de fondation, ouvrages de soutènement, tunnels, etc.) (**Fig.22**), qui assurent en premier lieu une fonction mécanique. Équipés de tubes échangeurs de chaleur, ces derniers permettent aussi d'échanger de l'énergie avec le milieu encaissant afin de produire du chauffage en hiver et de la climatisation en été par l'intermédiaire d'une Pompe à Chaleur géothermique (PACg) (**Fig.21**). Dans certains cas, en début d'été notamment, la pompe à chaleur n'est pas nécessaire, et le terme de freecooling est utilisé (ANTOINET, et al., 2021).

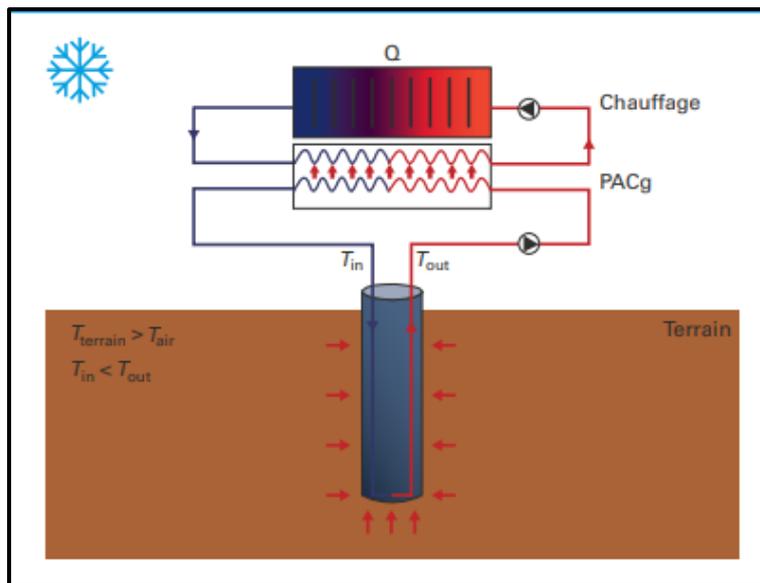


Figure 21: Schéma de principe du fonctionnement d'une géosstructure thermique en hiver (Source : (ANTOINET, et al., 2021))

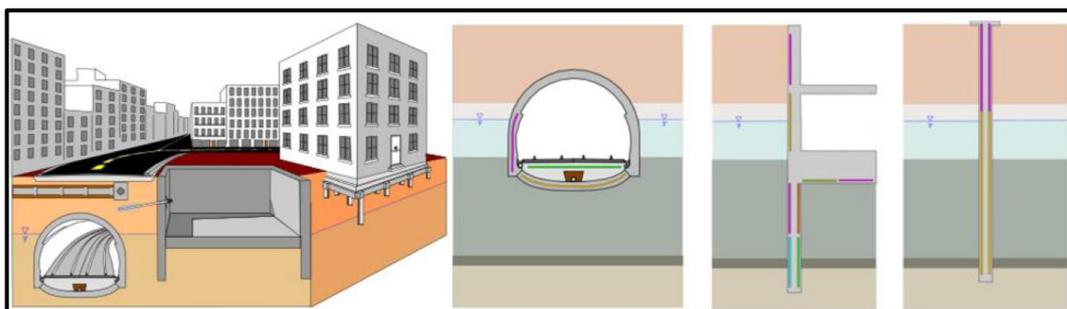


Figure 22: Exemple de ville équipée de multiples géosstructures thermiques (Source : (DELERABLEE, 2019))

I.2.1.2.4. Énergie de Biomasse

La biomasse est une forme d'énergie renouvelable produite par la conversion de la biomasse en chaleur, électricité, biogaz et combustibles liquides. La biomasse est une matière organique dérivée de la foresterie, de l'agriculture ou des flux de déchets disponibles sur une

base renouvelable. Il peut également inclure des composants combustibles de déchets solides municipaux.

La biomasse peut être convertie en bioénergie à l'aide d'une gamme de technologies selon le type de matière première (matière première), l'échelle/la taille du projet et la forme d'énergie à produire. Les technologies de conversion comprennent la combustion, la pyrolyse, la gazéification, la transestérification, la digestion anaérobie et la fermentation, ou peuvent être liées à des processus comme le bio raffinage. Certains procédés de conversion produisent également des sous-produits qui peuvent être utilisés pour fabriquer des matériaux utiles comme du bitume renouvelable et même du béton à base de biomasse. Les autres avantages comprennent la réduction des émissions, l'élimination des déchets, le soutien aux économies rurales et l'amélioration de la qualité de l'air⁴⁷.

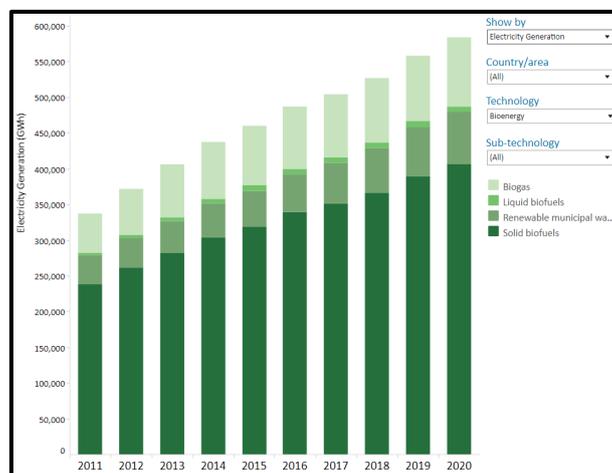


Figure 23: production d'électricité mondiale par l'énergie de biomasse (Source : www.irena.org)

1.2.1.2.5. Énergie hydraulique

L'hydroélectricité est l'une des plus anciennes et des plus importantes sources d'énergie renouvelable, qui utilise le flux naturel de l'eau en mouvement pour produire de l'électricité. Les technologies hydroélectriques produisent de l'électricité en utilisant la différence d'élévation, créée par un barrage ou une structure de dérivation, de l'eau qui s'écoule d'un côté et de l'autre, bien en dessous, de l'autre⁴⁸.

Parce que l'hydroélectricité utilise l'eau pour produire de l'électricité, les centrales sont habituellement situées sur ou à proximité d'une source d'eau. L'énergie disponible à partir de l'eau en mouvement dépend à la fois du volume du débit d'eau et du changement d'élévation

⁴⁷ <https://arena.gov.au/renewable-energy/bioenergy/>

⁴⁸ <https://www.energy.gov/eere/water/hydropower-basics>

-aussi appelé la tête- d'un point à l'autre. Plus le débit est élevé et plus la tête est haute, plus l'électricité peut être produite⁴⁹.

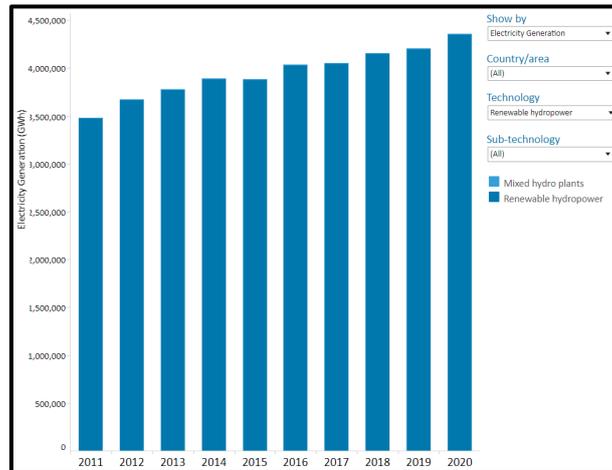


Figure 24: *Production d'électricité mondiale par l'énergie hydraulique (Source : www.irena.org)*

I.2.1.3. Avantages des énergies renouvelables

Les avantages de l'énergie renouvelable sont nombreux et touchent l'économie, l'environnement et la santé humaine :

I.2.1.3.1. Avantages économiques

Plus les énergies renouvelables se développent, plus leur prix baisse, plus elles sont compétitives, plus elles fournissent une énergie bon marché et plus les investissements permettent d'en développer. C'est un secteur d'activité complet en pleine structuration.

I.2.1.3.2. Avantages environnementaux

Les énergies renouvelables réduisent les émissions de gaz à effet de serre en réaction à la crise climatique par l'intégration dans le mix énergétique (distribution des différentes sources d'énergie consommées). La transformation de la production énergétique aura des effets sanitaires. Elle permettra en effet de diminuer la pollution de l'air, contrairement aux énergies fossiles, dont la combustion libère des particules fines et de l'ozone fortement nocifs, les filières comme l'éolien, le solaire ou l'hydraulique n'émettent pas de polluants.

⁴⁹ <https://www.energy.gov/eere/water/how-hydropower-works#:~:text=Hydropower%2C%20or%20hydroelectric%20power%2C%20is%20a%20renewable%20source,of%20a%20river%20or%20other%20body%20of%20water.>

I.2.1.3.3. Avantages sociaux

Les citoyens peuvent construire le modèle énergétique renouvelable en produisant eux-mêmes leur énergie et en investissant dans des projets à proximité dont ils peuvent devenir les actionnaires dans le cadre d'un financement participatif⁵⁰.

I.2.1.3.4. Résilience et fiabilité

Les énergies renouvelables sont moins sujettes aux échecs à grande échelle parce qu'elles sont distribuées et modulaires. Si un événement météorologique violent à un endroit ne coupe pas le courant à toute une région. Même si une partie de l'équipement du système est endommagée, le reste peut généralement continuer à fonctionner⁵¹.

I.2.2. Les systèmes énergétiques hybrides

I.2.2.1. Systèmes énergétiques hybrides : Éléments de conceptualisation

I.2.2.1.1. Systèmes énergétiques

Le concept de système énergétique, cherche à élargir la notion de chaîne énergétique limitée aux aspects physiques et technologiques pour y associer les dimensions humaines, sociales, organisationnelles et les mécanismes associés économiques, sociologiques, politiques, juridiques... Par exemple, la chaîne pétrolière et le réseau électrique, pour en identifier les principaux acteurs et leurs relations, en regard des caractéristiques physiques et techniques⁵².

Un système énergétique regroupe tous les éléments permettant la production, le transport, le stockage et l'utilisation d'énergie, sous l'une ou l'autre de ses formes. Cette notion englobe bien évidemment les installations techniques mais peut également être étendue à des éléments moins tangibles comme les textes légaux encadrant les différentes activités liées à l'énergie et définissant plus ou moins fortement ses différents marchés⁵³.

I.2.2.1.2. Systèmes énergétiques hybrides

Un système qui combine deux ou plusieurs formes d'énergie ou de puissance pour fournir un service énergétique particulier. Cela peut comprendre un élément de stockage d'énergie,

⁵⁰ <https://www.ecologie.gouv.fr/energies-renouvelables>

⁵¹ <https://www.ucsusa.org/resources/benefits-renewable-energy-use>

⁵² <https://www.uved.fr/fiche/ressource/concept-de-systeme-energetique-introduction#:~:text=Le%20concept%20de%20syst%C3%A8me%20%C3%A9nerg%C3%A9tique%2C%20cherche%20%C3%A0%20%C3%A9largir,et%20les%20m%C3%A9canismes%20associ%C3%A9s%20%28%C3%A9conomiques%2C%20soc>

⁵³ <https://blog.romande-energie.ch/fr/articles-d-experts/131-comment-definir-le-systeme-energetique-de-demain>

par exemple, une maison alimentée par une combinaison de génératrice diesel, d'énergie éolienne et de stockage par batterie (Cleveland & Morris, 2005). Une technologie hybride intègre une technologie de production d'énergie renouvelable à d'autres systèmes de production d'énergie⁵⁴.

Les systèmes à énergie hybride combinent deux ou plusieurs formes de production d'énergie, de stockage ou d'utilisation finale, et ils peuvent offrir une foule d'avantages par rapport aux systèmes à source unique. Dans ces cas, les systèmes d'énergie hybride sont une solution idéale, car ils peuvent offrir des améliorations substantielles en matière de performance et de réduction des coûts et peuvent être adaptés aux besoins variés des utilisateurs finaux. Le système de stockage d'énergie dans un système d'énergie renouvelable autonome classique a généralement une courte durée de vie, principalement en raison de la production irrégulière de sources d'énergie renouvelables. Dans certains systèmes, le système de stockage d'énergie est surdimensionné afin de réduire le niveau de stress et de répondre à la demande de pointe intermittente. Un système de stockage d'énergie hybride est une meilleure solution en termes de durabilité, de praticité et de rentabilité pour la mise en œuvre globale du système (Zohuri, 2018).

I.2.2.2. Classification des systèmes énergétiques hybrides

Plusieurs classifications de systèmes hybrides sont effectuées conformément au critère retenu. Les principales classifications sont présentées sont :

I.2.2.2.1. Régime de fonctionnement

Les systèmes hybrides peuvent être répartis en deux groupes. Dans le premier groupe, on retrouve des systèmes hybrides, fonctionnant en parallèle avec le réseau électrique, également appelé connectés réseau. Ces systèmes permettent de répondre à la charge du réseau électrique du pays. Les systèmes hybrides du deuxième groupe fonctionnent en régime isolé ou en mode autonome. Ils doivent répondre aux besoins des consommateurs situés dans des sites éloignés du réseau électrique : refuges de montagne, îles, villages isolés, panneaux de signalisation routière etc... (Mida, 2019).

⁵⁴ <https://arena.gov.au/renewable-energy/hybrid/>

1.2.2.2. Classification par gamme électrique

La portée des systèmes énergétiques hybrides est très étendue et il est donc difficile de les classer. On peut toutefois tenter de classer les gammes électriques (**Tableau 8**). Les seuils de puissance donnés ne sont que des ordres de grandeurs (Boutabba, 2018).

Tableau 8: Classification des systèmes énergétiques hybrides par gamme électrique (Source : (Boutabba, 2018))

Puissance de système énergétique hybride [KW]	Application
Faible : < 5	Systèmes autonomes : stations de télécommunications pompage de l'eau, autres applications isolées.
Moyenne : 10-250	Micro-réseaux isolés : alimentation d'un village isolé, des zones rurales...
Grande : > 500	Grands réseaux isolés (exemple : réseaux insulaires)

1.2.2.3. La structure du système hybride

La classification peut tenir compte de trois critères, selon la structure du système :

- Le premier critère est la présence ou non d'une source d'énergie classique. Cette source conventionnelle peut être un générateur diesel, une micro turbine à gaz, et dans le cas d'une étude du réseau électrique complet – une centrale tout entière.
- Un second critère possible est la présence ou non d'un dispositif de stockage. La présence d'un stockage permet d'assurer une meilleure satisfaction des charges électriques pendant les périodes d'absence d'une ressource primaire à convertir en électricité. Les dispositifs de stockage peuvent être des batteries rechargeables, des électrolyseurs avec réservoirs d'hydrogène, des volants d'inertie, etc. ...
- La dernière classification possible est celle relative au type de sources d'énergie renouvelables utilisées. La structure du système peut contenir un système photovoltaïque, une éolienne, un convertisseur d'énergie géothermique ou une combinaison de ces sources. Un critère important pour la sélection de la source utilisée est le potentiel énergétique disponible qui dépend de l'endroit d'installation du système hybride. Un autre facteur déterminant est le consommateur électrique alimenté. Son importance détermine le besoin d'une source supplémentaire, d'un dispositif de stockage et/ou d'une source conventionnelle etc. (Mida, 2019)

I.2.2.3. Avantages des systèmes énergétiques hybrides

- Non dépendant d'une seule source d'énergie.
 - Flexible, extensible et capable de satisfaire des charges évolutives.
 - Exploitation simple, travaux de maintenance et de révision réduits.
 - Rentabilité, Faible coût lié au cycle de vie des composants du système hybride.
- (Boutabba, 2018)

I.2.2.4. Modélisation d'un système énergétique hybride photovoltaïque-géothermique dans le bâtiment

I.2.2.4.1. Les composants du système hybride photovoltaïque-géothermique

Les systèmes hybrides géothermique-photovoltaïque comprennent généralement :

- Un système générateur (Source renouvelable (photovoltaïque- géothermique)) ;
- Un système de régulation ;
- Un système de stockage (Batteries) ;
- Des équipements de puissance ;
- Une charge.

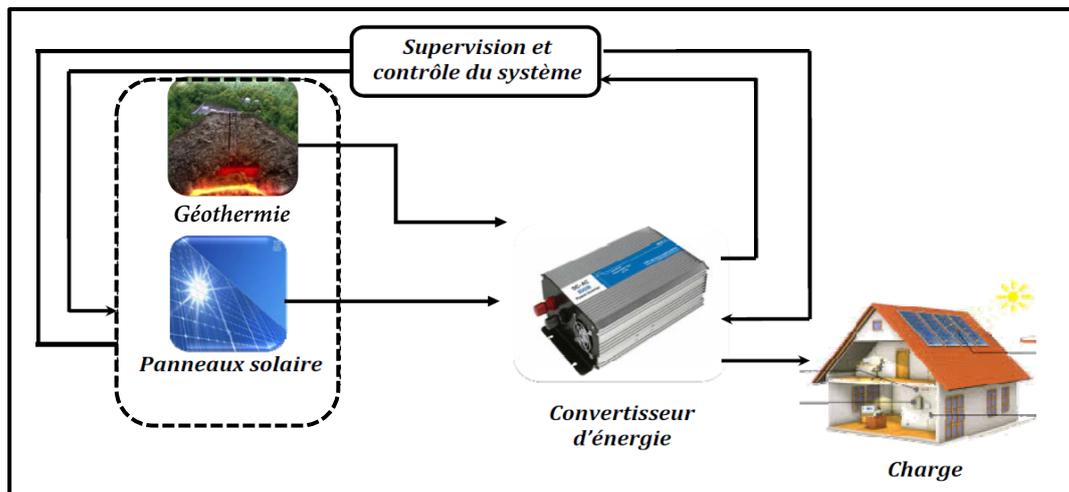


Figure 25: Structure d'un système énergétique hybride solaire-géothermique connecté à une charge (Source : (Boutabba, 2018) réadapté par l'Auteur)

A. Le système solaire photovoltaïque

Un architecte considère tous les systèmes naturels et les aspects environnementaux lors de la conception et de la planification des bâtiments et des espaces. Le soleil affecte les conceptions architecturales de nombreuses façons : la lumière, directions du soleil, matériaux de construction et le rayonnement solaire.

Le soleil se déplace au cours de la journée et suivant les saisons (*fig.26*).

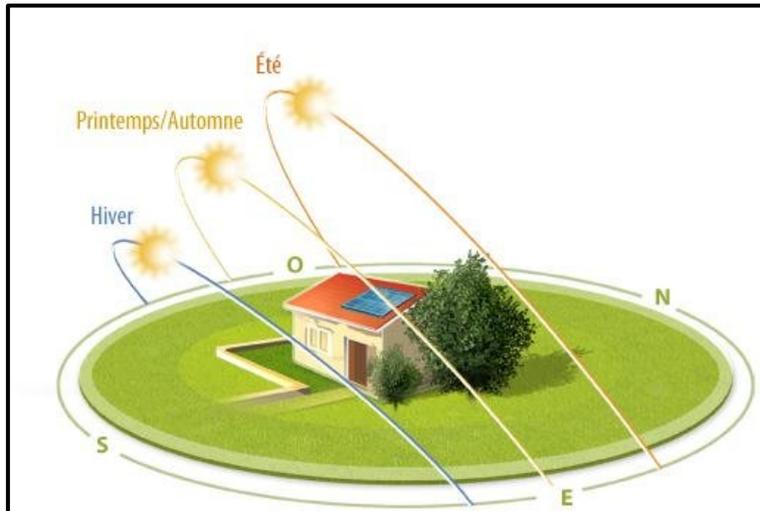


Figure 26: Définition de la position du soleil (latitude et azimut) (Source : www.photovoltaique.info)

Le soleil est la seule ressource dont a besoin un panneau solaire. En revanche, l'énergie solaire photovoltaïque peut être intégrée de manière esthétique dans les bâtiments, par ses modules photovoltaïques peuvent couvrir toits et façades, contribuant ainsi à l'autonomie énergétique des bâtiments et favorisera la production d'électricité.

a. Principe

Pour un observateur situé en un lieu précis de la surface terrestre (latitude + longitude), la position du soleil dans le ciel, à un instant donné (date + heure), peut être repérée par deux coordonnées angulaires :

- **AZIMUT** : angle mesuré par rapport au sud dans un plan horizontal, à mesure de l'avancée de la journée
- **ELEVATION** : angle mesuré par rapport à l'horizontale dans un plan vertical, selon la saison et, l'avancée de la journée (BRAHAMI, 2018).

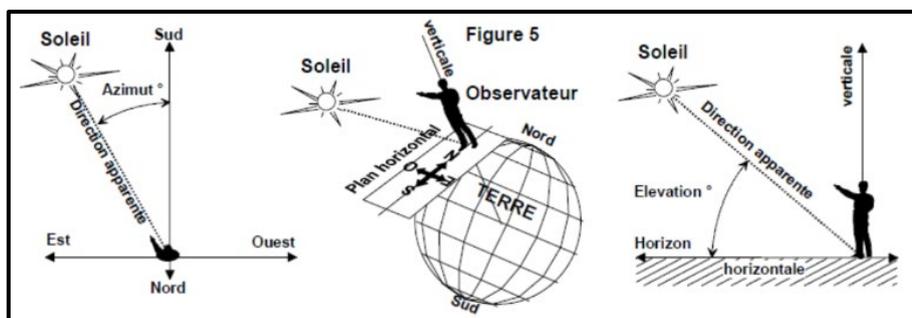


Figure 27: Représentation de la latitude (hauteur) angulaire et l'azimut (Source : (BRAHAMI, 2018))

Le système photovoltaïque vise à orienter en temps réel les capteurs vers le soleil, pour placer le panneau photovoltaïque et de maximiser son rendement dans une position optimale par rapport à l'incidence du rayonnement solaire. Il convient de prêter une attention toute particulière à :

- **L'orientation de l'installation du panneau photovoltaïque**

Les modules doivent être orientés vers le Sud pour les sites situés dans l'hémisphère Nord et vers le Nord pour les sites situés dans l'hémisphère Sud.

- **L'inclinaison du panneau photovoltaïque**

Pour que les modules produisent un maximum d'énergie, il faut que leur surface soit perpendiculaire aux rayons solaires. On doit donc incliner les modules pour qu'ils soient face au soleil. La valeur d'inclinaison correspond à l'angle que font les modules avec l'horizontale. Comme il est difficile de modifier plusieurs fois au cours de l'année l'inclinaison des modules, on choisit généralement une valeur moyenne pour toute l'année (BRAHAMI, 2018).

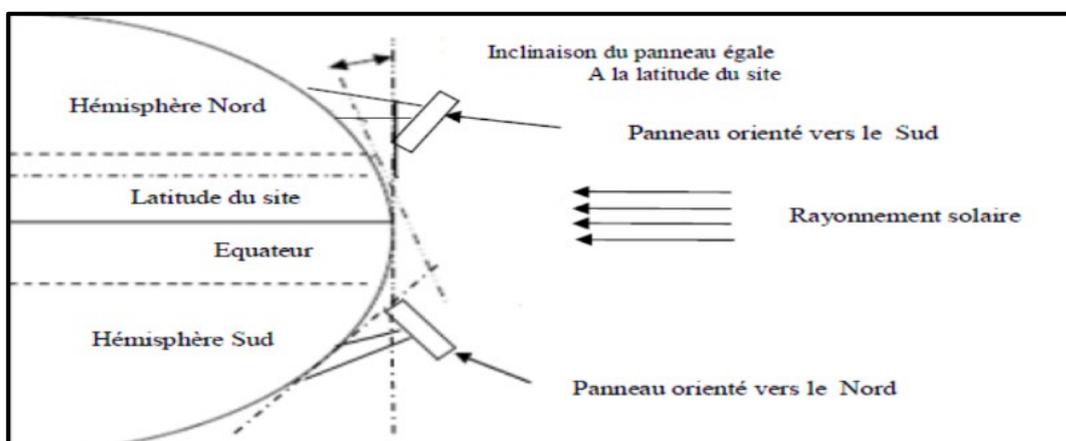


Figure 28: *Orientation des panneaux solaires (Source : (BRAHAMI, 2018))*

b. Mode de fonctionnement

Les différentes techniques d'intégration architecturale des modules photovoltaïques dans le bâtiment sont l'intégration en toiture et en façade, les serres photovoltaïques. Les différents schémas d'intégration des modules sont élaborés selon le type et l'orientation du bâtiment. Ainsi, les pertes de captation de l'éclairage solaire varient selon l'orientation des façades et les inclinaisons : la position horizontale donne un bon résultat annuel par rapport à la position

optimale (inclinaison à la latitude du site), la position verticale est moins efficace (KARAMOSTEFA KHELIL, 2008).

▪ **Intégration en toiture**

Les différents types d'intégration des modules en toiture sont les suivantes :

- La toiture plane à l'avantage de l'accès facile permettant de monter les modules sur de simples structures ou piliers préfabriqués ;
- La toiture inclinée peut être conçue avec l'angle adéquat.
- La structure en sheds ou encore dite en dents de scies est souvent d'orientation vers le sud.

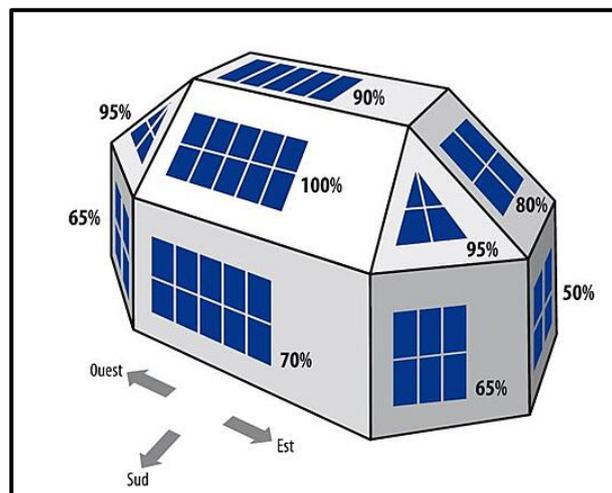


Figure 29: *Distribution des rayonnements solaires recu sur les façades et le toit d'un bâtiment*
(Source : blog.solorea.com)

▪ **Intégration en façades**

Aujourd'hui, le domaine des énergies renouvelables, a innové des différentes technologies de cellules photovoltaïques à appliquer en façade.

- **Le bardage solaire :** le bardage est une solution esthétique qui permet également d'isoler et protéger le bâtiment par des modules photovoltaïques en revêtement des façades, et en assurant un rôle protecteur et isolant, pour les murs extérieurs.
- **Le vitrage solaire photovoltaïque :** le verre solaire affiche un aspect transparent légèrement fumé. Ces verres sont capables de modifier le degré de transparence en fonction de la luminosité extérieure. Ils permettent ainsi de réguler la température intérieure d'un bâtiment. À la fois discret et esthétique, le vitrage solaire

photovoltaïque permet d'alimenter un éclairage LED et peut couvrir de grandes surfaces.

- **Le mur rideau solaire** : composé d'une ou plusieurs parois, le mur-rideau photovoltaïque se différencie d'une fenêtre classique avec des cellules bien visibles. Elles prennent néanmoins des formes décoratives qui valorisent le bâtiment tout en permettant la revente d'électricité (**Fig.30**)⁵⁵.



Figure 30: Mur rideau solaire (Source : batiadvisor.fr)

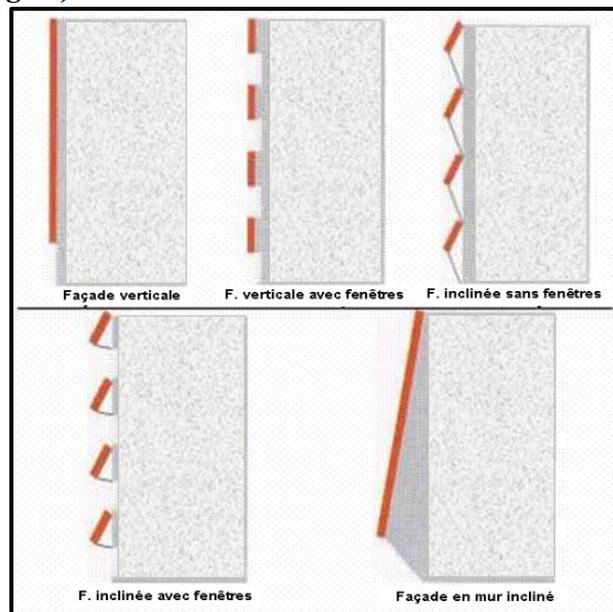


Figure 31: Les types d'intégration des panneaux photovoltaïques en façades des bâtiments (Source : (KARAMOSTEFA KHELIL, 2008))

B. Le système géothermique (Géostructure thermo-énergétique)

Dans un monde où les besoins énergétiques n'arrêtent pas de croître et où la recherche de sources d'énergie vertes, locales et renouvelables devient de plus en plus importante, les géostructures énergétiques trouvent parfaitement leur place. Elles représentent une alternative innovante pour l'efficiéce énergetique des bâtiments.

⁵⁵ <https://batiadvisor.fr/facades-photovoltaïques/>

Les géostructures énergétiques correspondent à une application moderne des systèmes géothermiques, avec le gros avantage de réduire les coûts initiaux d'installation par rapport aux systèmes anciens. Les géostructures, c'est-à-dire les structures en contact avec le sol comme les fondations, les parois de soutènement et les revêtements de tunnels, peuvent être utilisées pour échanger de la chaleur avec le sol. Plus précisément, les géostructures concernées sont soit des pieux pour les fondations profondes soit des murs de soutènement ou des parois ancrées ou moulées dans le sol soit encore les voussoirs de soutènement des tunnels. L'échange de chaleur entre le sol et ces structures en béton est assuré par un système de tubes disposés à l'intérieur de la structure et au sein duquel circule un fluide caloporteur⁵⁶.

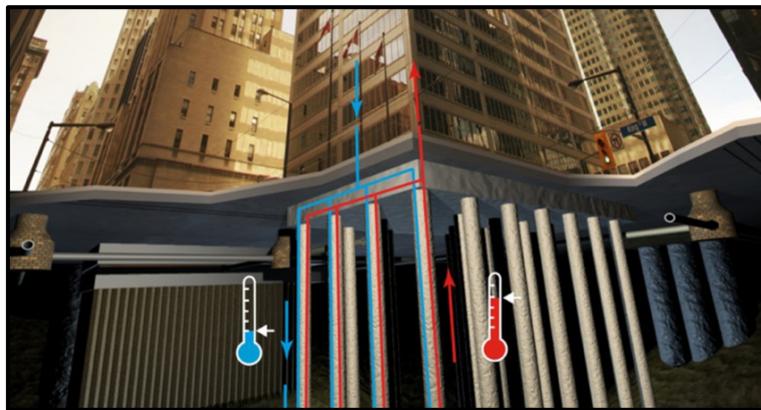


Figure 32: *Géostructure thermo-énergétique*
(Source : www.encyclopedie-environnement.org)

a. Principe

Le principe en est simple : exploiter l'énergie thermique naturellement présente dans le sol (La Terre comme machine thermique) grâce à des ouvrages en contact avec celui-ci (fondations d'immeubles, parkings, etc.). Dès quelques mètres de profondeur, la température du sol n'est plus affectée par les conditions extérieures et leurs variations saisonnières : à partir d'une profondeur donnée, elle reste constante. Il est donc possible d'exploiter cette énergie tout au long de l'année, quels que soient les caprices de la météo et ce de manière durable⁵⁷.

Le principe consiste à mettre en place un réseau de tuyaux à l'intérieur des cages d'armatures métalliques présentes dans la structure en béton. Un fluide caloporteur, qui circule dans le réseau de tuyaux, échange de la chaleur avec le sol à travers le béton. Une pompe à

⁵⁶ <https://www.encyclopedie-environnement.org/sol/geothermie-source-energie-verte-batiments/>

⁵⁷ <https://www.espazium.ch/fr/actualites/les-geostructures-energetiques-une-energie-renouvelable-sous-nos-pieds>

chaleur (PACg) adapte la température provenant du sol à celle nécessaire pour chauffer ou refroidir les bâtiments (*Fig.33*).

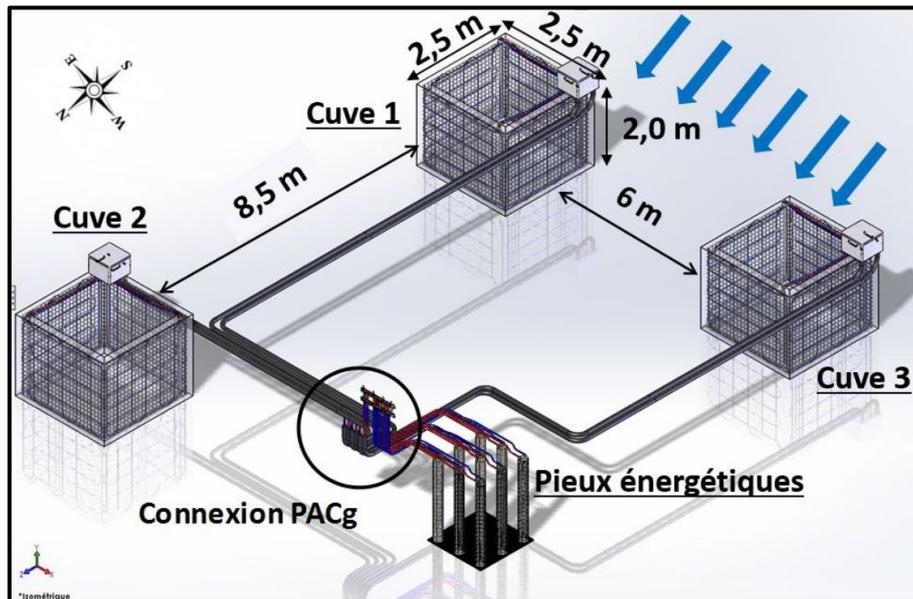


Figure 33: Un exemple de configuration des géostructures thermiques dans un projet (Source : (DELERABLÉE, 2019))

Le principe est celui de la géothermie superficielle : grâce au fait que la température du sous-sol reste constante tout au long de l'année, cette température sera supérieure à celle de l'air externe en hiver et inférieure en été. Cette différence de température permet donc d'extraire de la chaleur du sol pendant l'hiver (pour chauffer le bâtiment appareillé) et d'en injecter pendant l'été (pour refroidir ce bâtiment). Pour adapter la température provenant des échangeurs à celle nécessaire pour chauffer ou refroidir les bâtiments, ces systèmes sont connectés à une pompe à chaleur⁵⁸.

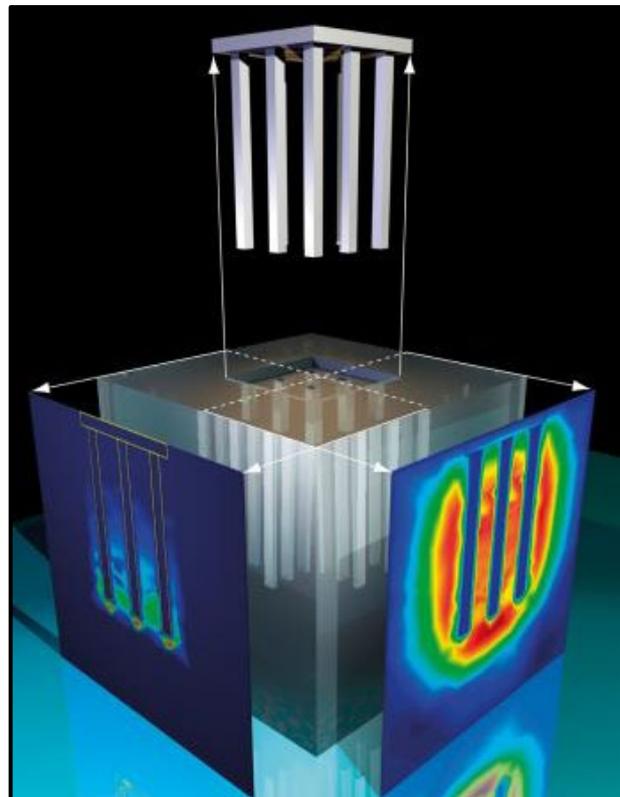


Figure 34: La Terre comme machine thermique (Source : www.espazium.ch)

⁵⁸ <https://www.encyclopedie-environnement.org/sol/geothermie-source-energie-verte-batiments/>

b. Mode de fonctionnement

Le système peut à priori être utilisé à la fois pour chauffer et refroidir les bâtiments (mode double) ainsi qu'uniquement pour chauffer ou uniquement pour refroidir (mode simple). Le choix du mode de fonctionnement dépend, entre autres, des conditions locales du souterrain.

- Dans le cas où l'écoulement de l'eau souterraine est nul ou très faible, une recharge thermique du sol est nécessaire afin d'en garder la température constante sur le long terme. Dans ce cas, il est fortement conseillé d'utiliser le système en mode double afin de garantir son efficacité.
- Si, au contraire, le sol est suffisamment perméable (sable) et soumis à un écoulement d'eau souterraine supérieur à 0.5 ou 1 m par jour, la température du sol se rééquilibre automatiquement et un mode simple est possible.

Sous un autre angle de vue, si dans le premier cas de figure (absence d'écoulement) le stockage saisonnier de chaleur est réalisable, dans le deuxième (écoulement important) ceci n'est pas possible et l'extraction est découplée de l'injection de manière naturelle⁵⁹.

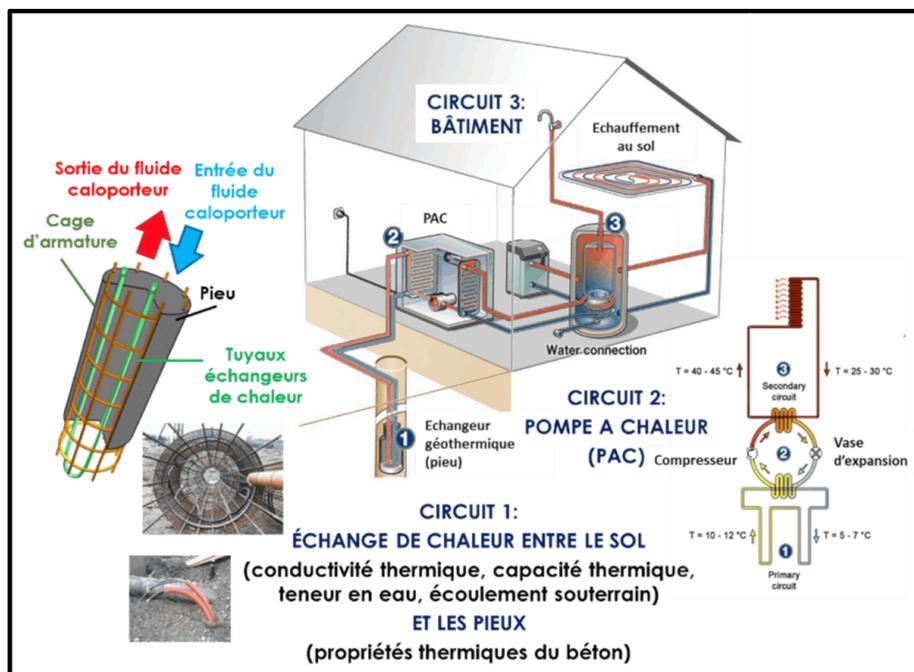


Figure 35: Schéma général des 3 circuits d'échange de chaleur entre le sol et le bâtiment (Source : www.echosciences-grenoble.fr)

⁵⁹ <https://www.encyclopedie-environnement.org/sol/geothermie-source-energie-verte-batiments/>

Conclusion

Dans les bâtiments, l'efficacité énergétique est l'un des plus grands défis à relever, qui peut contribuer à réduire la consommation énergétique et le réchauffement climatique de notre planète, en raison de sa pertinence.

L'Algérie ne s'écarte pas de la situation mondiale en ce qui concerne la consommation énergétique et les émissions de gaz à effet de serre GES. À cet effet, le secteur des bâtiments est l'un des acteurs majeurs de l'intégration du développement durable. Dans ce chapitre, l'attention a été portée principalement sur les stratégies d'efficacité énergétique dites passives concernant l'enveloppe du bâtiment uniquement, et celles actives par les systèmes hybrides qui réalisent l'intégration et la combinaison multi-sources des énergies renouvelables dans le bâtiment.

Pour cela, nous consacrons à mettre en valeur des solutions qui vont être simulées dans les chapitres qui suivent afin d'analyser leur impact sur les besoins énergétiques du bâtiment selon la réglementation thermique et environnementale qui précisent le cadre d'efficacité énergétique des bâtiments.

Chapitre II : Modélisation énergétique des bâtiments

Introduction :

Toute modélisation s'appuie sur des équations, des principes et des hypothèses. Les résultats peuvent être incorrectes, si certaines hypothèses ne sont pas prises en compte dans la simulation ou ne cadrent pas avec la réalité. Il existe de nombreuses méthodes de modélisation du bâtiment qui utilisent différents outils, notamment les logiciels qui nous donnent des différents critères et qui peuvent être utilisés pour classer la performance du bâtiment (Madi, 2015).

Dans ce chapitre, nous revenons sur les intérêts et les paramètres de la modélisation, tout en justifiant par l'outil de simulation énergétique des bâtiments, le logiciel **ArchiWIZARD 2023.0.3_v11.0.3**, qui permet d'effectuer les (besoins de chauffage, consommations énergétiques, confort d'été, intégration des énergies renouvelables, ventilation et qualité de l'air, évaluation des gains solaires utiles...). Il intègre notamment la réglementation thermique et environnementale : la RE 2020, la RT 2012, la RT existant et la norme EN12831.

II.1. Modélisation énergétique et performance des bâtiments

II.1.1. Modélisation énergétique des bâtiments : Éléments de conceptualisation

II.1.1.1. Modélisation

La modélisation est le processus qui amorce la transformation d'une théorie en applications pratiques. Le modèle qui en résulte met en œuvre des règles et des comportements conformes à la théorie qu'il instancie⁶⁰. Selon (Crosnier, 1996), la modélisation peut être définie aussi comme une opération qui consiste à décrire un processus réel au moyen d'un schéma, ou pattern, simplifié dans le but de l'élucider et de construire un modèle se rapprochant le plus possible de ce processus de départ. Le modèle est validé après avoir vérifié son efficacité. L'objectif de cette opération est de l'utiliser dans le but de réaliser de nouveaux processus.

II.1.1.2. Modélisation énergétique des bâtiments (Building Energy Modeling (BEM))

Une modélisation énergétique du bâtiment est un outil de conception qui aide à prédire le rendement énergétique du bâtiment tout au long de sa vie utile. BEM est utilisé pour tous les

⁶⁰

<https://adnethique.org/Glossaire/modelisation#:~:text=La%20mod%C3%A9lisation%20est%20le%20processus%20qui%20amorce%20la,des%20comportements%20conformes%20%C3%A0%20la%20th%C3%A9orie%20qu%20il%20instancie.>

types de projets, y compris : nouveaux bâtiments, rénovations majeures, bâtiments existants, bâtiments éducatifs, centres de santé, établissements commerciaux, et le logement (Al Habibi, 2019).

La modélisation énergétique consiste à utiliser des programmes informatiques pour modéliser la performance énergétique d'un bâtiment entier ou des systèmes d'un bâtiment. Une modélisation de l'ensemble du bâtiment fournit des informations précieuses sur la consommation d'énergie du bâtiment et du système ainsi que sur les coûts d'exploitation. Elle est habituellement effectuée pour une année entière à l'aide des données météorologiques typiques de l'année. Un aspect important de la modélisation de l'ensemble du bâtiment est qu'elle tient compte de l'interaction entre les différents éléments du bâtiment, tels que l'impact de l'éclairage sur les charges de conditionnement de l'espace ou l'impact de l'éclairage de jour sur les charges électriques. On tient également compte de l'incidence des différentes utilisations des bâtiments et des modes d'occupation. En plus de la modélisation de l'ensemble du bâtiment, la performance énergétique des systèmes individuels peut être modélisée pour une condition à court terme ou de conception (Deshmukh, 2013).

Dans le contexte des bâtiments, le BEM est la représentation virtuelle d'un système de bâtiment pour simuler la consommation d'énergie avec un logiciel informatique. Une modélisation énergétique du bâtiment est définie au moyen de divers intrants qui tentent de simuler avec précision un bâtiment dans des conditions réelles, comme les surfaces, les volumes d'espace, les propriétés thermiques des matériaux, les conditions limites et la superposition des composantes des murs. Les flux de travail BEM pour les simulations d'utilisation d'énergie commencent généralement par la modélisation manuelle des bâtiments dans une représentation géométrique 3D simple (bien que les calculs de transfert de chaleur ne reposent pas sur la modélisation 3D) à l'aide d'un logiciel de simulation de l'ensemble du bâtiment, ou en éditant et en exportant les modèles numériques disponibles des logiciels CAO ou BIM vers des outils BEM tels que EnergyPlus ou DOE-2.2 (Alawadhi, 2017).

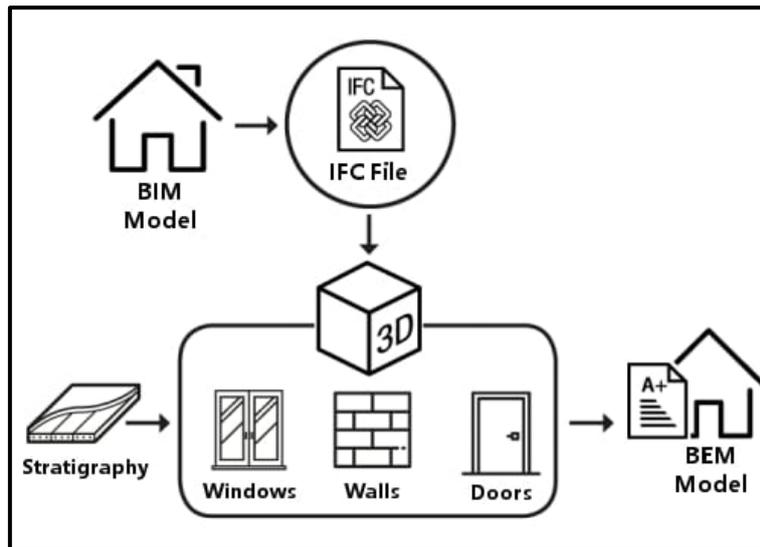


Figure 36: phases d'importation IFC – BIM – BEM (Source: biblus.accasoftware.com)

II.1.2. Les aspects de modélisation des bâtiments

La modélisation du bâtiment intègre trois aspects :

II.1.2.1. Le site

Le site est représenté par des données climatiques horaires (température de l'air extérieur, rayonnement solaire global horizontal, rayonnements solaires diffus horizontal et direct normal) sur une année typique.

II.1.2.2. Le bâti

Chaque construction est représentée à travers sa géométrie, son architecture, ses formes, sa volumétrie, son orientation, ses dimensions. Le système structurel et les éléments constructifs sont également détaillés, ainsi que l'enveloppe du bâtiment avec une description détaillée des éléments constitutifs.

II.1.2.3. L'utilisation de bâtiment

Chaque bâtiment est représenté par ses équipements actifs, occupation, ventilation, protections solaires, etc.... (Dakhia, 2019).

II.1.3. Les avantages de modélisation énergétique des bâtiments

- Explore différentes options et scénarios en termes d'environnement climatique, d'orientation des bâtiments, de matériaux d'enveloppe des bâtiments et de système d'exploitation des bâtiments ;
- Permet aux concepteurs de maximiser les possibilités de conception de bâtiments durables et les aident ainsi à prendre de meilleures décisions pour obtenir un bâtiment

performant, économiser de l'énergie et maximiser le confort des utilisateurs ; (Al Habibi, 2019)

- A pour objectif d'élaborer des outils de représentation de la réalité en vue d'une observation des phénomènes de transferts d'énergie au sein d'un bâtiment ;
- Aide à la prise de décision lorsque diverses mesures d'efficacité énergétique sont envisagées et qui valide la conformité aux exigences de la réglementation.
- Permet la comparaison, la modification et la rotation des différentes options de configuration d'un projet en comparant les performances énergétiques ;
- Offre la possibilité de comparer les différentes alternatives, leur faisabilité, leur pertinence et leur rentabilité à court ou à long terme ;
- Contribue à évaluer les effets du surdimensionnement des systèmes mécaniques par rapport aux besoins internes du bâtiment afin d'éviter les équipements trop gros, ce qui pourrait engendrer des pertes économiques et énergétiques à long terme. (Rahmouni, 2020)

II.1.4. Évolution de modélisation énergétique des bâtiments

La modélisation repose sur des postulats choisis par le développeur en fonction de l'objectif de l'étude et qui fixent les frontières du modèle. La simulation est la résolution du modèle pouvant être réalisée sous différentes contraintes. Six niveaux d'abstraction en fonction de l'objectif de modélisation et de l'environnement de simulation ont été établis : niveaux technique, physique, mathématique, algorithmique, numérique et informatique. Chaque niveau est contraint par les niveaux précédant et suivant, ce qui engendre une interaction forte entre un modèle (déterminé pour un objectif de modélisation précis) et sa simulation numérique (dans un environnement liant langage de programmation et méthode de résolution). Il en résulte un développement croissant d'outils de simulation pour le seul domaine de la simulation énergétique des bâtiments (Blervaque, 2014).

II.2. La simulation thermo-énergétique des bâtiments

II.2.1. Définition

Une simulation thermo-énergétique est une technique qui sert à étudier sur quelques jours voire une année entière, heure par heure, l'évolution de la température au sein d'un bâtiment au fil des saisons. Ceci est généralement fait à l'aide d'un logiciel spécialisé qui vous permet de saisir les données de bâtiment spécifiques à modéliser, telles que la surface, la composition et l'orientation des murs, du toit et du plancher, le type d'occupation, les équipements, l'éclairage utilisé ainsi que les systèmes mécaniques. Ces données sont associées à un fichier

météorologique choisi selon la position géographique du bâtiment et conçu pour les calculs énergétiques, puis le logiciel calcule la consommation d'énergie des équipements et systèmes électromécaniques du bâtiment pour la période étudiée (Rahmouni, 2020).

De façon générale, une simulation peut comparer les effets de diverses mesures d'efficacité énergétique sur un bâtiment nouveau ou existant. On peut ainsi comparer par exemple, les conséquences d'une meilleure isolation versus l'installation de systèmes mécaniques plus performants. Il sera donc possible d'évaluer les économies énergétiques à anticiper ainsi que la rentabilité d'une mesure donnée en tenant compte des effets croisés entre les différents systèmes électromécaniques du bâtiment (Rahmouni, 2020).

II.2.2. Paramètres de la simulation thermo-énergétique

Les paramètres de simulation thermique et environnementale représentent la description générale du contexte du projet d'un bâtiment ou d'un bâtiment existant à étudier. Ces paramètres concernent :

1. Le site d'implantation ;
2. Les consignes d'opérations des équipements technique ;
3. L'intervalle des températures de confort ;
4. La répartition des espaces intérieurs ;
5. Le débit des infiltrations ;
6. La période de chauffage ;
7. La période de climatisation (refroidissement) ;
8. Les systèmes de ventilation, et de renouvellement d'air ;
9. Les systèmes CVC (Chauffage, Ventilation, Climatisation) ;
10. Les sources d'énergie renouvelable. (Dakhia, 2019)

II.2.3. Processus de la simulation thermo-énergétique

- Une description géométrique du bâtiment par saisie de plans, où l'on spécifie les dimensions et orientations des pièces, parois, vitrages, ouvrants...
- Une description de l'environnement proche du bâtiment (bâtiments et végétation à proximité pouvant faire de l'ombrage...) ainsi que les données de localisation correspondantes (latitude, longitude et altitude).
- Une description de l'enveloppe du bâtiment, avec indication de la composition des parois, des vitrages, des portes... et des propriétés physiques (thermiques et optiques) des matériaux qui les constituent.

- Une description des équipements et systèmes CVC (chauffage, ventilation, climatisation, eau chaude sanitaire, éclairage...) à travers les paramètres qui décrivent leur fonctionnement.
- Une description des sollicitations externes (données météorologiques) et internes (scénarios/données de ventilation, occupation...).

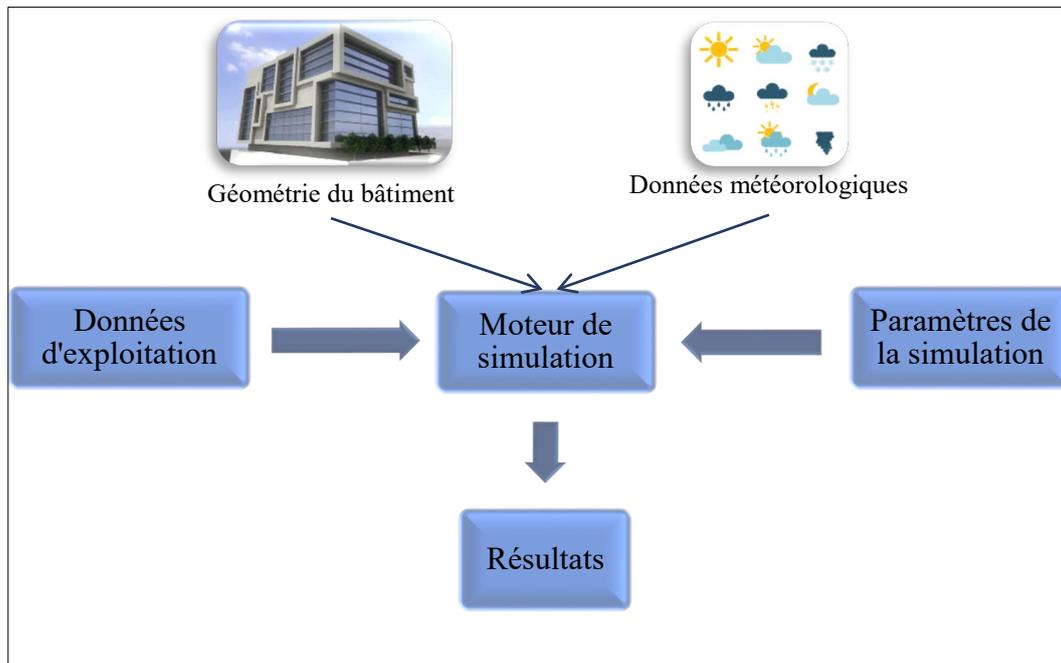


Figure 37: Les données d'entrée pour les outils de simulation
(Source : (Rahmouni, 2020))

II.2.4. Système de la simulation thermo-énergétique

L'objectif des simulations thermo-énergétiques pour les bâtiments est d'optimiser le rendement des bâtiments, d'accroître l'efficacité et de réduire la consommation d'énergie. Les ingénieurs et les architectes utilisent des outils de simulation thermo-énergétique pour simuler la performance énergétique des bâtiments. En fournissant des renseignements sur le bâtiment, comme les matériaux d'enveloppe du bâtiment, le calendrier d'exploitation, l'emplacement du bâtiment et les caractéristiques climatiques, l'utilisateur de ces outils de simulation peut voir comment les alternatives de conception de bâtiment affectent sa performance énergétique et peut choisir les conceptions les plus efficaces avec un impact environnemental et des coûts d'exploitation plus faibles. Lors de la conception d'un bâtiment écoénergétique ou de l'analyse d'un bâtiment existant à des fins de rénovation, la demande d'énergie devrait être évaluée afin de recommander des mesures pour réduire la consommation d'énergie. Une bonne méthode

pour évaluer les demandes d'énergie des bâtiments est l'utilisation de simulations thermo-énergétiques. De plus, la plupart des codes du bâtiment actuels exigent des estimations de la demande d'énergie qui ne peuvent être obtenues que par des simulations thermo-énergétiques. L'analyse de la consommation d'énergie des bâtiments est difficile parce qu'elle exige l'élaboration de modèles mathématiques ou physiques qui caractérisent les interactions à l'intérieur du bâtiment (les caractéristiques de construction et le système de climatisation) et à l'extérieur du bâtiment. (Climatologie et infiltrations d'air). En outre, il est nécessaire d'inclure des informations sur les critères de performance du bâtiment (par exemple, la température et l'humidité des espaces). Il est donc nécessaire de comprendre certains principes de base de la simulation énergétique des bâtiments. Premièrement, tout résultat de simulation ne peut être aussi précis que les données d'entrée pour la simulation. Comme la montre (**Fig.37**), les intrants sont principalement liés à la géométrie du bâtiment, et aux données météorologiques et de localisation, au fonctionnement et aux calendriers, ainsi qu'aux paramètres de simulation particuliers (Al Habibi, 2019).

II.2.5. Principe de la simulation thermo-énergétique

La simulation thermique dynamique s'appuie sur les données suivantes :

- La position géographique du site et l'orientation du bâtiment ;
- La météo locale ;
- Le concept architectural ;
- L'occupation des pièces et le comportement des usagers ;
- Les masques intégrés du bâtiment ;
- Les masques lointains ou proches de son environnement ;
- Les caractéristiques thermiques de ses parois et de ses vitrages ;
- Les sources de chaleur internes liées à son utilisation théorique.

Il est nécessaire de tenir compte les caractéristiques thermiques et hygrothermiques des parois constituant l'enveloppe du bâtiment ainsi que les parois internes de séparation entre les locaux. Ces caractéristiques sont :

- λ : conductivité thermique
- ρ : masse volumique
- C_p : capacité calorifique

Ces caractéristiques sont décrites pour chaque couche de chaque paroi qui est ainsi définie : c'est l'ensemble de ces paramètres qui influe sur le bilan qui est fait de façon dynamique. Elle permet de connaître :

- Les températures ;
- Les besoins de chauffage et de climatisation ;
- Les apports solaires ;
- La consommation finale (Besbas, 2019).

II.2.6. Objectifs de la simulation thermo-énergétique

La simulation thermo-énergétique est utilisée pour concevoir un bâtiment et formuler ces composants pour :

- Optimiser le concept architectural (optimisation des épaisseurs, choix du système de l'isolation et choix des isolants, dimensionnement des protections solaires, choix du système constructif, minimisation du besoin thermique d'un bâtiment...);
- Choisir l'orientation optimale ;
- Evaluer les besoins énergétiques ;
- Tester différentes solutions techniques à la recherche de l'optimum entre performances et investissements.

II.2.7. Les outils de simulation thermo-énergétique des bâtiments

Aussi, les outils de simulation énergétique permettent d'évaluer les besoins énergétiques et le niveau de confort thermique des bâtiments de manière plus détaillée que les méthodes simplifiées, basées sur des bilans mensuels (ou écobilans) (Dakhia, 2019).

Un grand nombre d'outils logiciels sont disponibles pour prédire les performances énergétiques et de confort des bâtiments. Chaque programme possède des caractéristiques uniques en termes de résolution de modélisation, d'algorithmes de solution, public cible visé, options de modélisation, facilité d'utilisation par rapport à la flexibilité, etc... (Rahmouni, 2020).

Avec les logiciels de simulation, le calcul des besoins thermiques et de la performance énergétique d'un bâtiment en exploitation, est effectué sur des courts de temps (généralement une heure) et de façon « dynamique ». Donc, ces logiciels permettent de simuler le comportement thermique et énergétique du bâtiment, en estimant de façon fiable ses consommations prévisionnelles. En revanche, il faut prendre en considérations les échanges thermiques et énergétiques avec l'environnement ; ils permettent alors de calculer la

performance thermique de l'enveloppe du bâtiment et de faire un bilan énergétique global (Besbas, 2019). Les plus souvent logiciels de simulations les plus utilisés sont : **Pleiades**, **TRNsys**, **EnergyPlus**, **DesignBuilder**, **Archiwizard**...etc.

II.2.7.1. Pleiades 2022

Pleiades est un logiciel complet pour l'écoconception des bâtiments et des quartiers. À partir d'une saisie graphique ou d'une maquette numérique, différents types de calculs sont accessibles. Le logiciel **Pleiades** s'intègre dans un processus BIM de niveau 2a (import de maquette numérique aux formats gbXML et IFC)⁶¹.

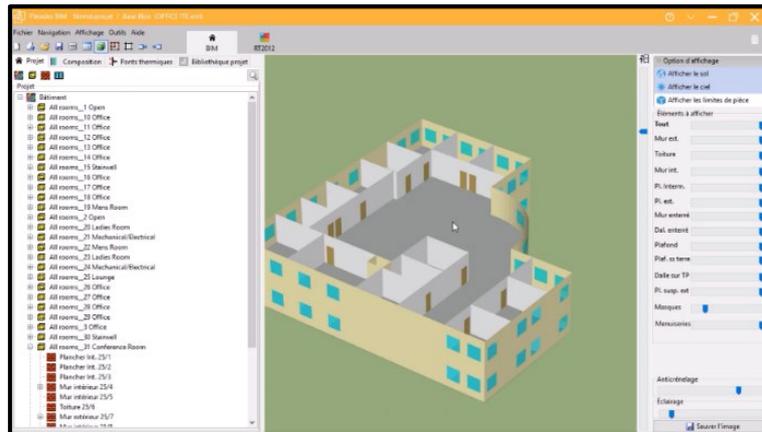


Figure 38: Interface de logiciel Pleiades BIM (Source : www.izuba.fr)

II.2.7.2. TRNSYS 18

TRNSYS (Transient Systems Simulation Program) est un programme de simulation de systèmes transitoires avec une structure modulaire. Il reconnaît un langage de description du système dans lequel l'utilisateur spécifie les composants qui constituent le système et la manière dont ils sont connectés⁶².

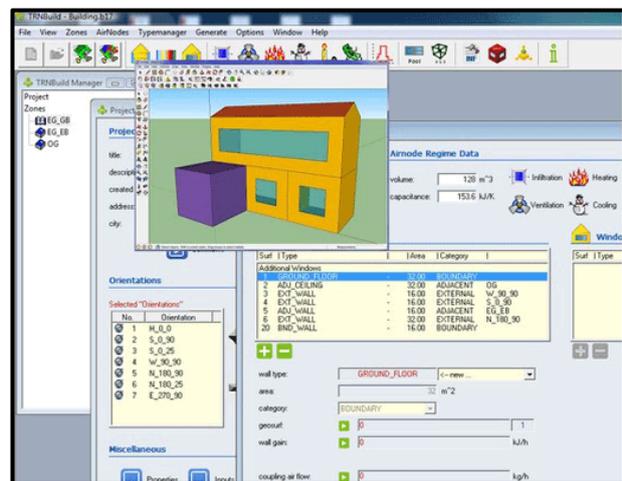


Figure 39: Interface TRNBuild de logiciel TRNSYS (Source : www.trnsys.com)

⁶¹ <https://www.izuba.fr/logiciels/outils-logiciels/>

⁶² <https://trnsys.org/>

II.2.7.3. EnergyPlus

EnergyPlus est un programme de simulation thermique et énergétique des bâtiments développé par le DOE (Department of Energy, États-Unis) permettant de réaliser des études de demande et de consommation énergétique⁶³. Le module de simulation des systèmes d'Energy Plus calcule la charge de chauffage/refroidissement et la réponse du système (Rahmouni, 2020).

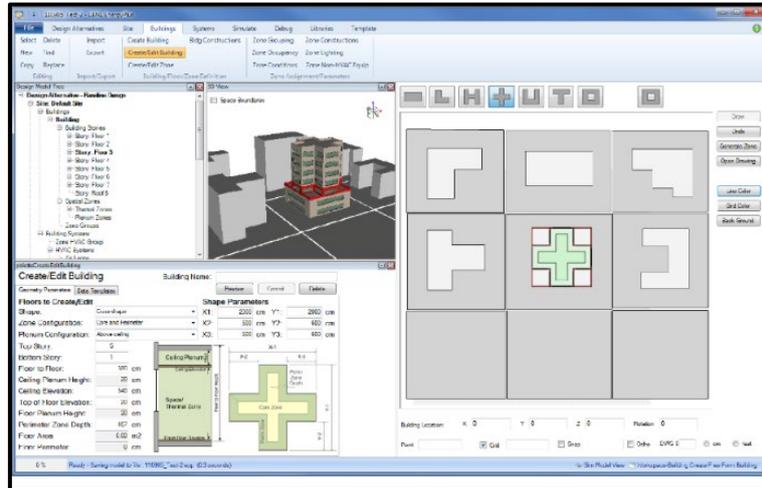


Figure 40: Interface de logiciel EnergyPlus
(Source : (See, et al., 2011))

II.2.7.4. DesignBuilder

DesignBuilder est un logiciel de simulation dynamique, possédant une interface graphique offrant de nombreuses fonctionnalités. La simulation énergétique de DesignBuilder basée sur le moteur EnergyPlus, intégrée et couplée à la simulation thermique, permet de calculer les flux d'air et la répartition des températures dans un local ou autour de bâtiments⁶⁴.

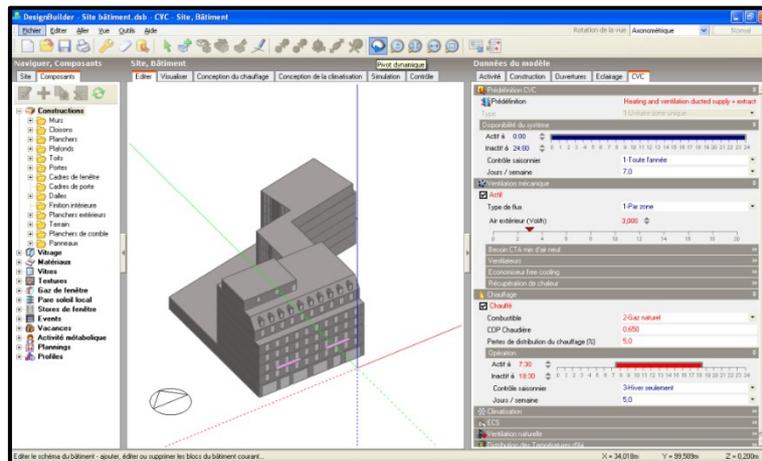


Figure 41: Interface de logiciel DesignBuilder
(Source : batisim.net)

⁶³ <http://exportation-a-energyplus.cype.fr/>

⁶⁴ <https://batisim.net/designbuilder.html>

II.2.7.5. ArchiWIZARD 2023.0.3_v11.0.3

II.2.7.5.1. Présentation de logiciel

ArchiWIZARD est un logiciel de simulation dédié à l'optimisation et la validation réglementaire de la performance énergétique et environnementale du bâtiment pour les architectes et les ingénieurs thermiciens. Il intègre la réglementation thermique et environnementale française comme la RE 2020, la RT 2012, la RT existant, ou EN12831. ArchiWIZARD rassemble tous les outils pour la conception de bâtiments à haute performance énergétique et environnementale ou de rénovation de bâtiments existants. Il permet d'analyser le cycle de vie du bâtiment pour calculer ses performances énergétiques en lien avec la maquette numérique/ BIM⁶⁵.

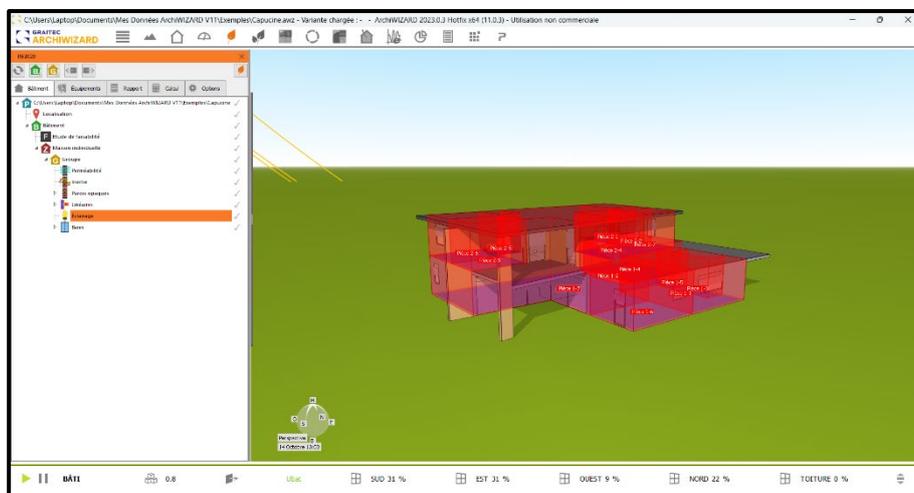


Figure 42: Interface de logiciel Graitec_ArchiWizard_2023.0.3_v11.0.3 (Source : Logiciel ArchiWIZARD 2023)

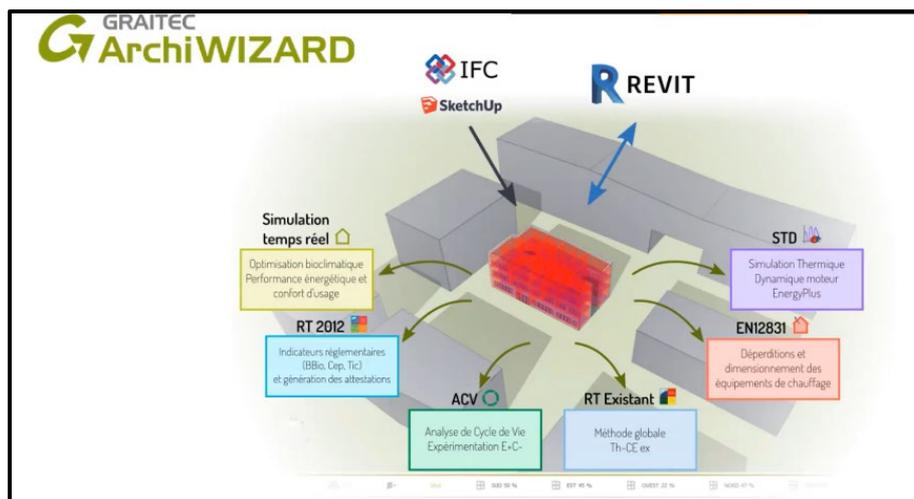


Figure 43: les outils de logiciel ArchiWIZARD 2023 (Source : graitec.com)

⁶⁵<https://graitec.com/fr/products/archiwizard/#:~:text=ArchiWIZARD%20est%20un%20logiciel%20d%C3%A9di%C3%A9%20%C3%A0%20l'E2%80%99optimisation%20et,RE%202020%2C%20RT%202012%20et%20RT%20existant%2C%20EN12831.>

II.2.7.5.2. Les avantages d'ArchiWIZARD 2023

Archiwizard est intégré directement dans le logiciel Autodesk Revit® et sa connexion optimisée à tous les types de maquettes numériques (IFC) facilite les workflows BIM et une prise en main rapide pour obtenir un modèle énergétique selon les normes RE2020 et RT 2012.

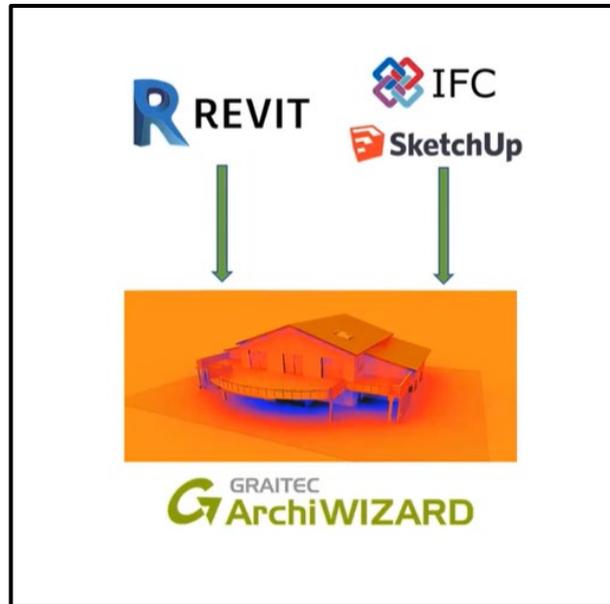


Figure 44: les deux modes d'import de maquette 3D de bâtiment dans ArchiWIZARD
(Source : graitec.com)

A. RT2012 et RE2020

- Optimiser et valider la performance de projet selon la RT2012 ou la dernière réglementation énergétique RE2020 ;
- Générer tous les documents réglementaires ainsi que des rapports détaillés pour la description exhaustive des éléments du projet ;
- Obtenir tout ceci de manière rapide et aisée grâce à l'exploitation automatique de la maquette numérique et de nombreuses solutions pré paramétrées.

B. Conception Bioclimatique et analyses solaires

- Estimer les besoins énergétiques et le confort des occupants rapidement dès les premières phases de projet grâce au moteur de simulation thermique simplifié donnant des résultats en temps réels ;
- Optimiser l'enveloppe mais aussi les apports solaires et obtenue de nombreux rendus graphiques et cartes d'éclairages (FLJ, éclairage).

C. Analyse de Cycle de vie du produit (ACV)

- Réaliser l'analyse de cycle de vie de votre projet notamment pour la RE2020 mais aussi pour tout autre label visé ;

- Récupérer automatiquement les quantitatifs et les informations d'étude énergétique issue de la maquette numérique ;
- Compléter et optimiser le "bilan carbone" grâce à ses outils exploitables et modifiables directement avec tout type de tableur.

D. Réglementation thermique des bâtiments existants RT

- Orienter efficacement les choix de rénovation ;
- Démontrer l'impact des différents scénarios grâce aux calculs en temps réels, valider réglementairement et intégrer les différentes variantes à l'étude afin de répondre aux objectifs de la réglementation pour l'existant (RT-ex).

E. Calcul des déperditions calorifiques EN 12831

- Calculer les déperditions de bâtiment selon la norme NF EN 12831 afin de dimensionner les systèmes de production de chaleur ainsi que les émetteurs pièce par pièce. Grâce à l'exploitation de la maquette numérique et la conservation des informations du modèle énergétique utilisé pour d'autres études (RT2012, RE2020, STD, RTex), le dimensionnement des équipements de chauffage se fait presque instantanément.

F. Simulation thermique dynamique (STD)

- Simuler le comportement du bâtiment dans son environnement en tenant compte de nombreux éléments (scénarios météorologique, scénarios internes, enveloppe du bâtiment, apports solaires...).
- Permet une mise en données rapide et automatisée pour l'utilisation du puissant moteur de simulations thermique dynamique (STD) EnergyPlus.

II.2.7.5.3. Les principales fonctionnalités d'ArchiWIZARD 2023

A. La maquette numérique au service des études réglementaires RE2020/RT2012

ArchiWIZARD est approuvé par le Centre Scientifique et Technique du Bâtiment (CSTB) et la Direction de l'Habitat, de l'Urbanisme et des Paysages (DHUP) pour l'application de la RE2020. L'ergonomie incomparable de la maquette thermique ArchiWIZARD associée au moteur de calcul RE2020 officiel RT 2012 permet une productivité optimale pour la réalisation des études réglementaires du permis de construire à l'achèvement des travaux :

- Renseignement automatique de l'intégralité des paramètres relatifs au bâti et à l'environnement (métrés, masques solaires, parois, baies, ponts thermiques en accord avec les règles Th-U, Th-S et Th-L) ;

- Génération du Rapport Standardisé d'Etude Thermique (RSEE) pour le dépôt de permis de construire et pour l'achèvement des travaux ainsi que de rapports d'étude détaillés ;
- Bibliothèque d'équipements génériques, de solutions complètes pré paramétrées et Titres V ;
- Contrôle de la conformité aux labels (Effinergie+,...);
- Génération des résultats nécessaires à l'étude de faisabilité en approvisionnement en énergies.

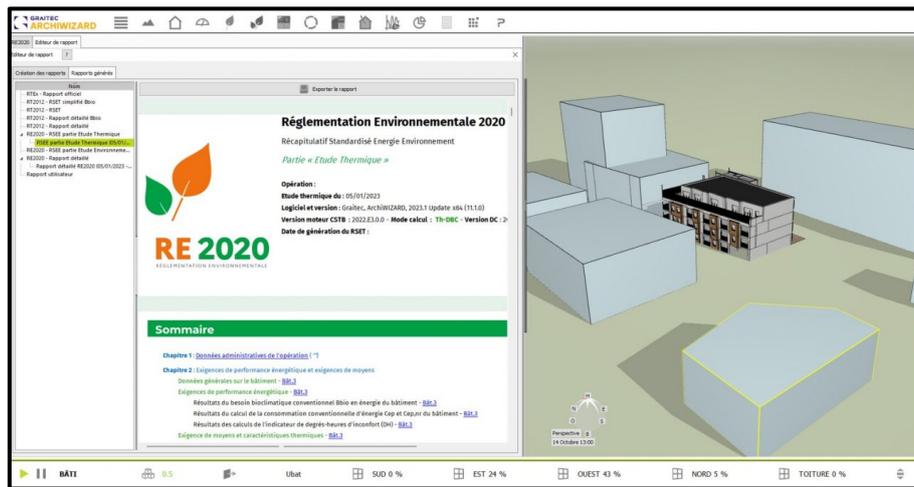


Figure 45: La maquette numérique au service des études réglementaires RE2020/RT2012 (Source : graittec.com)

B. Réalisation de conception Bioclimatique et d'analyses solaires agiles et en temps réel

ArchiWIZARD, permet l'exploitation directe de la maquette numérique dans le logiciel, dès les premières phases du projet, la modification d'enveloppe, l'ajoute des vitrages ou des protections solaires rapidement en exploitant les bibliothèques de logiciel contenant des centaines d'éléments provenant des industriels. Ainsi, permet de constater en temps réels l'impact de chacune de modifications grâce à son moteur de simulation thermique. Analyse et optimise les apports solaires grâce à ses outils d'analyse solaire qui produisent des rendus fidèles grâce à l'exploitation de la maquette numériques dans son intégrité. Permet de l'étude d'éclairage naturel des espaces intérieurs grâce à ses cartes d'éclairage automatique en utilisant la puissance du ray tracing.

- Estimation en temps réels de nombreux indicateurs de besoins énergétiques, de confort lumineux... de manière rapide grâce à la maquette numérique et le moteur de simulation thermique.

- Analyse solaire et cartes d'éclairages (FLJ, éclairement) aux rendus 3D visuellement fidèles à la réalité.

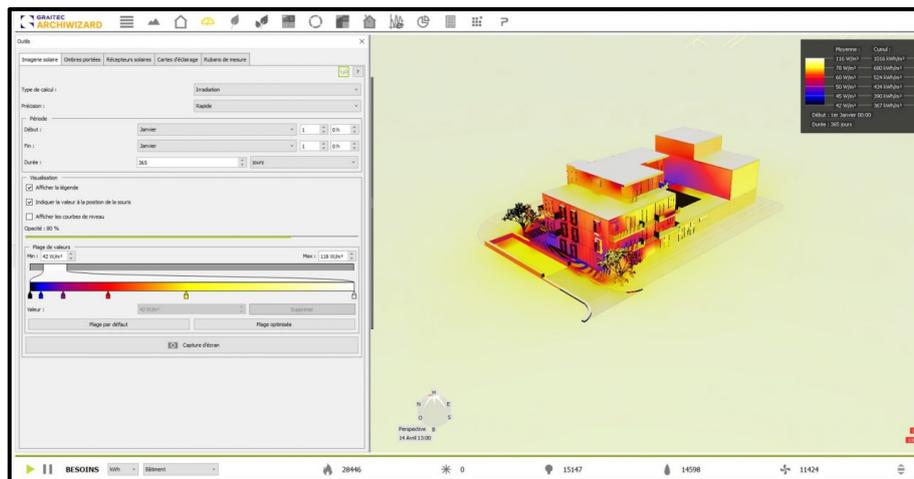


Figure 46: Réalisation de conception Bioclimatique et d'analyses solaires agiles et en temps réel (Source : graitec.com)

C. ACV – Une analyse de Cycle de Vie et expérimentation E+C- optimisée

ArchiWIZARD accompagne les utilisateurs dans la réglementation environnementale RE 2020 en intégrant un module d'Analyse de Cycle de Vie. L'outil connecté à la base INIES permet de mieux en exploiter les données. Optimise le "bilan carbone" en efficacité grâce à la connexion au modèle énergétique ou à l'exploitation des données dans un tableau.

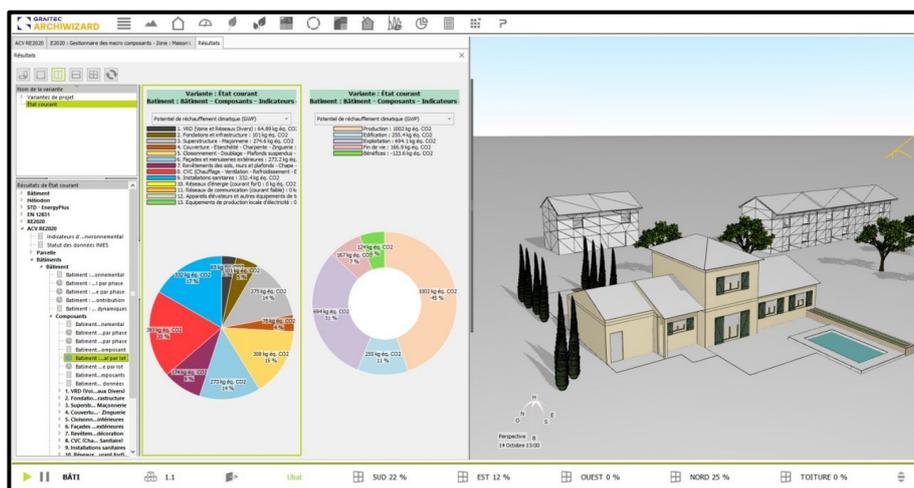


Figure 47: ACV – Une analyse de Cycle de Vie et expérimentation E+C- optimisée (Source : graitec.com)

- Association de données environnementales au modèle énergétique (matériaux et compositions de baies), Il est possible d'associer des données environnementales provenant de la base INIES ou de fiches configurées aux matériaux et compositions de baies pour établir les quantitatifs

- Quantitatifs automatisés : Création de macro composants pour l'ensemble des parois opaques et vitrées du modèle énergétique en prenant en compte les compositions et matériaux utilisés
- L'export et import des quantitatifs au format CSV : exploitable directement et facilite la modification ou l'ajout de composants en retour.

D. Applique de la réglementation thermique des bâtiments existants RT

Les nombreux outils et modules d'ArchiWIZARD permettent de vérifier et de comparer la pertinence des différents scénarios de rénovation de projet et d'assurer une amélioration significative de la performance énergétique. Et orienter efficacement les choix de rénovation et démontrez l'impact des différents scénarios grâce à la puissance du temps réel et des fonctionnalités graphiques associées à la maquette 3D.

Assure la vérification de respect des garde-fous de la RT par élément sur l'enveloppe du projet (Ubât, fenêtres, isolation des parois opaques, etc.) grâce au calcul et à la vérification en temps réel des performances. La catégorisation des éléments associés à la maquette numérique fait gagner un temps précieux.

Valider la pertinence des choix effectués en termes de confort thermique des occupants grâce à la simulation temps réel horaire et à la simulation thermique dynamique, mais aussi de confort lumineux grâce à la puissance du raytracing.

Le module RT Existant est dédié à la validation réglementaire pour les bâtiments existants. Bénéficiant de la génération automatique d'un maximum d'éléments (mètres, paramètres, etc.) à partir de la maquette BIM et du moteur de calcul officiel Th-CE ex, ArchiWIZARD propose une approche moderne pour valider vos choix en rénovation et leur conformité vis-à-vis de la réglementation thermique en vigueur.

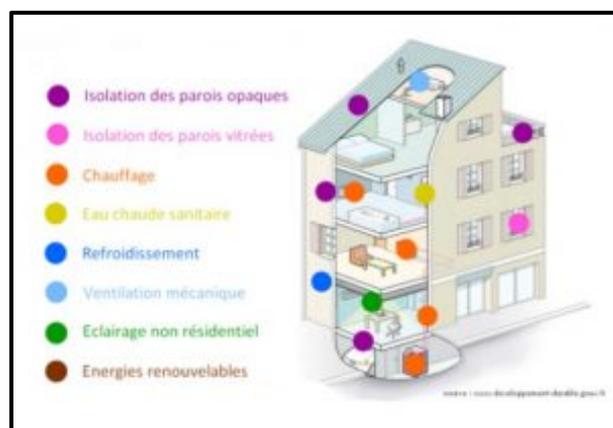


Figure 48: : La réglementation thermique des bâtiments existants RT (Source : graitec.com)

E. EN 12831 – Dimensionnement automatisé des équipements de chauffage EN 12831

Par le calcul des déperditions de bâtiment selon la norme NF EN 12831 afin de dimensionner les systèmes de production de chaleur ainsi que les émetteurs pièce par pièce. Toutes les informations nécessaires au calcul sont déjà saisies, reprises directement de modèle thermique 3D. Les paramètres spécifiques au calcul sont exposés à l'utilisateur et prédéterminés par ArchiWIZARD.

Le module RT Existant est dédié à la validation réglementaire pour les bâtiments existants. Bénéficiant de la génération automatique d'un maximum d'éléments (mètres, paramètres, etc.) à partir de la maquette BIM et du moteur de calcul officiel Th-CE ex, ArchiWIZARD propose une approche moderne pour valider vos choix en rénovation et leur conformité vis-à-vis de la réglementation thermique en vigueur.

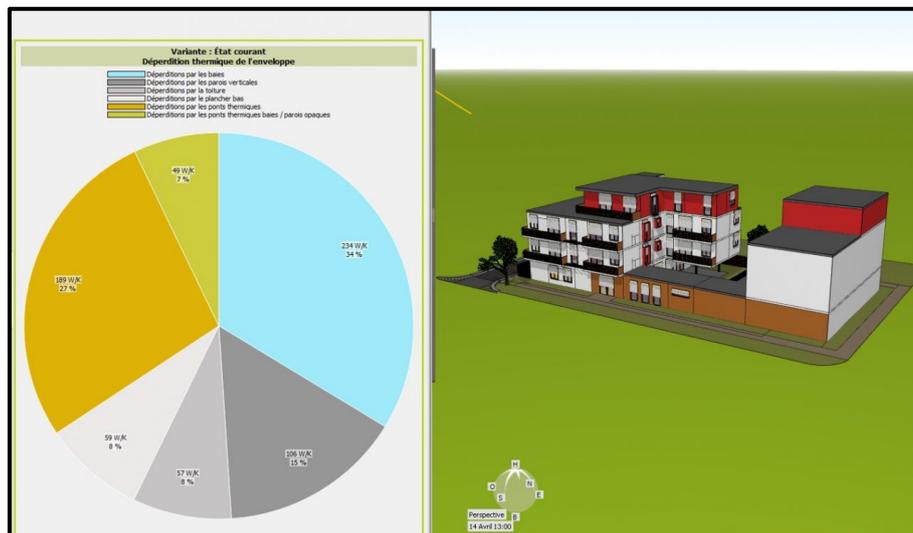


Figure 49: Calcul selon la norme NF EN 12831 (Source : graitec.com)

F. La référence pour la simulation thermique dynamique (STD)

- Simulation Thermique Dynamique depuis la maquette 3D avec EnergyPlus

Le module STD EnergyPlus donne accès à toutes les possibilités nécessaires à la simulation thermique dynamique couvrant l'enveloppe du bâtiment, les phénomènes d'inertie, les vitrages, les protections solaires, et l'analyse du confort des occupants, à partir du même modèle énergétique utilisé pour les simulations bioclimatiques et les calculs réglementaires RT 2012.

EnergyPlus est un moteur de calcul puissant et complet qui permet d'aller plus loin dans la finesse des phénomènes simulés. ArchiWIZARD ouvre de nouveaux horizons avec une mise en données rapide et automatisée de l'ensemble de l'enveloppe du bâtiment et des scénarios horaires de fonctionnement des différentes zones thermiques du projet, ainsi qu'une description

simplifiée des systèmes CVC.

Le module s’accompagne d’un gestionnaire de simulations et variantes, ainsi que d’un viewer de résultats intégré pour exploiter vos simulations en direct dans l’interface du logiciel. ArchiWIZARD produit l’ensemble des fichiers d’entrée (.idf, .epw) et de sortie des simulations EnergyPlus pour une interopérabilité facilitée avec les applications tierces utilisant EnergyPlus⁶⁶.

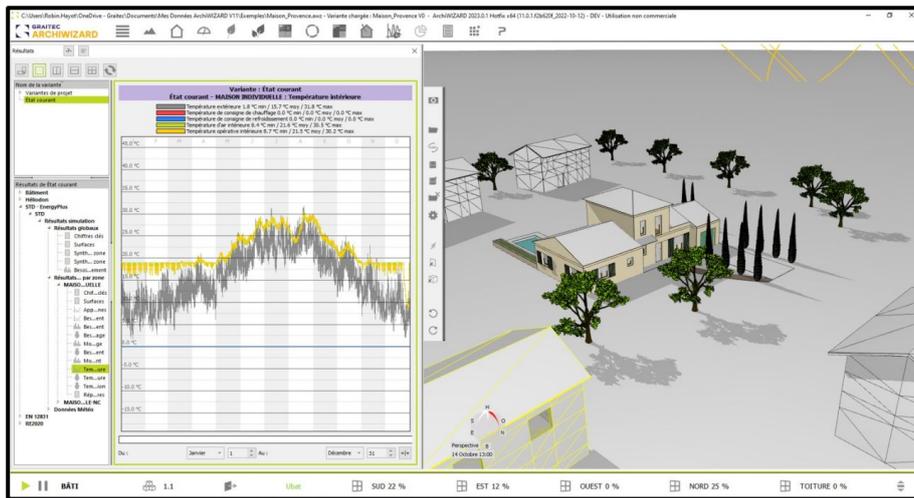


Figure 50: : Simulation thermique dynamique STD (Source : graitec.com)

II.2.7.5.4. La méthodologie de la simulation par le logiciel ArchiWIZARD 2023

A. L’import depuis a maquette numérique BIM / Logiciel de CAO

ArchiWIZARD 2023 existe sous deux versions d’import :

a. Version intégrée dans Autodesk Revit® 2023 (Plug-in)

Par la réalisation des études dans l’environnement Revit à l’aide d’un ruban complet permet de l’accès à toutes les fonctionnalités ArchiWIZARD 2023 : RT 2012, RE2020, norme EN 12381, l’optimisation bioclimatique, le confort visuel, le calcul de déperditions, la STD, l’édition de rapports, les études énergétiques basées sur le modèle analytique Revit, la vue 3D interactive synchronisée avec le modèle Revit, l’utilisation des données du modèle Revit, la synchronisation des données, et enfin l’exploitation des résultats ArchiWIZARD dans les vues Revit.

⁶⁶ <https://graitec.com/fr/products/archiwizard/>

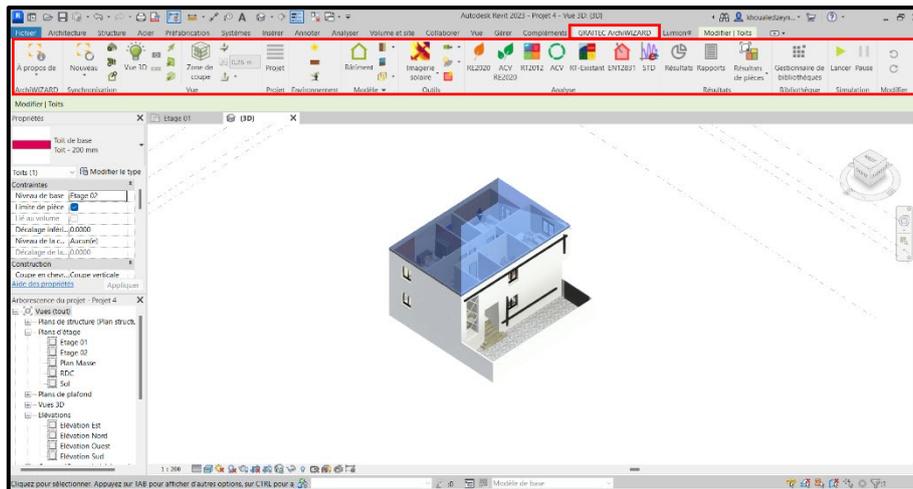


Figure 51: Ruban de GRAITEC ArchiWIZARD 2023 dans l'interface de Revit 2023 (Source : Capture de logiciel Revit 2023 réalisée par Auteur, 2023)

b. Version autonome

Import par analyse géométrique d'une maquette IFC / SketchUp :

1. Lancement d'ArchiWIZARD en cliquant sur l'icône (Fig.52).



Figure 52: Icône d'ArchiWIZARD 2023 (Source : Capture réalisée par Auteur, 2023)

2. Après le lancement d'ArchiWIZARD 2023, en cliquant sur **Ouvrir**, pour procéder à l'ouverture du fichier (modèle 3D) (Fig.53).

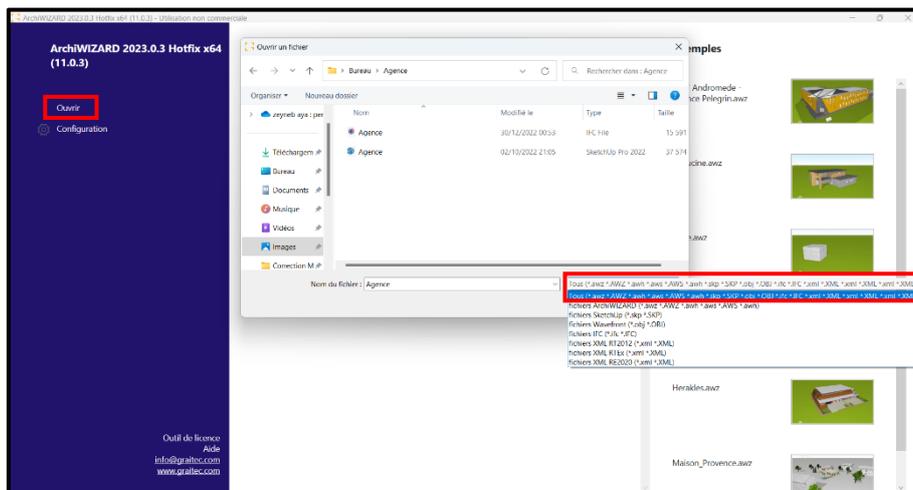


Figure 53: Importation de modèle (Source : Capture de logiciel ArchiWIZARD 2023 réalisée par Auteur, 2023)

3. Lors du premier import du dessin 3D, l'utilisateur est invité à renseigner la localisation du projet. Cette information est importante dans les calculs thermiques, de lumière naturelle, et d'ensoleillement (*Fig.54*).

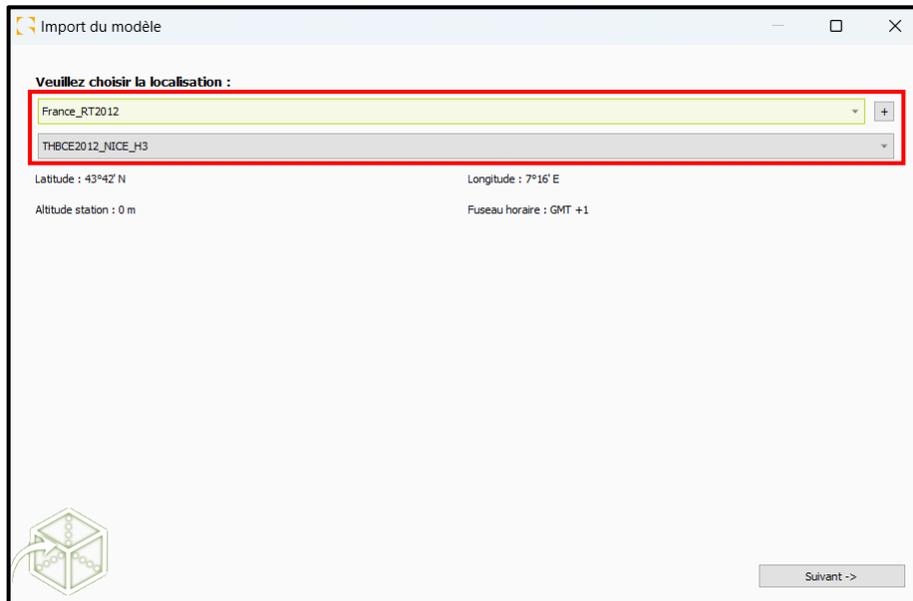


Figure 54: Renseignement de la localisation du projet dans ArchiWIZARD 2023 (Source : Capture de logiciel ArchiWIZARD 2023 réalisée par Auteur, 2023)

4. En sélectionnant une date de construction, ArchiWIZARD affecte automatiquement les paramètres d'usages, des bâtis types, et l'ensemble des paramètres techniques du bâtiments (*Fig.55*).

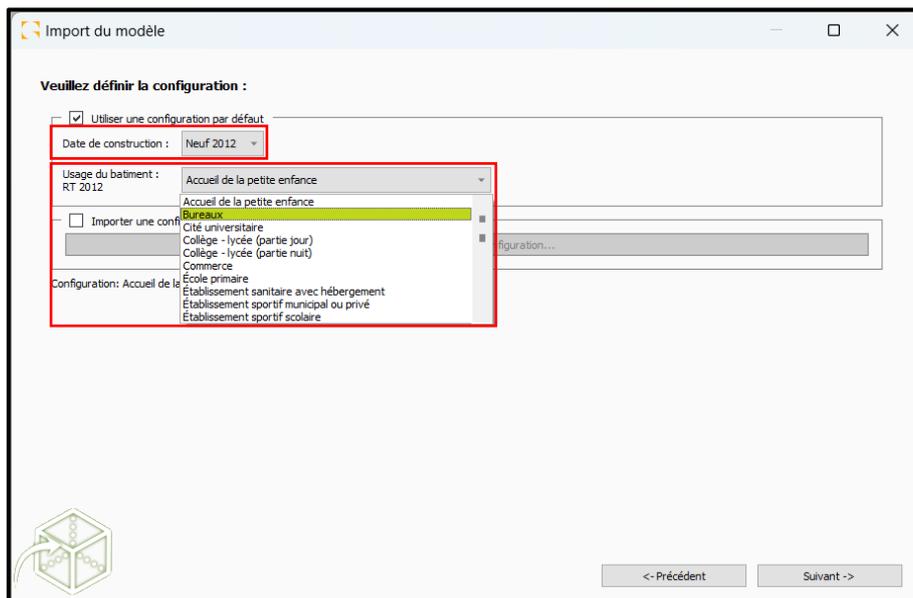


Figure 55: Définir la configuration du projet dans ArchiWIZARD 2023 (Source : Capture de logiciel ArchiWIZARD 2023 réalisée par Auteur, 2023)

ArchiWIZARD offre par défaut des fichiers de configuration pré-établis, qui servent de base à la personnalisation par les utilisateurs.

Un fichier de configuration, c'est :

➤ **Une description du bâti :**

- Les parois opaques (murs, cloisons intérieures, planchers, toitures, ... ;
- Les parois vitrées : les fenêtres, les portes, les murs rideaux, ... ;
- Les ponts thermiques : renseignés automatiquement à partir de la géométrie de la maquette numérique et des matériaux utilisés pour les parois.

➤ **Une description de l'usage du bâtiment (ou de la zone)**

- Les consignes de chauffage et de refroidissement : par exemple 19° en occupation pour le chauffage, 28° pour la climatisation ;
- Des « planning » d'occupation ;
- Une description simplifiée du système de ventilation : simple flux, double flux, échangeur ... ;
- Une description de la qualité de la perméabilité ;
- Des valeurs de débits d'air ;
- Des valeurs d'apports de chaleur par les occupants et les équipements (télévision, ordinateur, équipements de la maison...).

La force d'ArchiWIZARD est de transformer un dessin 3D en une maquette numérique thermique pouvant être exploitée par les moteurs de calculs (RT2012, EnergyPlus, ...). Pour cela :

5. L'utilisateur est invité à suivre les recommandations pour le dessin et pourra ensuite s'assurer de la bonne reconnaissance des éléments au travers de cette interface. En sélectionnant les différents éléments du projet, l'utilisateur peut contrôler et réaffecter leurs affectations selon les catégories : parois opaques, parois vitrées, éléments de cadre de baies ou éléments d'environnement du projet à négliger dans les calculs thermiques (*Fig.56*).

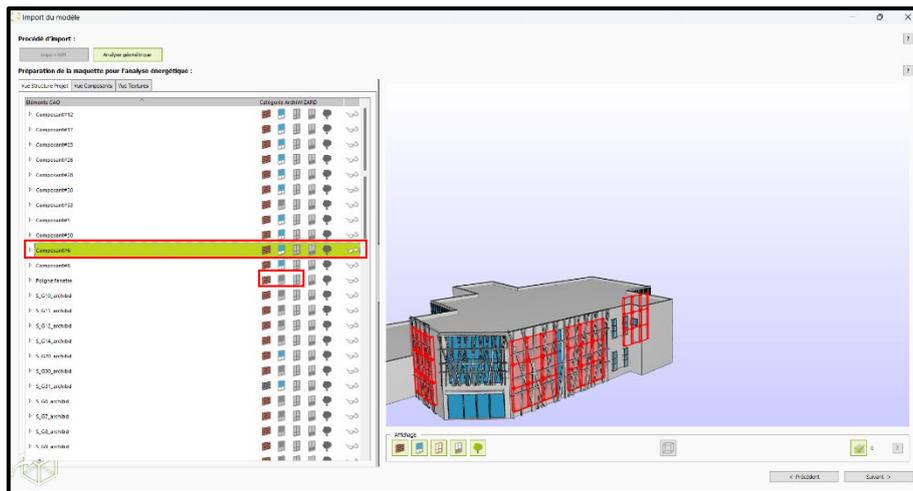


Figure 56: Préparation de la maquette pour l'analyse énergétique - ArchiWIZARD 2023
(Source : Capture de logiciel ArchiWIZARD 2023 réalisée par Auteur, 2023)

6. L'utilisateur est invité à définir l'échelle de la scène (Fig.57).

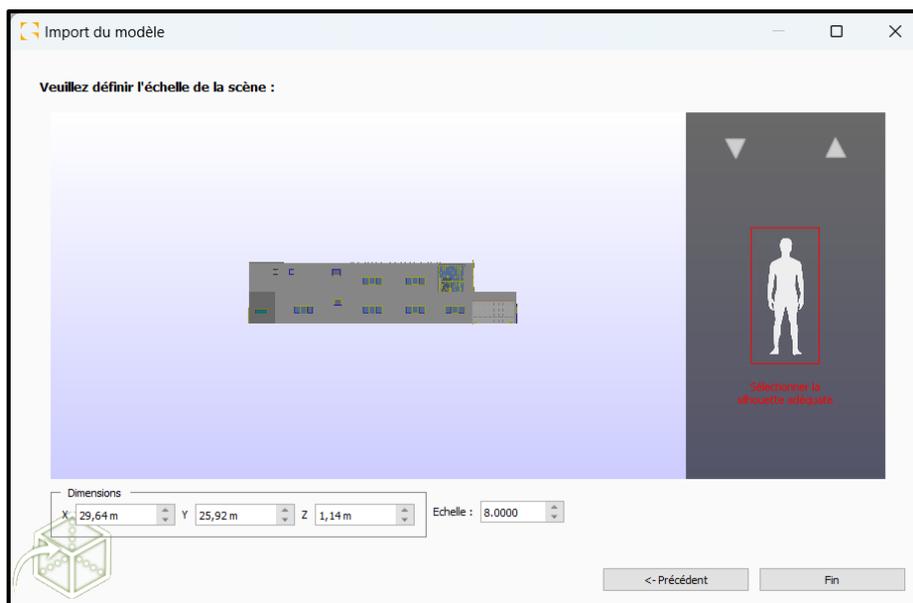


Figure 57: Définir l'échelle de la scène - ArchiWIZARD 2023
(Source : Capture de logiciel ArchiWIZARD 2023 réalisée par Auteur, 2023)

7. **La configuration des données thermiques/ Les parois opaques**

a. La saisie des caractéristiques des parois est réalisée à partir du **configurateur des parois** et modifiée par l'utilisateur en sélectionnant la paroi dans l'arborescence.

Les caractéristiques de la paroi peuvent être modifiées : l'épaisseur et les propriétés physiques (Fig.58).

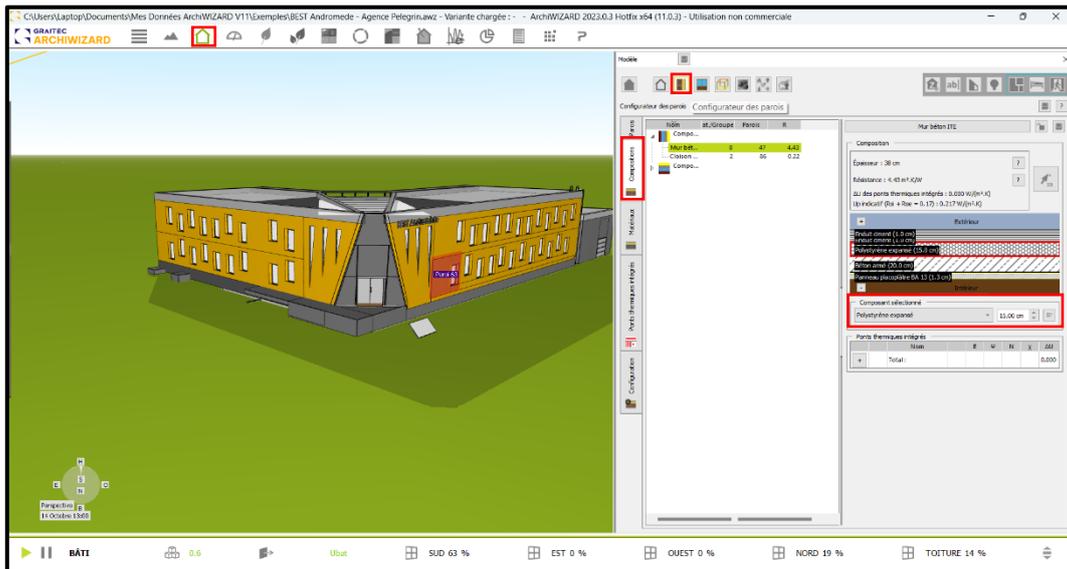


Figure 58: Configurateur des parois - ArchiWIZARD 2023
(Source : Capture de logiciel ArchiWIZARD 2023 réalisée par Auteur, 2023)

- b. Pour modifier une couche de la composition, sélectionner le matériau dans la bibliothèque et le **glisser-déposer** dans l'interface.

Supprimer ensuite la couche à enlever avec la touche « suppr » du clavier (Fig.59).

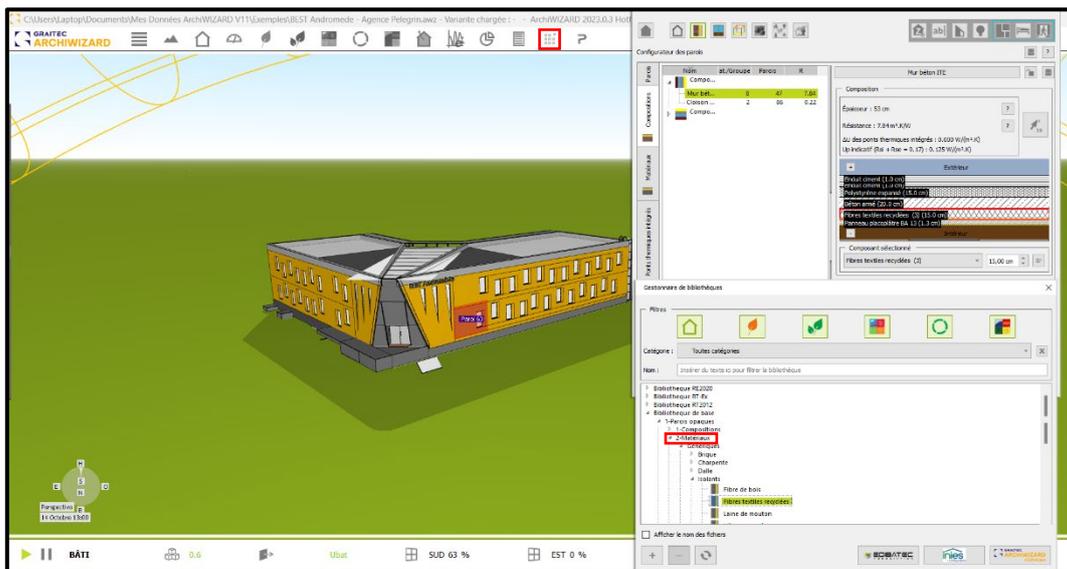


Figure 59: Modification de matériaux des parois - ArchiWIZARD 2023
(Source : Capture de logiciel ArchiWIZARD 2023 réalisée par Auteur, 2023)

- c. Pour modifier une composition, sélectionner la composition dans la bibliothèque et le **glisser-déposer** directement dans la paroi sur la 3D. La composition apparaît alors dans le configurateur (Fig.60).

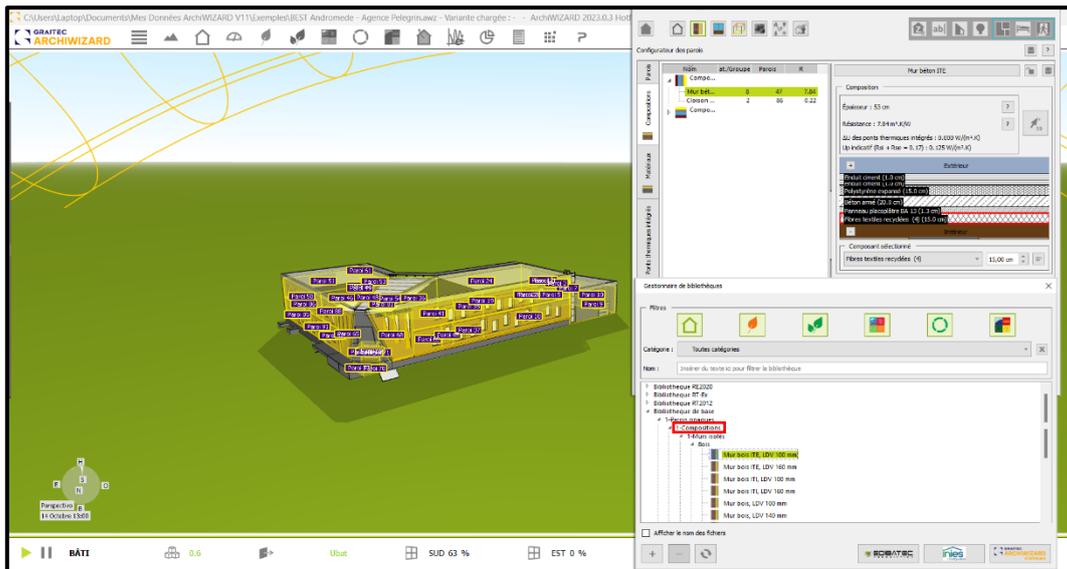


Figure 60: Modification de compositions des parois - ArchiWIZARD 2023
(Source : Capture de logiciel ArchiWIZARD 2023 réalisée par Auteur, 2023)

8. La configuration des données thermiques / Les parois transparentes

Les baies sont regroupées dans le « configurateur de baie ». Les propriétés thermiques sont accessibles par double clic sur la baie et modifiables sur les listes déroulantes (Fig.61).

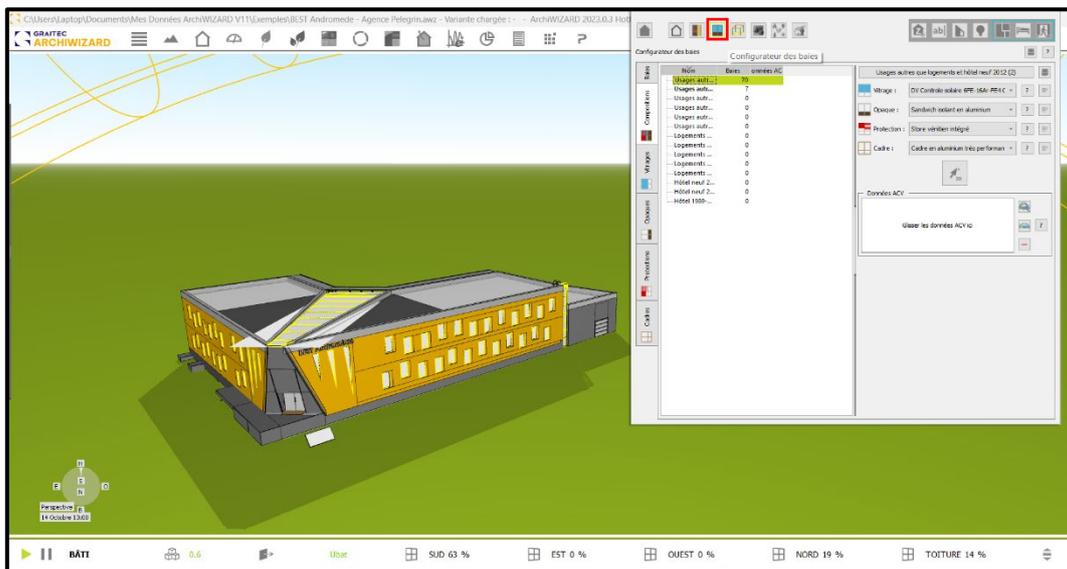


Figure 61: Configurateur des baies - ArchiWIZARD 2023 (Source : Capture de logiciel ArchiWIZARD 2023 réalisée par Auteur, 2023)

9. La configuration des ponts thermiques

Les ponts thermiques sont déterminés automatiquement par ArchiWIZARD en fonction des compositions de parois et de connexions reconnues dans la géométrie.

L'utilisateur à loisir de modifier en cliquant sur l'étiquette directement, la valeur et les dimensions. Il est possible d'en rajouter (Fig.62).

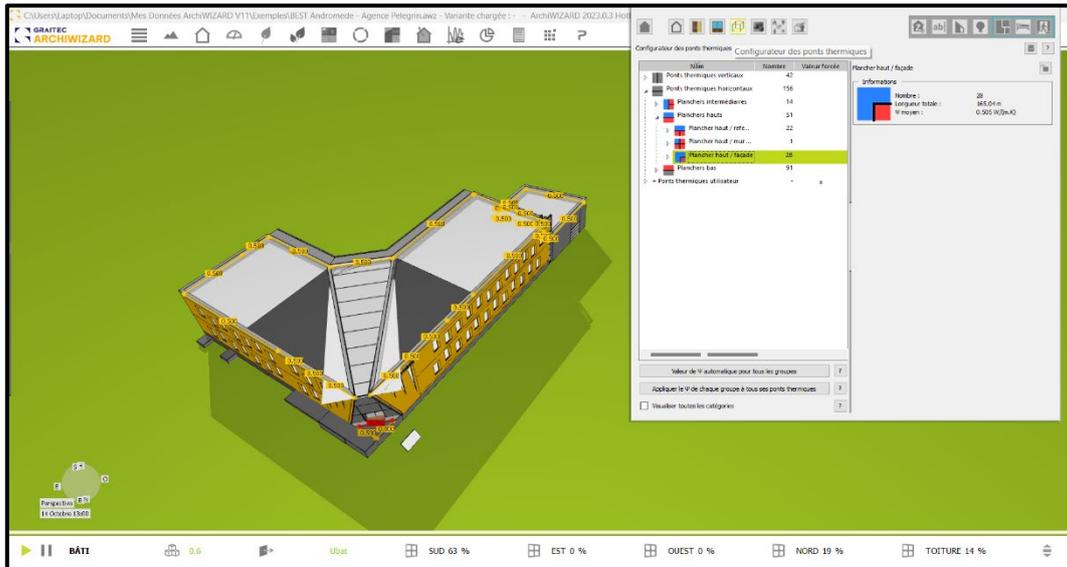


Figure 62: Configureur des ponts thermiques - ArchiWIZARD 2023

(Source : Capture de logiciel ArchiWIZARD 2023 réalisée par Auteur, 2023)

10. Les outils de mesure de la performance

a. L'exposition du bâtiment au soleil

ArchiWIZARD simule l'ensoleillement reçu par l'ensemble des éléments du modèle 3D et exprime l'énergie disponible. Cet outil de mesure est très utile pour aider au positionnement des systèmes de production solaire (eau chaude et électricité) mais également pour identifier les zones à protéger pour le confort d'été (Fig. 63).

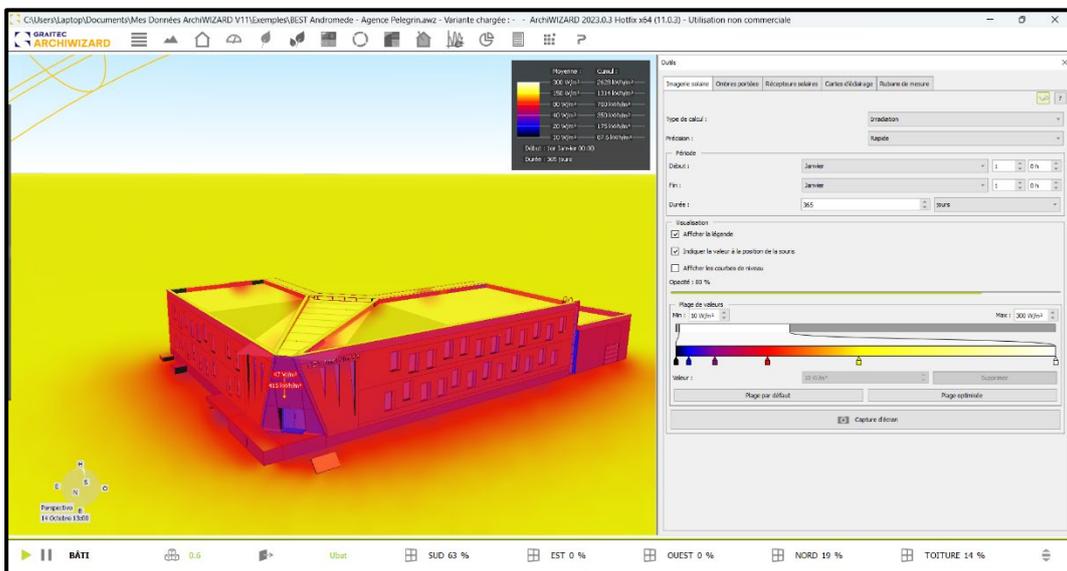


Figure 63: Outil d'imagerie solaire - ArchiWIZARD 2023

(Source : Capture de logiciel ArchiWIZARD 2023 réalisée par Auteur, 2023)

b. La visualisation des ombres

ArchiWIZARD calcule les ombres de l'ensemble des éléments du dessin 3D et permet de les visualiser sur des dates et heures personnalisées. Cet outil de mesure complémentaire à l'imagerie solaire permet de faire des rendus techniques différenciant (**Fig.64**).

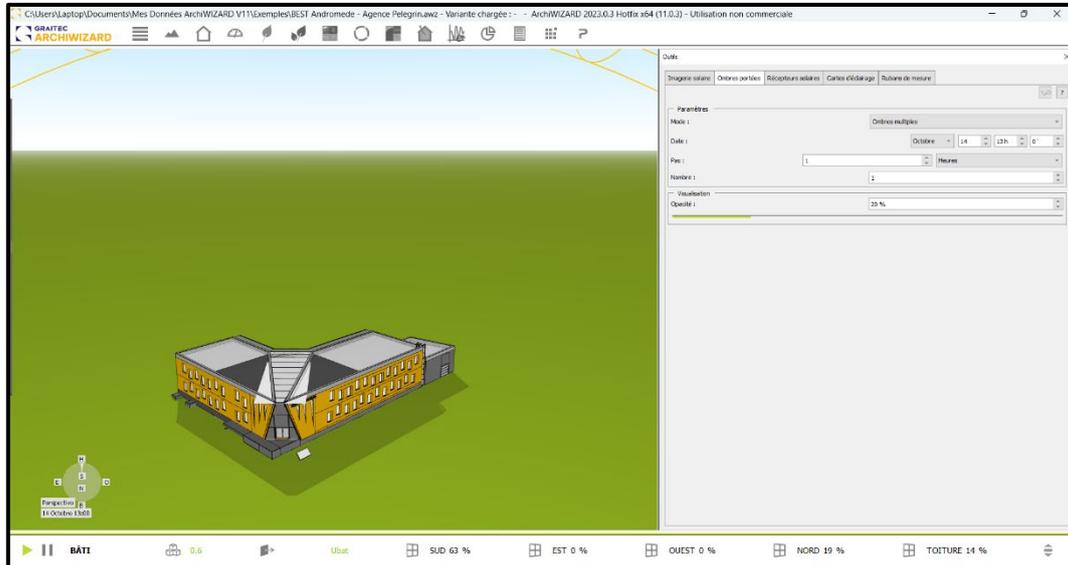


Figure 64: Outil d'ombres portées - ArchiWIZARD 2023
(Source : Capture de logiciel ArchiWIZARD 2023 réalisée par Auteur,2023)

c. La lumière naturelle

La carte d'éclairage est à **glisser déposer**, dans le bâtiment. Pour l'utiliser, il est préférable de se mettre en vue de dessus pour la positionner en x,y et de se mettre en vue de face pour la positionner en z. La carte donne l'éclairément en lux sur un maillage par défaut de 30 cm. Le résultat peut être exprimé en facteur de jour (%) en sélectionnant FLJ (**Fig.65**).

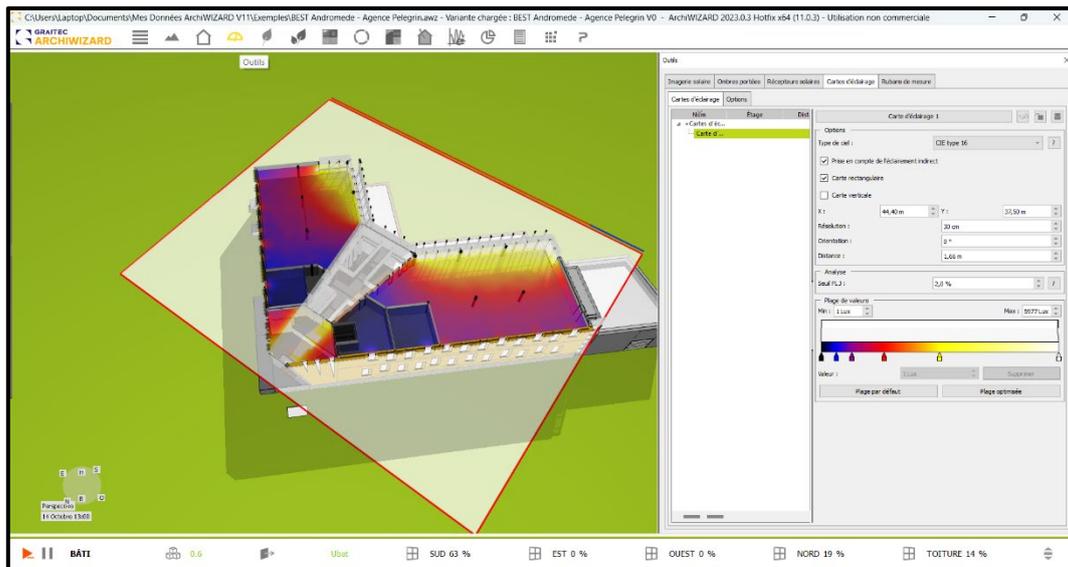


Figure 65: Outil de cartes d'éclairage - ArchiWIZARD 2023
(Source : Capture de logiciel ArchiWIZARD 2023 réalisée par Auteur,2023)

11. L'expression des résultats et des données/ Les fenêtres de résultats

L'utilitaire d'affichage permet de visualiser l'ensemble des résultats provenant des calculs et des outils de mesure. L'affichage est personnalisable et les résultats sont exportables (Clic droit) pour être utilisés dans les rapports et rendus techniques (Fig.66).

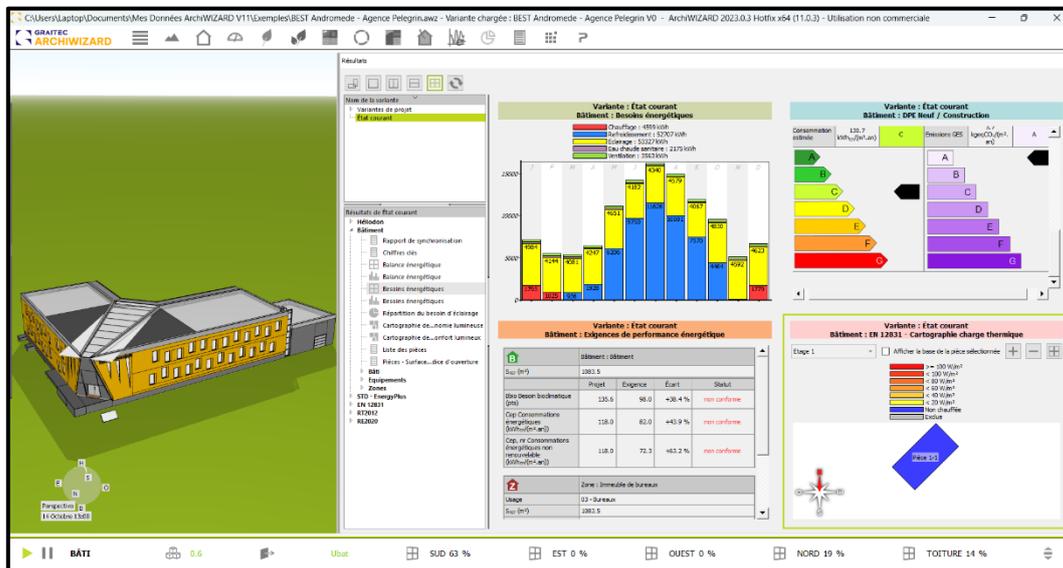


Figure 66: Résultats - ArchiWIZARD 2023
(Source : Capture de logiciel ArchiWIZARD 2023 réalisée par Auteur,2023)

12. Le calcul réglementaire RT2012

Le module RT2012 intégré permet de réaliser les études thermiques réglementaires à partir des données saisies dans ArchiWIZARD. Les données sur les dimensions, les propriétés thermiques, les ponts thermiques, ...sont directement récupérées. Les masques proches et lointains du bâtiment sont calculés automatiquement. Les attestations obligatoires pour la réglementation thermique (BBIO, Tic, Cep) sont produites depuis ArchiWIZARD, évalué par le CSTB (Fig.67).

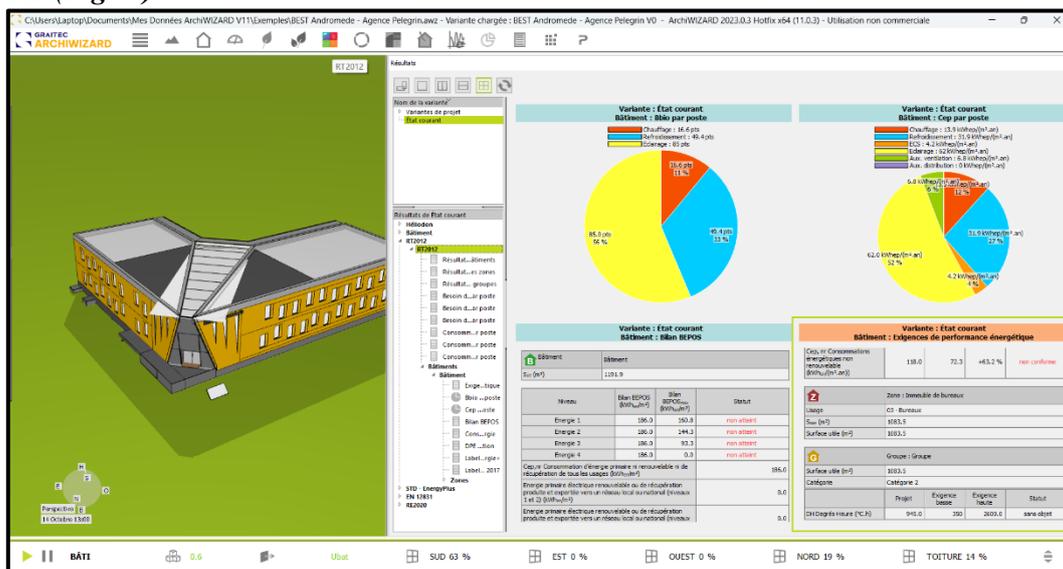


Figure 67: Résultats RT2012 - ArchiWIZARD 2023
(Source : Capture de logiciel ArchiWIZARD 2023 réalisée par Auteur,2023)

13. Le calcul réglementaire RE2020

Le module RE2020 intégré permet de réaliser les études environnementales et thermiques réglementaires. (BBIO, Tic, Cep, Cep,nr,) sont produites depuis ArchiWIZARD (Fig.68).

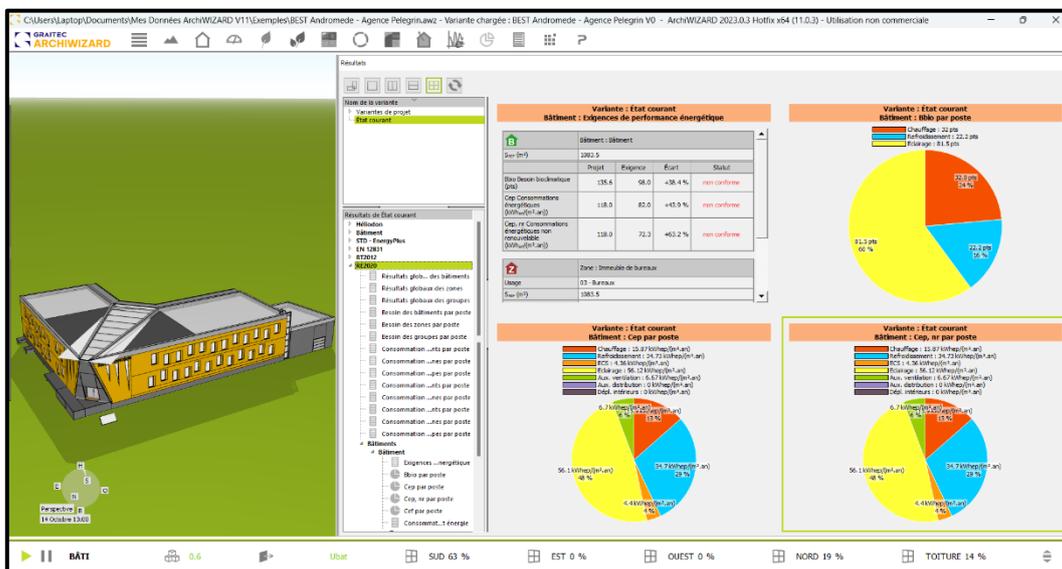


Figure 68: Résultats RE2020 - ArchiWIZARD 2023
(Source : Capture de logiciel ArchiWIZARD 2023 réalisée par Auteur, 2023)

14. Le calcul des puissances pour le chauffage / EN12831

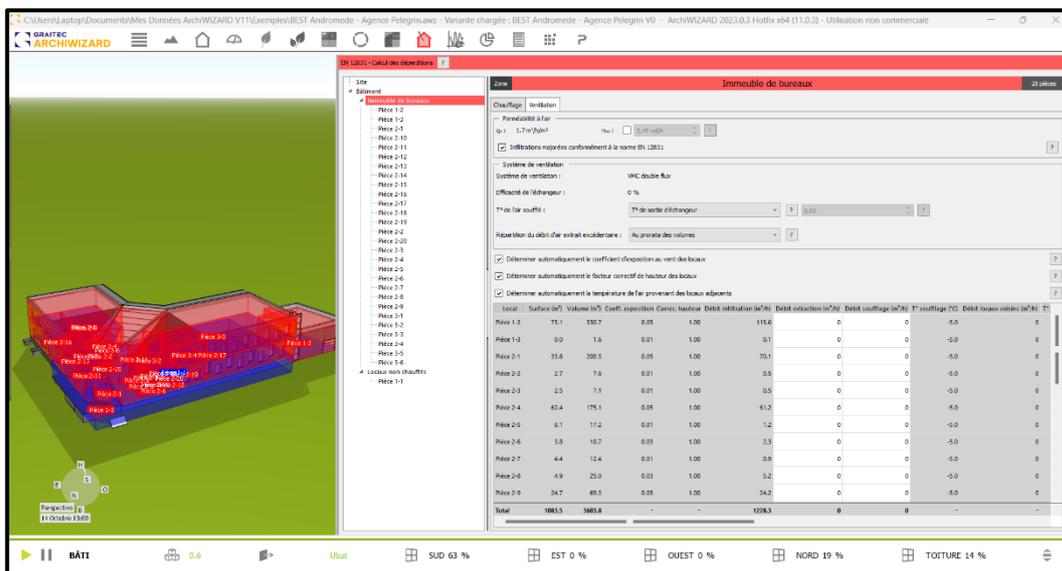


Figure 69: EN12831- Calcul des déperditions - ArchiWIZARD 2023
(Source : Capture de logiciel ArchiWIZARD 2023 réalisée par Auteur, 2023)

15. La simulation thermique dynamique (STD)/ EnergyPlus

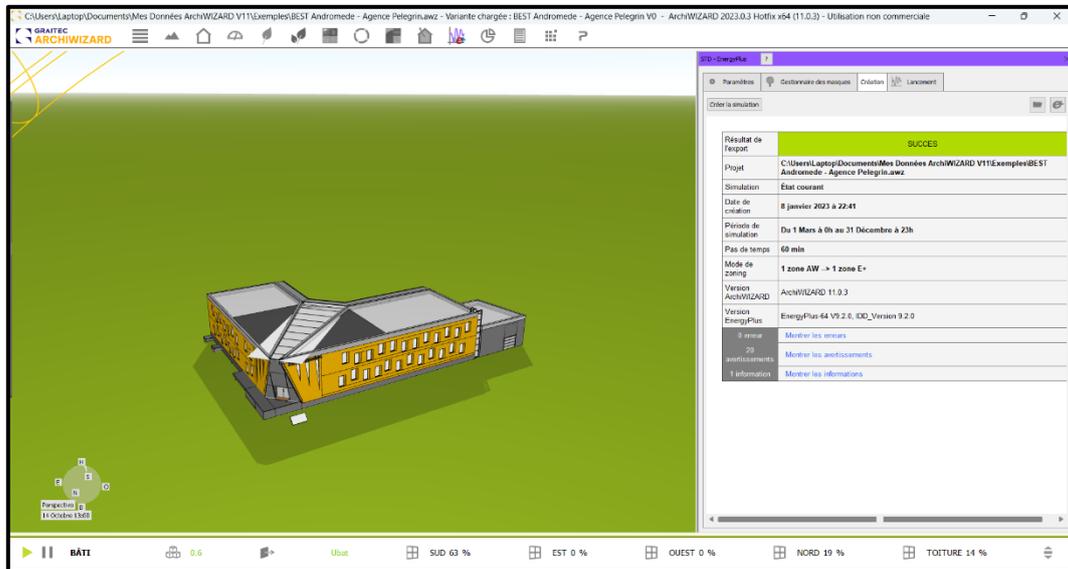


Figure 70: STD – EnergyPlus - ArchiWIZARD 2023
(Source : Capture de logiciel ArchiWIZARD 2023 réalisée par Auteur, 2023)

Conclusion

Pour répondre aux exigences en termes de performances énergétiques d'un bâtiment et de contraintes imposées par la réglementation thermique et les différents labels, l'utilisation de la modélisation est aujourd'hui indispensable.

En effet, l'énergie est un atout inestimable pour nous tous. Il est nécessaire de déplacer nos intérêts vers des techniques d'économie d'énergie. Et pour atteindre ces nouveaux seuils de performances, La modélisation et la simulation de l'énergie sont nécessaires pour évaluer la consommation d'énergie du bâtiment et pour quantifier les économies qui peuvent contribuer à la conception proposée. La modélisation et la simulation de l'énergie peuvent aider à optimiser la conception du bâtiment et permettre aux concepteurs de prioriser les investissements dans les stratégies qui auront le plus d'effet sur la consommation d'énergie du bâtiment.

Chapitre III : Autours du projet “Experimentarium”

Introduction :

Un projet d’Experimentarium est considéré comme un nouveau concept venu dans le domaine de la muséologie scientifique et technologique, la plus remarquable qui a été créée depuis le tournant du XXe siècle. Compte tenu du développement technologique et scientifique actuel, la volonté est de souligner le caractère innovant du projet ce qui conduit à remplacer le terme de « Musée de sciences » par celui de « Experimentarium », cet équipement se réalise pour l’intégration des plusieurs volets de modernisation dans la société, notamment (la science, la technologie et l’expérimentation...).

Dans ce chapitre, on va étudier des exemples qui sont intégrant les volets et le principe d’un projet d’Experimentarium à travers le monde et dans des zones climatiques différentes, pour essayer d’élaborer un programme, et de concevoir des techniques écologiques intégrées dans ce type des projets selon son contexte climatique.

III.1. Aperçu sur l’Experimentarium

III.1.1. Définition d’Experimentarium :

Experimentarium est un centre scientifique explore le monde à travers la science et la technologie, avec des enfants et d’adultes curieux, stimuler l’intérêt des gens et de les sensibiliser aux méthodes et à la recherche scientifiques et technologiques. Son public cible est tout le monde, mais en particulier les enfants et les adolescents⁶⁷.

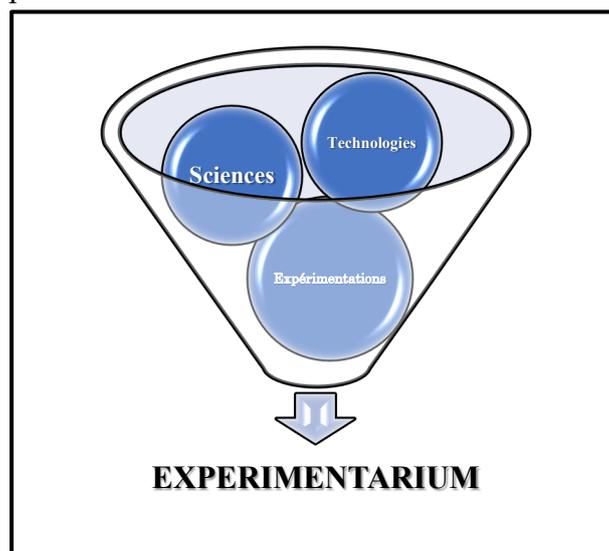


Figure 71: Les volets d’Experimentarium
(Source : Auteur,2023)

⁶⁷ <https://www.experimentarium.dk/about-us/>

Donc un Experimentarium a trois volets principaux qui sont :

III.1.1.1. La science

L'étude attentive de la structure et du comportement du monde physique, en particulier en observant, en mesurant et en faisant des expériences, et le développement de théories⁶⁸.

L'étude systématique de la structure et du comportement du monde naturel et physique, ou les connaissances obtenues sur le monde en le regardant attentivement et en expérimentant (Oxford University Press, 2008).

III.1.1.2. La technologie

L'application des connaissances scientifiques à des fins pratiques ; l'utilisation d'outils, de machines, de matériaux et de procédés pour effectuer du travail, produire des biens, fournir des services ou exécuter d'autres activités utiles (Cleveland & Morris, 2005)

III.1.1.3. L'expérimentation

Méthode scientifique reposant sur l'expérience et l'observation contrôlée pour vérifier des hypothèses⁶⁹. Et aussi, examen minutieux pour savoir ce qui se passe. Faire une expérience scientifique, essayer ou tester des idées⁷⁰.

III.1.2. Histoire et évolution

Les musées des sciences sont généralement considérés comme des nouveaux venus dans le domaine de la muséologie dans la mesure où les musées scientifiques et technologiques les plus remarquables ont été créés depuis le tournant du XXe siècle. Pourtant, le musée des sciences retrace ses origines à travers le temps aux grandes bibliothèques privées et cabinets de curiosités des princes de la Renaissance, érudits, et les amateurs riches. En fait, certains des souvenirs scientifiques inclus dans ces cabinets Renaissance ont survécu au cours des siècles pour former le noyau autour duquel certains des musées des sciences modernes ont grandi (Bedini, 1965).

⁶⁸ <https://dictionary.cambridge.org/us/dictionary/english/science>

⁶⁹ <https://www.larousse.fr/dictionnaires/francais/exp%C3%A9rimentation/32242>

⁷⁰ <https://dictionary.cambridge.org/dictionary/english/experimentation>

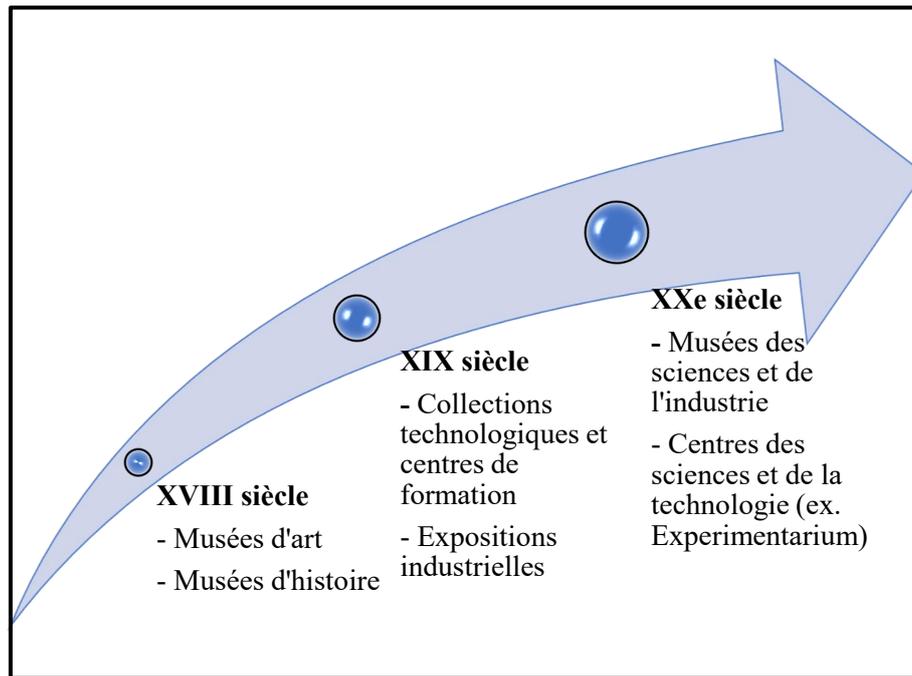


Figure 72: L'évolution des musées d'art et d'histoire vers les musées et les centres des sciences et de la technologie (Source : Auteur, 2023)

III.1.3. Objectifs de l'Experimentarium

- ✓ Transformer les visiteurs – de les amener à mieux comprendre et apprécier l'impact des sciences naturelles et de la technologie sur nos vies ;
- ✓ Faire ressortir le scientifique dans tous les invités et les inspirer à poser des questions ;
- ✓ À remettre en question les réponses qu'on leur donne ;
- ✓ Apprendre et jouer va naturellement de pair, en diffusant des sujets complexes par le jeu et l'expérimentation ;
- ✓ Le tout dans l'Experimentarium est conçu pour être touché et manipulé⁷¹.

III.2. Analyse des exemples

III.2.1. Exemple 01 : Experimentarium

III.2.1.1. Présentation

L'Experimentarium est le musée des sciences le plus populaire du Danemark. Fondé en vue de sensibiliser les jeunes et les moins jeunes à la science, il constitue un espace d'apprentissage informel essentiel dont les ressources sont fréquemment mises à profit par les établissements scolaires du primaire et du secondaire. Il abrite également un centre de conférences ainsi que des bureaux administratifs. Suite à d'importants travaux d'agrandissement, sa surface a doublé, pour proposer désormais 16 expositions interactives.

⁷¹ <https://www.experimentarium.dk/about-us/>

A. Motivation de choix

Cet exemple a été sélectionné pour les raisons suivantes :

1. Le bâtiment contient de nombreuses expositions interactives actuelles, c'est le premier du genre au monde ;
2. La conception est un changement radical de l'expression architecturale d'Expérimentalisme traditionnel ;
3. Le parcours intérieur est, c'est la marque qui caractérise le projet.

B. Fiche technique du projet

Type de projet : musée des sciences et de technologies.

Architectes : CEBRA.

Le Lieu du projet : Tuborg Havnevej, 2900 Hellerup, Danemark.

Surface totale : 26,850 m².

Année de réalisation : 2017.

Étages : 4.

Zone climatique : (Cfb) Chaud tempéré entièrement humide avec été chaud.



Figure 73: Experimentarium
(Source: www.archdaily.com)

III.2.1.2. Dimension urbaine

A. Situation



Figure 74: Situation d'Experimentarium par rapport au Danemark
(Source : Google Earth Pro)

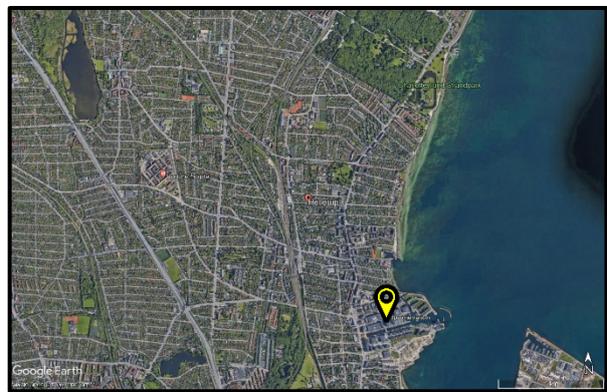


Figure 75: Situation d'Experimentarium par rapport à la ville de Hellerup
(Source : Google Earth Pro)

Le projet est situé dans le sud-est de la ville Hellerup au Danemark à côté du port de la ville, précisément sur la rue Tuborg Havnevej, 2900.

B. Environnement immédiat

Le projet est entouré par plusieurs types d'équipements, un centre commercial, allongée au côté sud du projet, ainsi que d'un restaurant, cafétéria, plus des équipements administratifs tels qu'une banque (Saxo banque), et une entreprise de conseil en gestion (Implement Consulting Group) (Fig. 76).

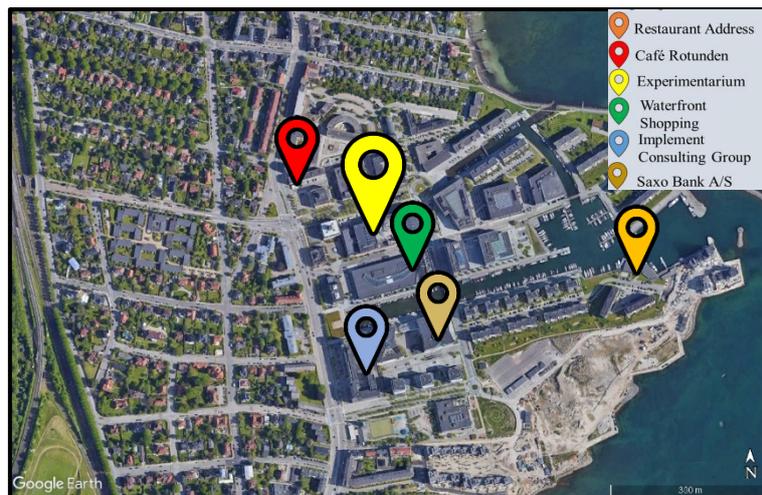


Figure 76: Environnement immédiat du projet Experimentarium (Source : Google Earth Pro réadapté par Auteur, 2023)

C. Étude de plan de masse



Figure 76: Plan de masse du projet Experimentarium (Source : www.exemagazine.fr réadapté par Auteur, 2023)

Le projet est implanté au croisement des quatre rues, cette implantation sur (l'Avenue Tuborg, Avenue Strand, Allée Philip-Heymans et Boulevard Tuborg), produit une forte

dynamique autour du projet. L'espace extérieur du projet a été utilisé comme un espace de stationnement (parking) et un jardin semi-public (placette) sur son côté ouest, ce qui produit des meilleures connexions urbaines avec le site et une forte dynamique autour du projet (**Fig. 76**).

D. Accessibilité

- Le bâtiment dispose de deux accès mécaniques :

Deux entrées principales au niveau de boulevard Tuborg au côté Nord du projet au niveau du parking public.

- Le bâtiment est accessible par deux accès piétons :

Deux entrées principales au niveau d'avenue Tuborg au côté sud du projet.

- La placette du projet est accessible par 02 accès piétons :

Deux entrées principales sur les deux cotées de projet au niveau de boulevard et d'avenue Tuborg (**Fig. 77**).

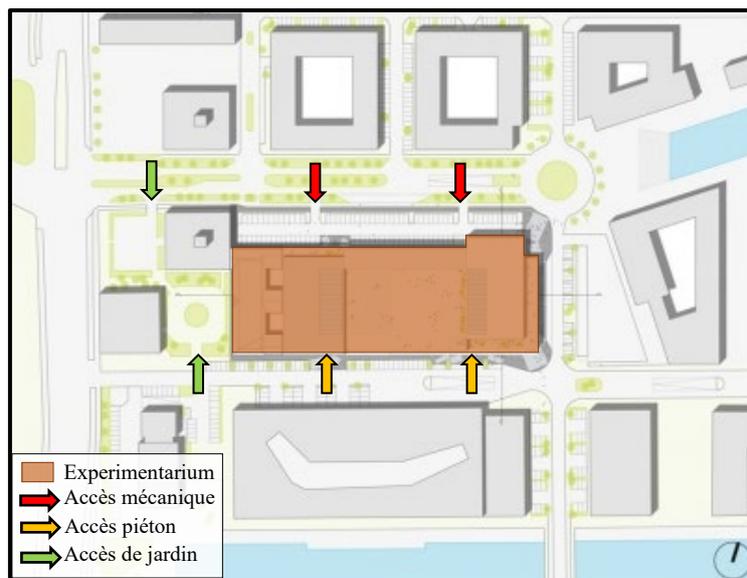


Figure 77: Accessibilité du projet Experimentarium
(Source : www.dezeen.com réadapté par Auteur, 2023)

III.2.1.3. Dimension conceptuelle

A. Principe de conception

Experimentarium est situé dans une ancienne usine d'embouteillage d'eau minérale et les plans ambitieux transformeront le bâtiment digne d'être préservé en un centre national interactif pour la science, la technologie et la culture. Le but de la conception est un changement radical de l'expression architecturale d'Expérimentalisme. Auparavant, c'était un bâtiment introverti qui est maintenant apparu comme une attraction extravertie, attrayante et dynamique. Le projet

repose sur une interprétation collective – à la fois visuelle et architecturale – de deux facteurs qui caractérisent l'ensemble de l'activité et de l'environnement physique de l'Experimentarium : d'une part, la rencontre entre la nature, la technologie et les sciences naturelles et, d'autre part, l'histoire comme fondement de l'avenir. Ce pas de deux se manifeste dans un langage formel nouveau et stimulant qui brise les limites existantes d'Experimentarium et crée un lien dynamique avec la société, tant visuellement que spatialement (*Fig. 78*).

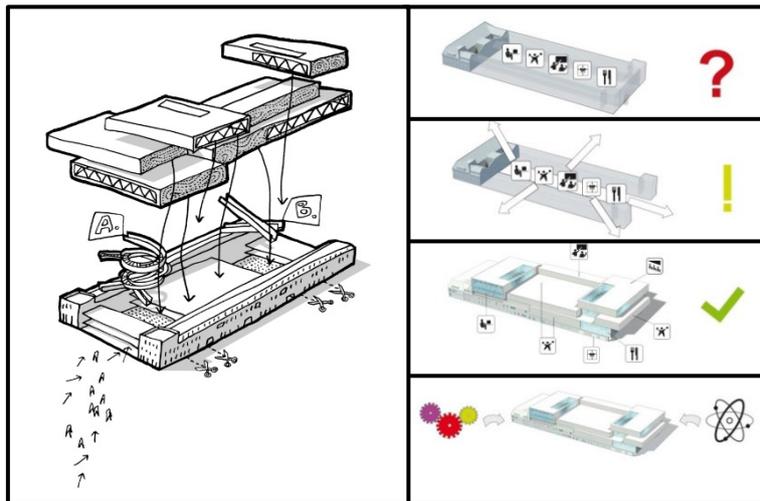


Figure 78: Principe de conception du projet Experimentarium (Source : www.archdaily.com)

B. Orientation

Le projet est long d'est en ouest et court du nord au sud. Cet allongement d'est à ouest est suivant l'axe du boulevard et avenue Tuborg (*Fig. 79*).

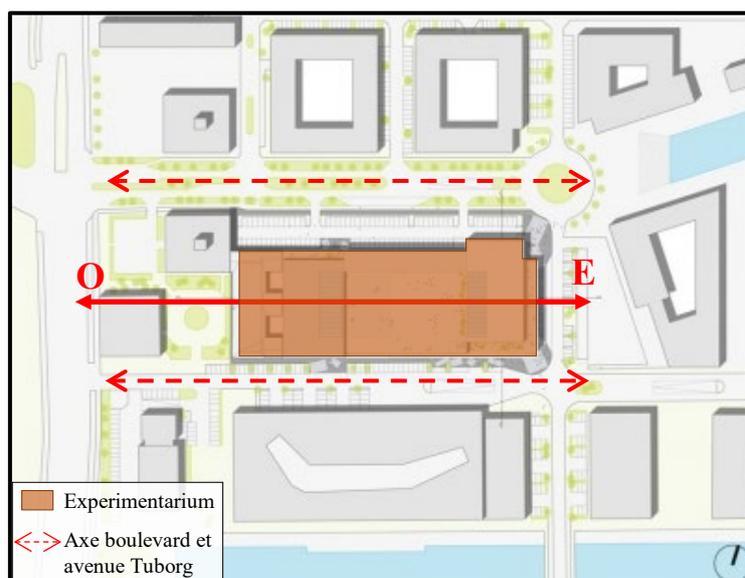


Figure 79: Orientation du projet d'Experimentarium (Source : www.dezeen.com réadapté par Auteur, 2023)

C. Volumétrie

Les différentes fonctions du bâtiment sont rendues visibles par la ville sous forme de boîtes empilées, décalées du socle.

- Le projet est plein de contrastes signifiant que le volume elle-même est autant une exposition que les attractions et les sites à l'intérieur.
- Les boîtes forment une composition dynamique, qui reflète la fonction d'Experimentarium et la diversité des expériences qu'il offre. Cette expression légère et moderne est soutenue par le poids visuel de la façade de brique de sorte forme une base stable et calme pour un volume de bâtiment nouveau et dynamique.
- En même temps, la variation des boîtes rétractées et en porte-à-faux divise le volume en petits groupes, ce qui permet au bâtiment relativement long d'interagir avec les différents environnements qu'il rencontre (*Fig.80*).



Figure 80: Volume du projet Experimentarium
(Source : www.archdaily.com réadapté par Auteur, 2023)

D. Façades

- Dans certaines parties des façades, de grandes étendues de verre forment des « yeux » qui sont insérées dans les « boîtes » du volume afin de donner une vue sur l'entrée et la sortie du bâtiment.
- Les façades du projet sont des façades double peau sont recouvertes de feuilles d'aluminium perforées, avec l'utilisation des motifs et des degrés de perforation différents, chaque boîte obtient une expression individuelle – même si elle est recouverte du même type d'aluminium – et communique ainsi le contenu et l'importance uniques de chaque boîte pour le projet.

- Les panneaux en aluminium, formant un contraste avec la base du brique rouge traditionnelle de l'ancienne construction, encore visible, toutefois, dans la partie basse de la façade (Fig.81), (Fig.82).



Figure 81: Façade du projet Experimentarium
(Source : cebraarchitecture.dk)



Figure 82: Façade du projet Experimentarium
(Source : www.archdaily.com)

E. Structure

La structure du projet est une structure métallique. Un large hall à l'entrée comprend un escalier à hélice évoque une version abstraite de la structure du brin d'ADN de 100 mètres de long, construit à partir de 160 tonnes d'acier et revêtu de 10 tonnes de cuivre (Fig.83), (Fig.84).

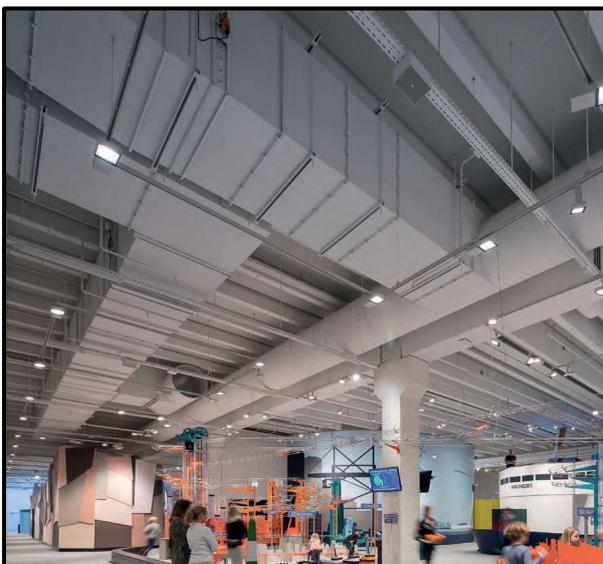


Figure 83: Structure du projet Experimentarium
(Source : www.designcurial.com)

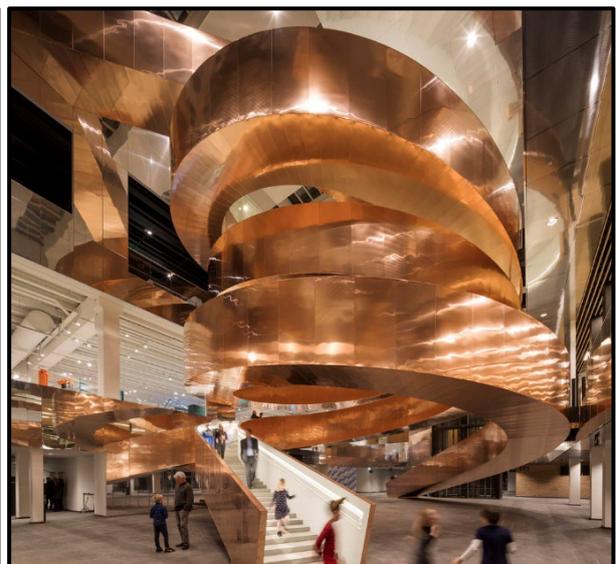


Figure 84: La structure du cuivre d'escalier à hélice
(Source : www.admagazine.com)

III.2.1.4. Dimension fonctionnelle

A. Analyse de l'intérieur

a. Principe d'organisation

Le bâtiment est constitué de 4 étages plus d'un toit interactif, le projet de 25.000 mètres carrés comprend une grande nouvelle salle d'exposition, un espace d'exposition sur le toit, un jardin botanique sur le toit, une scène flexible pour un public de 400 personnes, des centres d'apprentissage, d'innovation et de recherche, un centre de conférence, des cafétérias et des installations modernes pour le personnel.

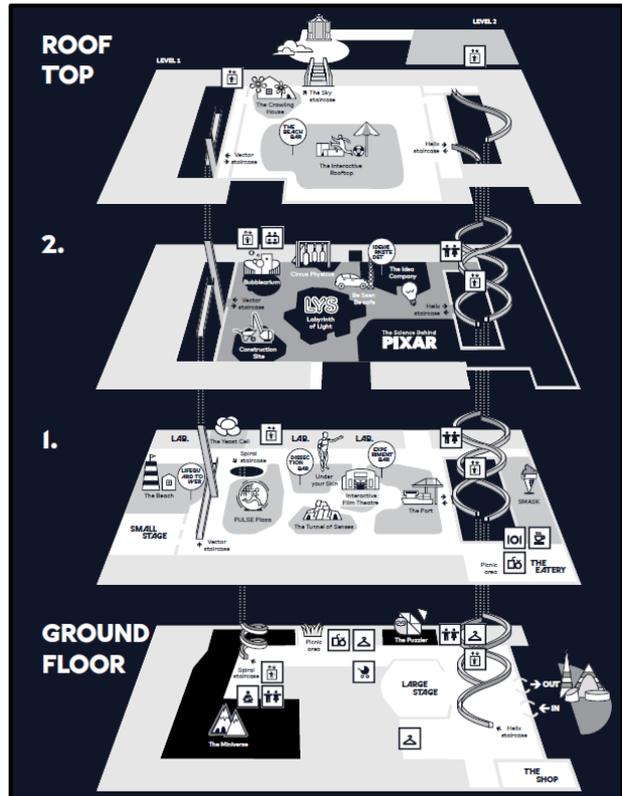


Figure 85: Principe d'organisation intérieure du projet d'Experimentarium (Source : www.experimentarium.dk)

b. Présentation des plans

1. Plan RDC

- 1- Hall d'accueil
- 2- Auditorium
- 3- Expositions interactives
- 4- Boutique.

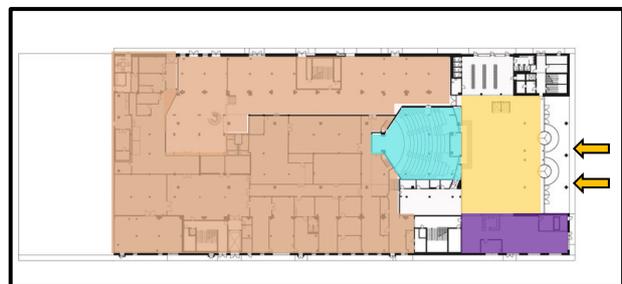


Figure 86: Plan RDC d'Experimentarium (Source : www.archdaily.com réadapté par Auteur, 2023)

2. Plan premier étage

- 5- Circulation verticale
- 6- Expositions interactives
- 7- Expositions interactives d'eau
- 8- Petite scène
- 9- Restauration.



Figure 87: Plan premier étage d'Experimentarium (Source : www.archdaily.com réadapté par Auteur, 2023)

3. Plan deuxième étage

- 10- Circulation verticale
- 11- Expositions interactives
- 12- Expositions interactives temporaires.

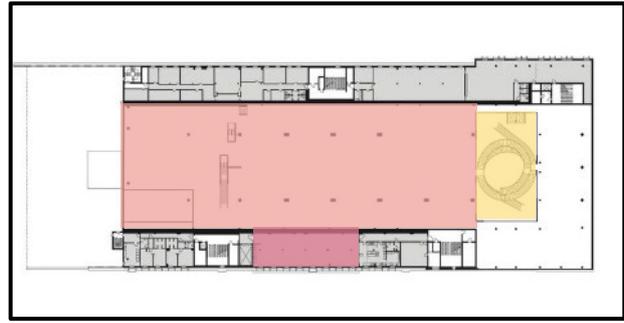


Figure 88: Plan deuxième étage d'Experimentarium (Source : www.archdaily.com réadapté par Auteur,2023)

4. Plan troisième étage

- 13- Circulation verticale
- 14- Expositions interactives.

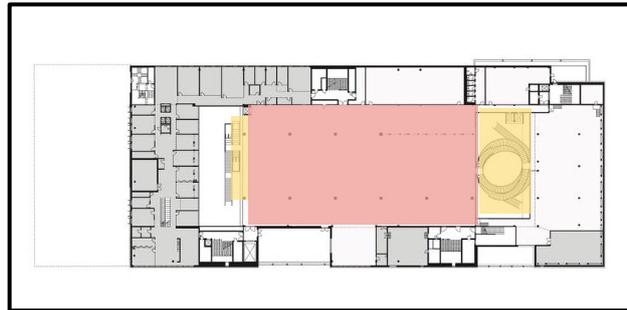


Figure 89: Plan troisième étage d'Experimentarium (Source : www.archdaily.com réadapté par Auteur,2023)

5. Plan quatrième étage

- 15- Circulation verticale
- 16- Toit interactif.

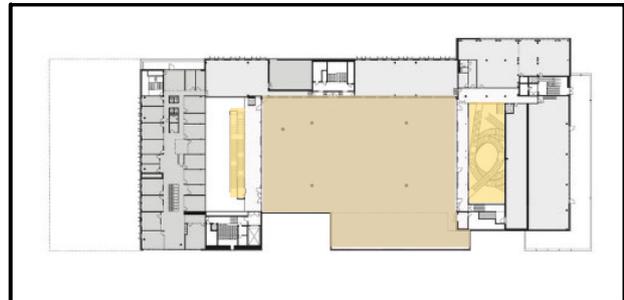


Figure 90: Plan quatrième étage d'Experimentarium (Source : www.archdaily.com réadapté par Auteur,2023)

III.2.1.5. Synthèse

Le projet du L'Experimentarium du Denmark, constitue un espace d'apprentissage informel essentiel dont les ressources sont fréquemment mises à profit par les établissements scolaires du primaire et du secondaire, comme démontré dans l'analyse :

- **Programme** : (Hall, auditorium, restauration, un centre de conférences, bureaux administratifs et plus 16 expositions interactives).
- **L'accessibilité** : Le projet est implanté au Croisement des trois rues, il connecte au jardin (esplanade) sur son côté ouest, ce qui produit des meilleures connexions urbaines avec le site, ce qui produise une forte dynamique autour du projet.

- **Matériaux et structure** : Structure métallique, la structure accueille les visiteurs à l'intérieur du musée, avant de monter en flèche, menant à chacun des quatre étages du projet, avec une enveloppe des panneaux en aluminium sont perforés qui relie d'une part la science et l'architecture et d'autre part permet la lumière du jour, formant un contraste avec la base en brique. Mettant ainsi l'accent sur le dialogue architectural avec l'espace urbain environnant en manifestant les fonctions et les activités à la fois dans le bâtiment et la ville. Les boîtes décalées les « poussent » vers l'extérieur, où un degré plus élevé de visibilité externe est souhaité ou où les vues et la lumière du jour forment la scène des expériences internes.

III.2.2. Exemple 02 : La cité des sciences et de l'industrie

III.2.2.1. Présentation

La Cité des sciences et de l'industrie est un établissement spécialisé dans la diffusion de la culture scientifique et technique, Elle a pour mission de diffuser à un large public, notamment aux enfants et aux adolescents, les connaissances scientifiques et techniques, ainsi que de susciter l'intérêt pour les enjeux de société liés à la science, à la recherche et à l'industrie.

A. Motivation de choix

Cet exemple a été sélectionné pour enrichir le programme car le bâtiment contient de nombreux espaces interactifs, a pour mission de diffuser à un large public, notamment aux enfants et aux adolescents, les connaissances scientifiques et techniques.

B. Fiche technique du projet

Type de projet : cité des sciences et de l'industrie.

Architecte : Adrien Fainsilber.

Le Lieu du projet : Parc de la Villette 30, avenue Corentin-Cariou - 75019 Paris.

Surface totale : 150 000 m².

Année de réalisation : 1986.

Étages : 5.

Zone climatique : (Cfb) Chaud tempéré entièrement humide avec été chaud.



Figure 91: Cité des sciences et de l'industrie
(Source : www.eutouring.com)

III.2.2.2. Dimension urbaine

A. Situation

Le projet est situé dans le parc de la Villette, nord-est de la ville de Paris, France.



Figure 92: Situation de la cité des sciences et de l'industrie par rapport au France (Source : Google Earth Pro)



Figure 93: Situation de la cité des sciences et de l'industrie par rapport à la ville de Paris (Source : Google Earth Pro)

B. Environnement immédiat

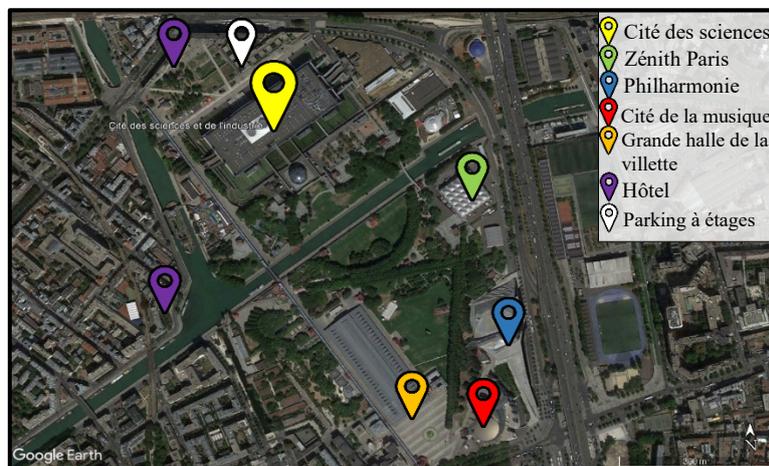


Figure 94: Environnement immédiat de la cité des sciences et de l'industrie (Source : Google Earth Pro réadapté par l'Auteur)

Le projet est au cœur d'un dispositif visant à valoriser la culture scientifique et technique : les Centres de culture scientifique, technique et industrielle (CCSTI). Avec la Philharmonie de Paris et le Conservatoire national supérieur de musique et de danse de Paris, le projet fait partie du parc de la Villette (Fig.94).

C. Étude de plan de masse

Le projet est implanté sur le boulevard périphérique/ sortie Porte de la Vilette, au croisement des deux rues (Avenue Corentin Cariou et Boulevard Macdonald), et au carrefour des trois canaux (canal de l'Ourcq, canal Saint Denis et canal Saint Martin), et une voie ferrée. Juste derrière la Géode, le canal de l'Ourcq traverse le Parc d'est en ouest, il en résulte un meilleur raccordement urbain au site (*Fig.95*).

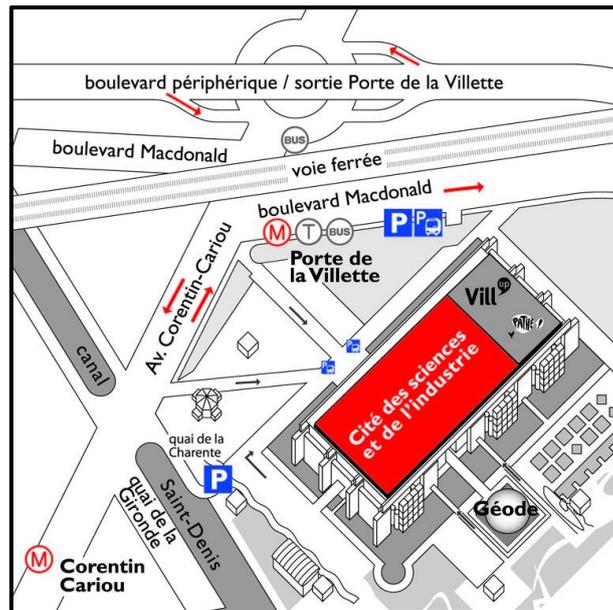


Figure 95: Plan de masse de la cité des sciences et de l'industrie (Source : www.cite-sciences.fr)

D. Accessibilité

Le site est accessible par les différents moyens de transport véhicule, métro, autobus, tramway et aussi un réseau de pistes cyclables depuis le centre de Paris.

Un parking à étages et à vélos et une borne de recharge sont à la disposition sur le parvis de la Cité des sciences et de l'industrie.

- Le bâtiment dispose des accès piétons par des entrées principales au niveau de : (Avenue Corentin Cariou et Boulevard Macdonald) (*Fig.96*).

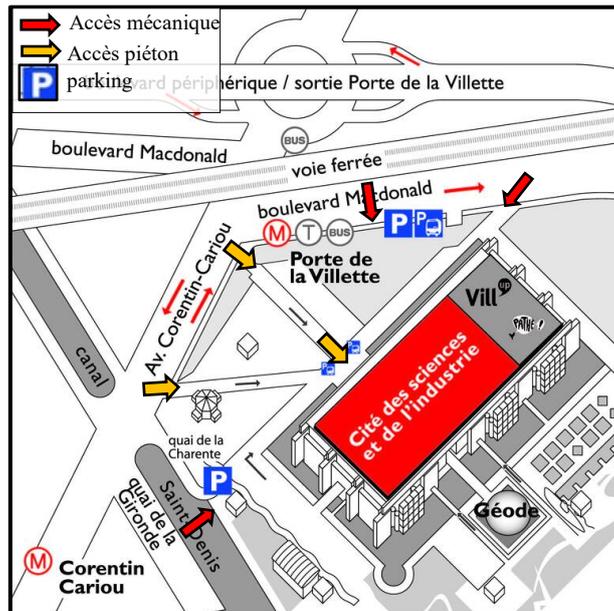


Figure 96: Accessibilité de la cité des sciences et de l'industrie (Source : www.cite-sciences.fr réadapté par Auteur, 2023)

III.2.2.3. Dimension conceptuelle

A. Principe de conception

Le pari architectural audacieux du bâtiment témoigne du défi lancé à son concepteur d'ouvrir les sciences au plus grand nombre, selon une démarche novatrice et un esprit de partage. La cité a été réalisée à l'intérieur d'un bâtiment conçu pour un tout autre usage, une salle des ventes inachevée, sur un site occupé depuis 1867 par des abattoirs et un marché aux bestiaux. L'architecte a créé une architecture monumentale à partir d'une architecture industrielle, il a pris le parti de mettre en avant trois éléments fondamentaux : l'eau, la lumière et la végétation (**Fig.97**).



Figure 97: Volume 3D de la cité des sciences et de l'industrie (Source : 3dwarehouse.sketchup.com)

B. Orientation

Le projet est long de Nord-est en Sud-ouest. Cet allongement suivant l'axe du canal de l'Ourcq –villette- (*Fig.98*).

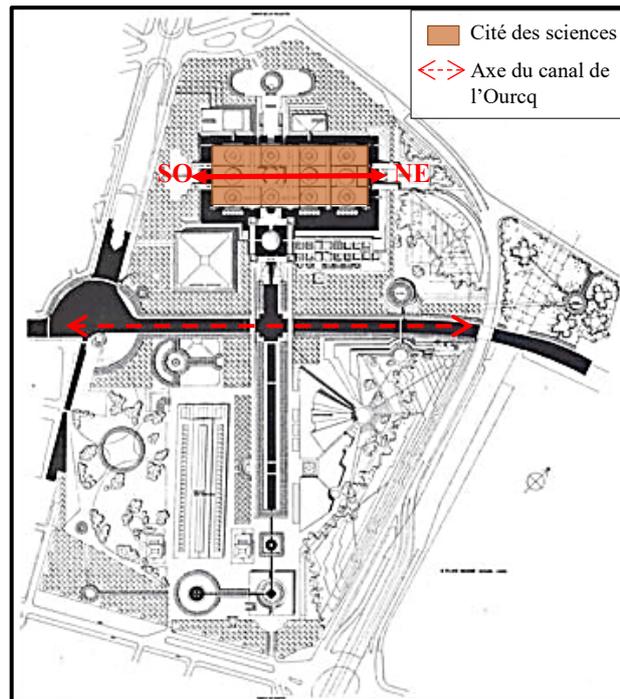


Figure 98: Orientation de la cité des sciences et de l'industrie (Source : www.cite-sciences.fr)

C. Volumétrie

L'ensemble architectural de la Cité des sciences joue des contrastes entre un parallélépipède monumental (250 m de long, 150 m de large et 50 m de haut) en béton et la sphère de 36 m de diamètre aux facettes scintillantes, de la Géode. La spécificité de la Cité des sciences et de l'industrie s'affirme dans le jeu des échelles et des volumes généreux (*Fig.99*).

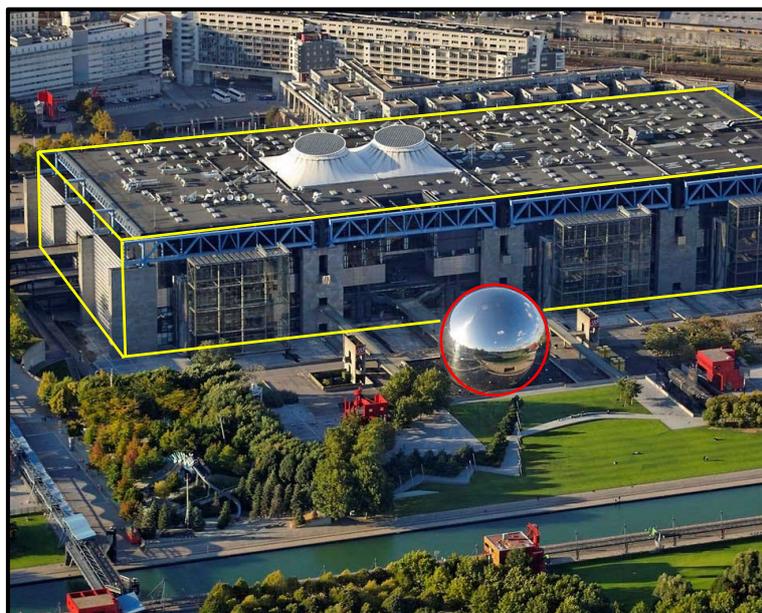


Figure 99: Volume de la cité des sciences et de l'industrie (Source : www.cite-sciences.fr réadapté par Auteur, 2023)

D. Façades

L'édifice marque l'environnement de sa signature contemporaine en associant l'eau qui fait miroiter le bâtiment et la Géode, un parc paysagé et la transparence de ses façades. Les façades c'est un parallélépipède de 270 mètres de longueur, 110 mètres de large et 47 mètres de hauteur, elles apparaissent les éléments de la structure porteuse du bâtiment d'origine : cinq piles rectangulaires habillées de granit et quatre poutres métalliques peintes en bleu.

Mais alors que la façade nord est peu ouverte sur l'extérieur. Cette façade est relativement fermée pour permettre l'aménagement des espaces muséologiques. Vous découvrirez par la suite une façade bien différente au sud, transparente et ouverte sur le Parc de la Villette (*Fig.100*).



Figure 100: Façade Nord de la cité des sciences et de l'industrie (Source : www.france-voyage.com)

La façade sud elle est totalement transparente, laissant apparaître les différents étages. Elle est constituée de trois immenses serres de 32 m de côté sur 8 mètres de profondeur, cette façade vitrée de la Cité des sciences et de l'industrie offre une vue exceptionnelle sur le plus grand parc parisien qui s'étend jusqu'à la porte de Pantin. La Géode vient briser la linéarité de la façade sud par sa forme courbe (*Fig.101*).

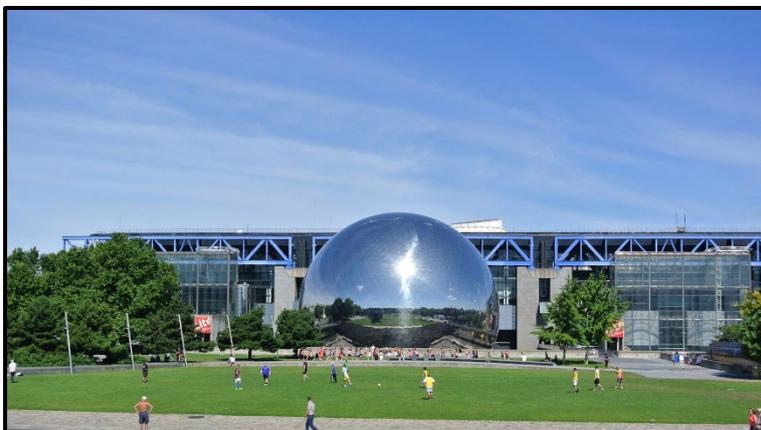


Figure 101: Façade Sud de la cité des sciences et de l'industrie (Source : www.leparisien.fr)

E. Structure

La structure du projet est une structure mixte (béton-acier), des cinq piles de béton rectangulaires sur le long des façades, franchies par des poutres en treillis métalliques. Ces éléments de la structure porteuse sont s'étendent à l'intérieur de l'édifice. La structure des portiques sur lesquels reposent les planchers ; les poutres métalliques bleues qui portent la toiture. Sont des deux structures totalement indépendantes.

La structure des trois grandes serres contre la façade sud est formée de tubes centrifugés et d'éléments d'assemblage moulés en acier inoxydable.

Les coupoles au-dessus du hall sont soutenues par une structure « araignée » suspendue, reliées au périmètre de la charpente par une toile tendue translucide.



Figure 102: Structure intérieure de la cité des sciences (Source : www.abcsalles.com)

Figure 103: Structure extérieure de la cité des sciences et de l'industrie (Source : www.cite-sciences.fr)

La structure de la Géode est constituée de 6 433 triangles préformés en acier inoxydable, chaque triangle est réellement une portion de sphère, embouti et poli séparément (**Fig.103**).

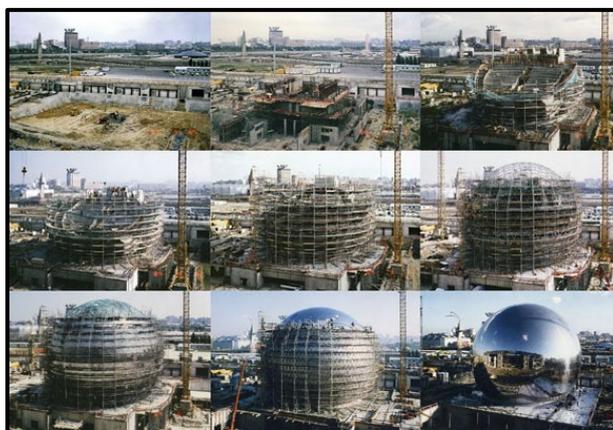


Figure 104: Structure de la Géode (Source : www.cite-sciences.fr)

III.2.2.4. Dimension fonctionnelle

A. Analyse de l'intérieur

a. Principe d'organisation

Une passerelle qui conduit à l'entrée du bâtiment les bassins qui ceignent la Cité. Par beau temps, ces plans d'eau participent par le jeu des reflets à la monumentalité du bâtiment. Dans le hall d'accueil, au pied des grands escalator mènent aux expositions et à l'entresol qui est un étage intermédiaire masqué mais capital, situé entre le niveau de l'accueil où et le niveau 1.

Le niveau 1 c'est l'étage technique qui abrite le système nerveux central de toute la Cité. Il assure la distribution des fluides (l'eau, l'air et l'électricité), pour la vie de ce bâtiment et le bien-être de ses occupants. Cet étage est également parcouru par deux voies qui traversent le bâtiment d'est en ouest, pour permettre aux secours extérieurs.

Quatre grands escaliers mécaniques s'élancent depuis le niveau de l'accueil vers les expositions sur un dénivelé de 12 mètres. Leurs parois latérales vitrées dévoilent leur mécanisme. Dans le prolongement des escalators, deux blocs de quatre tours accueillent des ascenseurs. Les personnes à mobilité réduite peuvent les emprunter pour accéder aux expositions.

Enfin, derrière le bloc d'ascenseurs à l'ouest du bâtiment, au niveau 2, on trouve une surface cylindrique du planétarium. À l'intérieur, elle comprend des spectacles commentés et à la projection de films immersifs sous un ciel parsemé d'étoiles, après une promenade sinueuse dite "e;cinématique" ou promenade des jardins, apporte une dimension onirique au Parc.

b. Présentation des plans

1. Plan niveau -2

- 1- La Géode
- 2- Aquarium
- 3- Cinéma
- 4- Bibliothèque des sciences et de l'industrie
- 5- Restaurant
- 6- Cafétaria
- 7- Snack
- 8- Parking.

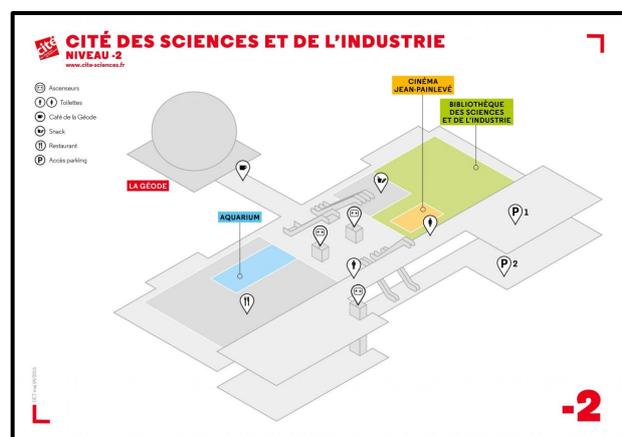


Figure 105: Plan niveau -2 de la cité des sciences et de l'industrie (Source : map-of-paris.com)

2. Plan niveau -1

- 9- Bibliothèque des sciences et de l'industrie
- 10- Cité des métiers
- 11- Cité de la santé
- 12- Carrefour numérique
- 13- Bibliothèque d'histoire des sciences
- 14- Centre des congrès de la villette.

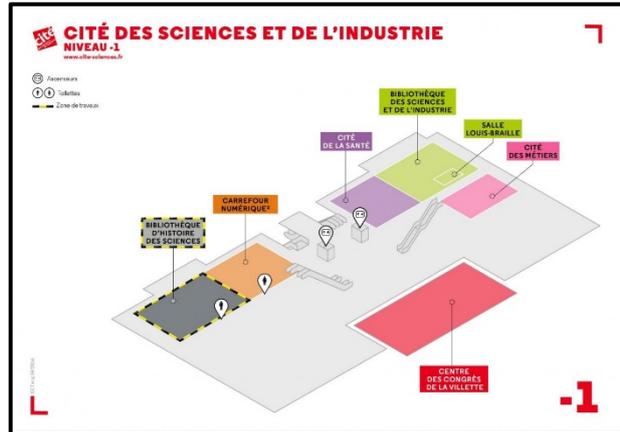


Figure 106: Plan niveau -1 de la cité des sciences et de l'industrie (Source : map-of-paris.com)

3. Plan niveau 0

- 15- Bibliothèque jeunesse
- 16- Auditorium
- 17- Cinéma
- 18- Exposition temporaire
- 19- Cité des enfants 2-7 ans
- 20- Cité des enfants 5-12 ans
- 21- Sous-marin argonaute.



Figure 107: Plan niveau 0 de la cité des sciences et de l'industrie (Source : map-of-paris.com)

4. Plan niveau 1

- 22- Exposition temporaire
- 23- L'homme et les gènes
- 24- Objectifs terre
- 25- Mathématiques
- 26- Sons
- 27- Des transports et des hommes
- 28- Énergies
- 29- Sténopé
- 30- Cerveau.

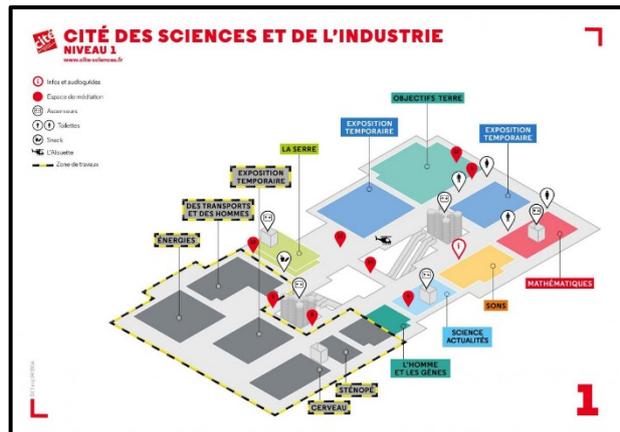


Figure 108: Plan niveau 1 de la cité des sciences et de l'industrie (Source : map-of-paris.com)

5. Plan niveau 2

31- Planétarium

32- Le grand récit de l’univers

33- Exposition temporaire

34- Jeux de lumière.

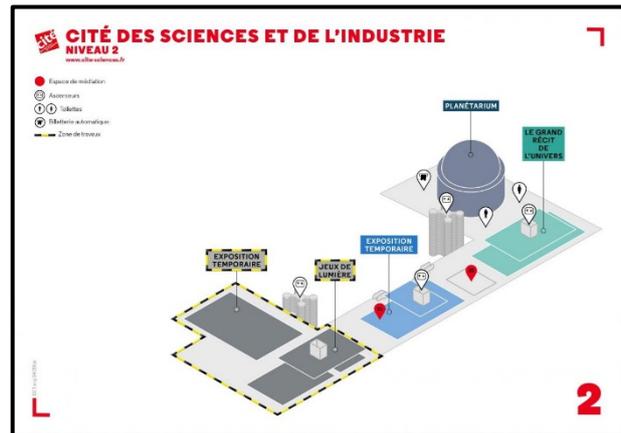


Figure 109: Plan niveau 2 de la cité des sciences et de l'industrie (Source : map-of-paris.com)

III.2.2.5. Synthèse

Le projet de la Cité des sciences et de l'industrie est un établissement spécialisé dans la diffusion de la culture scientifique et technique, au cœur d'un parc de 35 hectares en plein Paris, comme démontré dans l'analyse :

- **Programme** : (Hall, Expositions, planétarium, spectacles, restaurants et boutique, Auditorium, cinéma, Un centre des congrès, L'aquarium, Géode ...)
- **L'accessibilité** : Le projet est implanté au Croisement des deux importantes rues et au carrefour des trois canaux, ce qui produit des meilleures connexions urbaines avec le site, qui est accessible par les différents moyens de transport véhicules, métro, autobus, tramway et aussi un réseau de pistes cyclables depuis le centre de la ville et un parking à étages.
- **Matériaux et structure** : Structure mixte (béton-acier), un édifice qui mêle le verre, le béton et l'acier. Les serres sont avec parois vitrées formées de tubes centrifugés et d'éléments d'assemblage moulés en acier inoxydable, la Géode avec sa peau lisse en acier inoxydable poli miroir, cette structure supporte une succession de couches qui assurent tour à tour la protection au feu, l'isolation thermique, l'isolation phonique, l'étanchéité et une structure secondaire sur laquelle repose la peau-miroir.

III.2.3. Exemple 03 : musée du Futur

III.2.3.1. Présentation

L'un des édifices les plus emblématiques de Dubaï, le musée explore les façons dont la société pourrait évoluer dans les décennies à venir grâce à la science et à la technologie. Décrit parfois comme le plus beau bâtiment du monde, l'édifice se distingue par son architecture de classe mondiale pensée pour correspondre à ce qu'il abrite. Sa mission : mettre en avant les esprits les plus brillants des technologies et de l'innovation et contribuer à faire de Dubaï, un banc d'essai pour les technologies émergentes et une base d'exploration pour les talents, inventeurs et professionnels créatifs du monde entier.

A. Motivation de choix

Cet exemple a été sélectionné pour enrichir le programme et son contexte de durabilité était la principale motivation de choix, ce qui impliquait des stratégies de conception passives et celles actives par les énergies renouvelables intégrées, ainsi que sa façon d'implantation à son site.

B. Fiche technique

Type de projet : musée des sciences et de technologies.

Architectes : Shaun KILLA.

Le Lieu du projet : Sheikh Zayed Road, Trade Centre 2, Dubai, United Arab Emirates.

Surface totale : 30,548 m².

Année de réalisation : 2022.

Étages : 7.

Zone climatique : (BWh) Désert aride chaud.

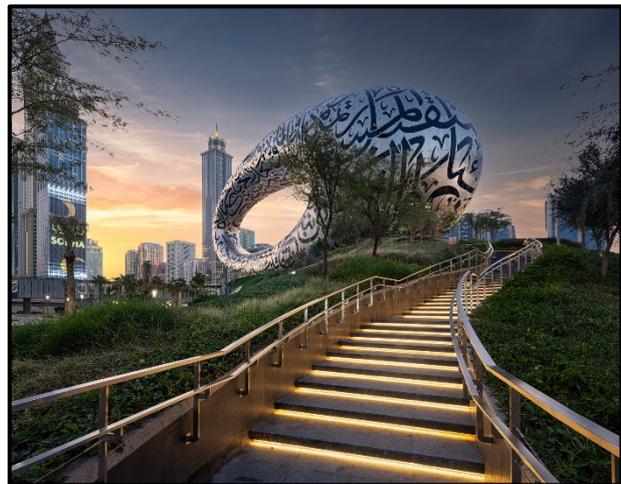


Figure 110: musée du Futur (Source : www.killadesign.com)

III.2.3.2. Dimension urbaine

A. Situation

Le projet se trouve sur l’avenue de Sheikh Zayed Road qui est la principale artère de la ville de Dubaï, Émirats arabes unis.



Figure 111: Situation de musée du Futur par rapport aux UEA (Source : Google Earth Pro, réadapté par Auteur, 2023)

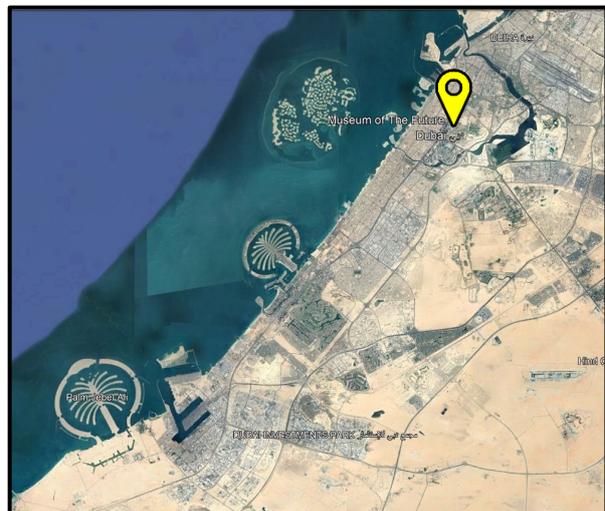


Figure 112: Situation de musée du Futur par rapport à la ville de Dubaï (Source : Google Earth Pro, réadapté par Auteur, 2023)

B. Environnement immédiat

Le projet est l’un des monuments les plus célèbres de Dubaï, le musée du Futur occupe une place de choix le long de la super autoroute de la ville, Sheikh Zayed Road, il occupe un emplacement privilégié à côté des tours Emirates (Jumeirah Emirates, Burj Al Arab, Burj Khalifa, Dubaï mall...) (Fig.113).

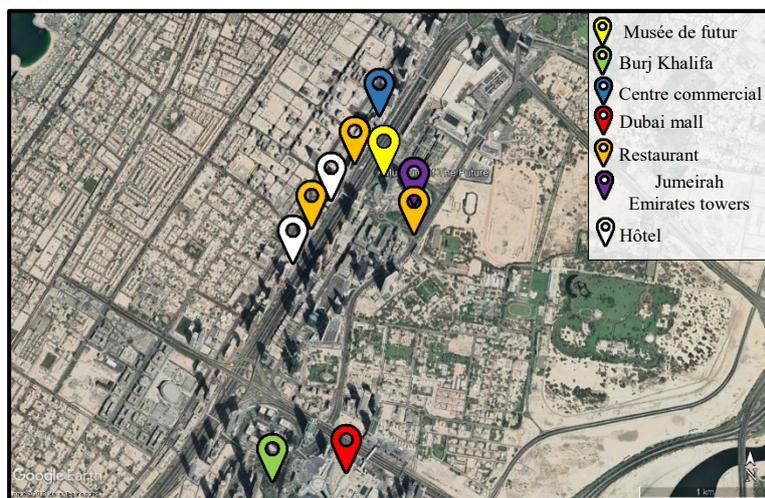


Figure 113: Environnement immédiat de musée du Futur (Source : Google Earth Pro, réadapté par Auteur)

C. Étude de plan de masse

Le projet est implanté au carrefour des deux importantes rues (Av. Sheikh Zayed Road) qui est la principale artère de la ville de Dubaï et (Trade Center street), il occupe une situation primordiale à proximité des tours Emirates, et à côté de (Jumeirah Emirates towers), le musée est un monument expressif et dynamique, il en résulte un meilleur raccordement urbain au site et aux importants tours à proximité (*Fig.114*).

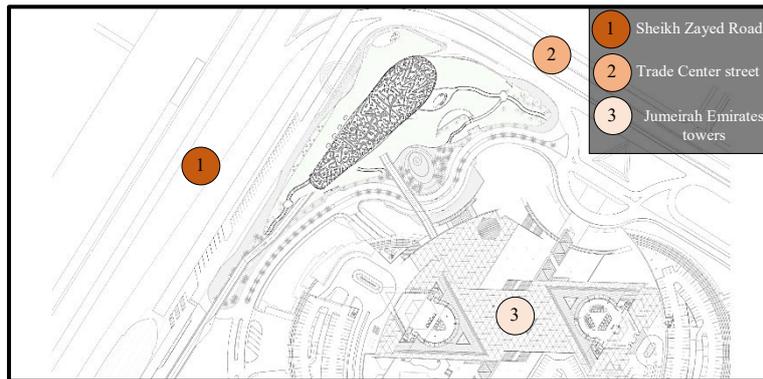


Figure 114: Plan de masse de musée du Futur
(Source : Google Earth Pro, réadapté par Auteur, 2023)

D. Accessibilité

Le projet est accessible par les différents moyens de transport : véhicules, autobus, ainsi que la présence d’une station de métro au sein de bâtiment plus d’un parking sous-sol (*Fig.115*).

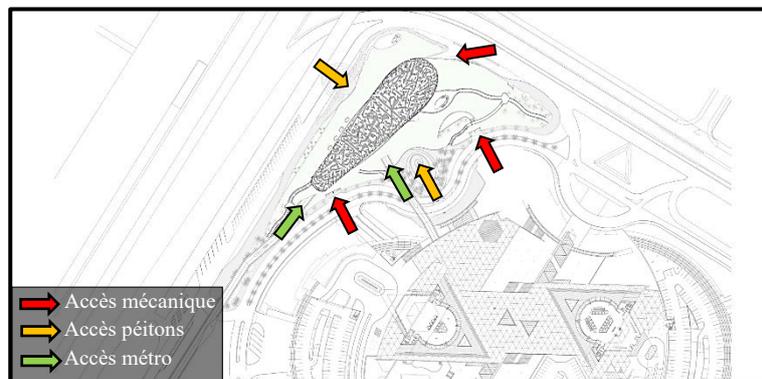


Figure 115: Accessibilité de musée du Futur
(Source : Google Earth Pro, réadapté par Auteur, 2023)

III.2.3.3. Dimension conceptuelle

A. Principe de conception

La conception de musée est composée de trois parties principales : la colline verte, le bâtiment et le vide. La colline verte représente la terre – avec ses racines en place – le temps et l’histoire. Il sert également à élever discrètement le musée au-dessus de la ligne de métro adjacente et créer un parc surélevé. De même, la structure en forme de tore symbolise la capacité

de l'humanité à innover et à repousser les limites de l'ingénierie et de la construction modernes. Le vide elliptique, d'autre part, est une expression de « l'inconnu » qui cherche à inspirer les créateurs d'aujourd'hui à faire face à l'avenir non écrit de l'humanité (Fig.116).

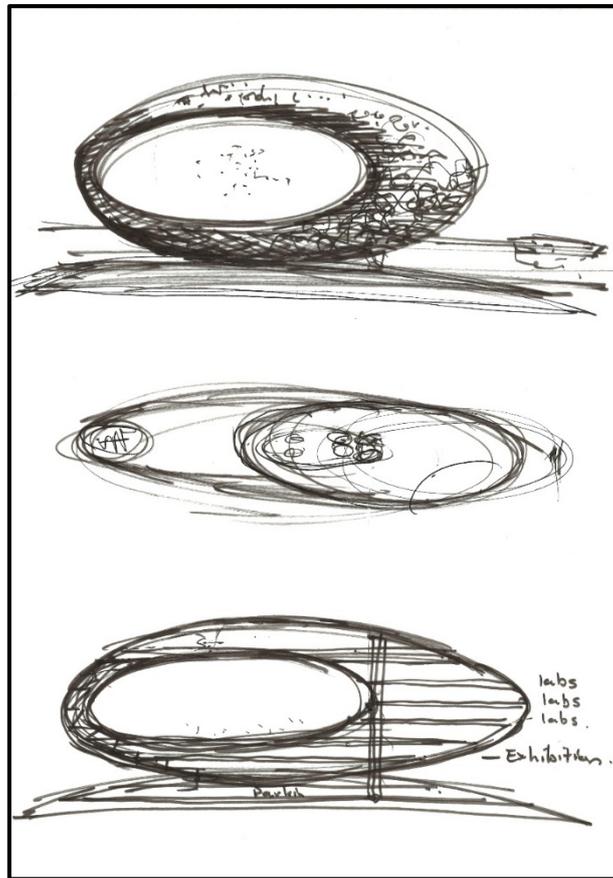


Figure 116: Principe de conception du musée de Futur
(Source : www.killadesign.com)

B. Orientation

Le projet est long de Nord-est en Sud-ouest et cet allongement suivant l'axe de l'avenue de Sheikh Zayed Road (Fig.117).

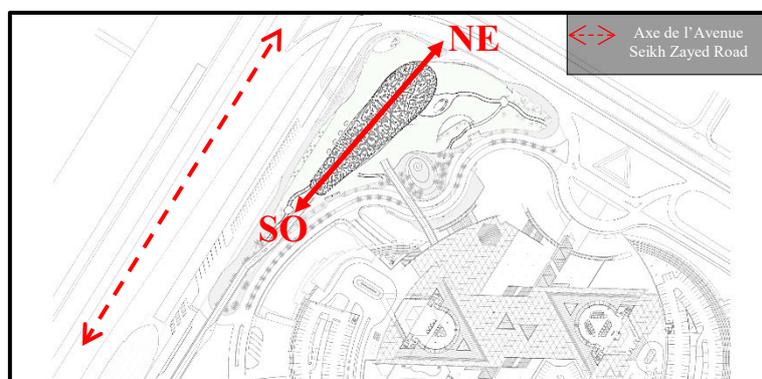


Figure 117: Orientation du musée de Futur
(Source : www.killadesign.com réadapté par Auteur,2023)

C. Volumétrie

Le volume est circulaire, il représente une forme futuriste, ouvre un nouveau chemin loin des tours qui dominent les skylines partout (Fig.118).



Figure 118: Volume du musée de Futur (Source : www.killadesign.com, réadapté par Auteur, 2023)

D. Façades

La façade est illuminée par plus de 14000 mètres de calligraphie arabe, elle est une toile pour les citations de Sheikh Mohammed Bin Rashid Al Maktoum (premier ministre et ministre de la Défense des Émirats arabes unis) rendues dans la calligraphie de Mattar bin Lahej.

La façade du musée du Futur est en acier inoxydable et se compose de 1024 pièces fabriquées par un procédé robotisé spécialisé, couvrant une surface totale de 17600 m². Le Musée mesure 77 mètres/225 pieds et occupe une superficie totale de 30 548 m².



Figure 119: Façade du musée de Futur (Source : museumofthefuture.ae)



Figure 120: Détail de façade du musée de Futur (Source : museumofthefuture.ae)

E. Structure

Pour traiter toutes ces complexités, la structure est toroïdale, abrite une superficie de 30 000 m² répartie sur sept étages, a été construite sans aucune colonne de soutien. Conçue en fibre de verre et par un diagrid d'acier inoxydable. Il s'agissait, de développer des outils de conception paramétrique avec des algorithmes de croissance « pour optimiser numériquement l'efficacité du diagrid structurel primaire, de la façade et des éléments de vitrage ». Le logiciel inclus Revit avec Dynamo et Rhino avec Grasshopper. De même, l'utilisation de BIM a été déterminante au cours du processus, créant un modèle numérique précis avec une collaboration multidisciplinaire. Il a également été utilisé pour produire tous les dessins et pour la détection de choc en réalité virtuelle, les tolérances de déviation et les séquences de construction en temps réel sur place (*Fig.121*), (*Fig.122*).



Figure 121: Structure du musée de Futur
(Source : en.wikiarquitectura.com)

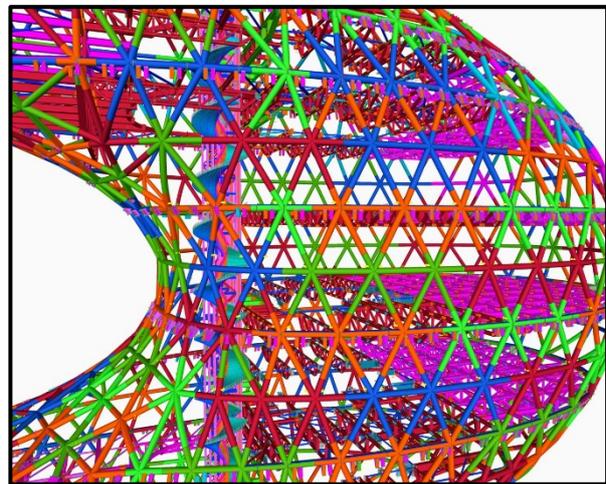


Figure 122: Détail structure toroïdale du musée de Futur (Source : www.killadesign.com)

III.2.3.4. Dimension fonctionnelle

A. Analyse de l'intérieur

a. Principe d'organisation et circulation

Le bâtiment de 78 mètres de haut accueille 6 salles d'exposition et 1 étage administratif au-dessus d'un podium de 3 étages et une terrasse F+B, avec auditorium, commerces, parking et services. Sur une surface totale de 30000 m², il abrite des espaces d'exposition pour des idéologies, des services et des produits innovants, ainsi que des salles de théâtre, un laboratoire et un centre de recherche.

Le musée du Futur comprend une salle polyvalente de 1000 places, une salle de conférences de 345 places ainsi que de nombreux laboratoires. Cinq étages de galerie contiennent des

expositions consacrées à l'exploration spatiale, une reconstitution numérique de la forêt amazonienne et des prototypes de produits futurs (Fig.123).

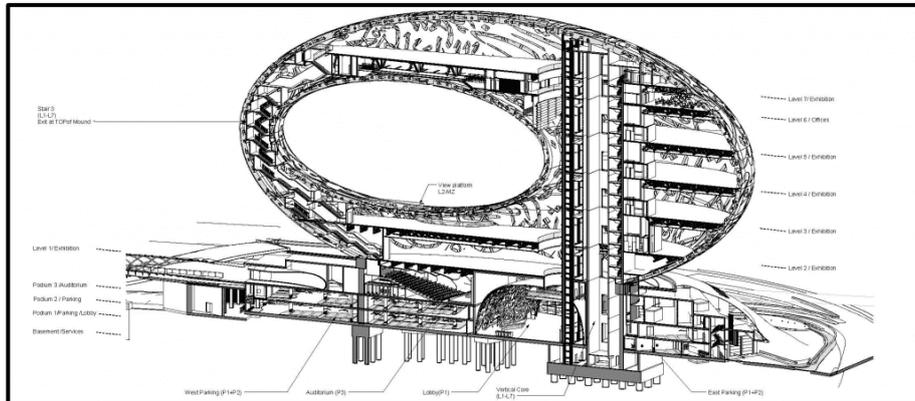


Figure 123: Principe d'organisation intérieure du musée de Futur (Source : cdn.laticrete.com)

Une large halle à l'entrée comprend un escalier autoportant à double hélice, inspiré de la forme de l'ADN, et des ascenseurs de verre faisant penser à des bulles qui flottent dans l'air, l'impressionnante structure de la circulation accueillant les visiteurs à l'intérieur du musée, avant de monter en flèche, menant à chacun des quatre étages de musée (Fig.124), (Fig.125).



Figure 124: hall d'accueil du musée de Futur (Source : www.killadesign.com)

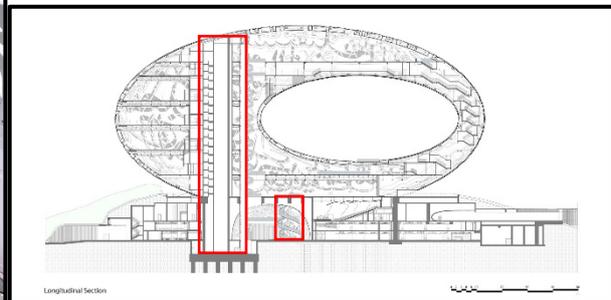


Figure 125: Coupe du musée de Futur (Source : www.killadesign.com, réadapté par Auteur, 2023)

III.2.3.5. Synthèse

Considéré comme un « musée vivant », il a su allier les éléments des expositions traditionnelles, pour que les visiteurs arrivent à voir plus loin que le présent pour mieux appréhender les possibilités illimitées que pourrait offrir le futur, comme démontré dans l'analyse :

- **Programme** : Hall, auditorium, théâtre, commerces, parking et services, administration, 6 étages d'expositions (Institué de santé, Oasis, Futur héros, Notre futur, Station spatiale...)

- **L’accessibilité** : Le projet est implanté sur la principale artère de la ville de Dubaï (Av. Sheikh Zayed Road), il Occupe un emplacement privilégié à côté des tours Emirates, le musée est un monument expressif et dynamique. Plus la présence d’une station de métro au sein de bâtiment et d’un parking sous-sol.
- **Matériaux et structure** : La structure de musée est toroïdale en acier inoxydable il est soutenu non pas par des colonnes traditionnelles. Un logiciel BIM structurel, a été utilisé compte tenu de la géométrie non conventionnelle du musée et des quantités massives de données. Le projet a adopté de nombreux principes de conception novateurs concernant les technologies et les matériaux de construction. Il comprend de nombreux matériaux à contenu recyclé — dont les façades intérieures blanches imprimées en 3D.

III.2.4. Synthèse écologique globale

D’après l’étude des trois exemples, qui sont situés dans des zones climatiques différentes dans le monde, on a tiré des stratégies écologiques (passives et celles actives) également différentes selon le contexte climatique de la localisation de chaque projet :

III.2.4.1. Exemple 01 : Experimentarium à Danemark

- **L’isolation acoustique** : l’utilisation de surfaces dures partout, couplée avec le bruit et les bavardages de milliers de visiteurs quotidiens, les architectes ont dû prêter une attention particulière à l’acoustique. Leur solution a été d’installer des panneaux de plafond (Troldekt) qui offrent une surface insonorisante très performante qui contraste considérablement avec les éléments en cuivre, aluminium et verre et complète l’atmosphère intérieure.
- **Façade double peaux** : les caisses du volume sont habillées d’une façade légère double peau en panneaux d’aluminium perforés pour : la rénovation énergétique des façades existantes, assurer une ventilation naturelle, aussi qui correspondent au besoin d’éclairage et permet de la pénétration de la lumière du jour, diminuer les déperditions thermiques pour l’isolation acoustique.
- La conception permet une bonne protection des façades contre les variations climatiques tout au long de la journée.
- **La lumière naturelle** : Plus de l’effet de la façade double peaux perforée, les deux cours intérieures sont dotées de toits transparents constitués de verrières modulaires.

- **Système de pompe à chaleur (PAC) réversible :** La température de bâtiment reste idéale tout au long de l'année avec l'installation d'un système écologique de chauffage et de refroidissement, qui permet de chauffer le bâtiment, et de l'eau sanitaire, la PAC extrait de l'énergie à l'extérieur de bâtiment puis la convertit et la restitue à l'intérieur. Ce système est inversé pour la climatisation de bâtiment, la PAC récupère l'air chaud à l'intérieur de bâtiment et l'expulse, et dans le même temps, elle récupère l'air extérieur qu'elle réfrigère pour le diffuser dans le bâtiment (*Fig.126*).

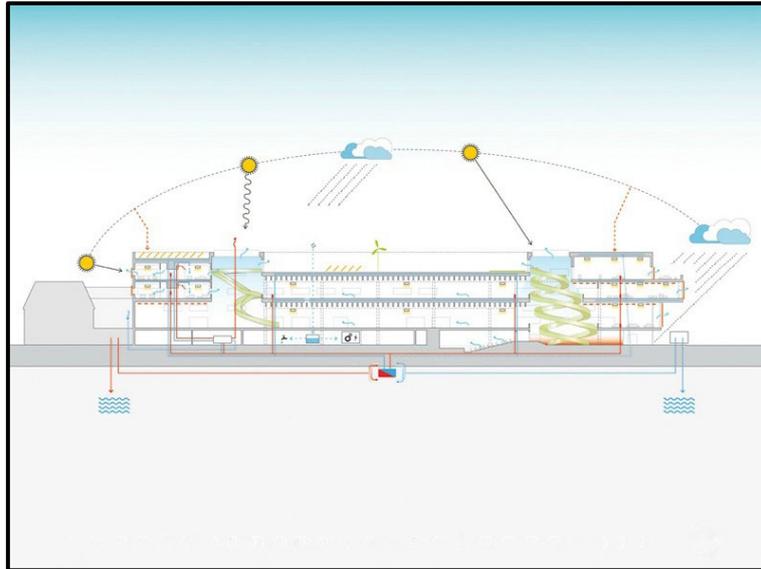


Figure 126: Schéma des éléments écologiques intégrés dans le projet d'Experimentarium (Source : www.dezeen.com)

III.2.4.2. Exemple 02 : Cité des sciences et de l'industrie à Paris

L'architecte dans ce projet a pris le parti de mettre en avant trois éléments écologiques fondamentaux sont : l'eau, la lumière naturelle et la végétation. Le projet est un véritable refuge pour la faune et la flore, profitant de sa proximité avec le Canal de l'Ourcq, et les espaces verts de La Villette -Paris-.

- **L'eau :** le site de projet est un grand réservoir d'eau au carrefour de trois canaux créés pour alimenter les fontaines parisiennes (canal de l'Ourcq, canal Saint Denis et canal Saint Martin). L'eau est utilisée en cascade entre le niveau haut et le niveau bas des douves, ainsi que le projet était posé sur son socle entouré d'eau.
- En côté sud, l'architecte a creusé jusqu'aux fondations sans remblayer, ces fouilles ont été l'occasion d'amener l'eau du canal de l'Ourcq autour du bâtiment pour créer les douves.

- **La lumière naturelle** : La lumière naturelle pénètre ainsi largement à l'intérieur du bâtiment, notamment par les deux coupoles et la façade sud, les coupoles étaient à l'origine rotatives, comprenant des miroirs qui suivaient la course du Soleil.
- En côté sud, l'architecte a creusé jusqu'aux fondations sans remblayer, pour faire gagner des mètres carrés utilisables et introduire la lumière dans les espaces inférieurs (niveau -1 et niveau -2).
- **La végétation** : Les espaces verts de la Villette qui contient des radeaux tapissés de nattes en fibres de coco sur lesquelles poussent des plantes de berges et des plantes aquatiques. Pour rendre au bord des bassins végétalisés, des escaliers et un ascenseur sont à votre disposition. Les plans d'eau situés au nord-ouest du bâtiment accueillent de grandes structures "en fleurs de lotus".
- **Les serres** : La façade sud est constituée de trois immenses serres de 32 m de côté sur 8 mètres de profondeur, a donné naissance à une façade en vis à vis du Parc traits d'union entre le Parc et la Cité. Ces serres destinées à récupérer l'énergie solaire et à accueillir la végétation.



Figure 127: Les serres de façade sud de la cité des sciences et de l'industrie
(Source : de.foursquare.com)



Figure 128: Principe d'Eau, végétation, lumière
(Source : www.cite-sciences.fr)

III.2.4.3. Exemple 03 : musée du Futur à Dubaï

Le bâtiment se présente comme un modèle de conception écoénergétique. C'est en effet l'un des très rares bâtiments du Moyen-Orient à avoir obtenu la certification "LEED Platinum" la plus haute distinction en matière de développement durable pour un bâtiment public, par des stratégies et des techniques écologiques. Au total, cela a contribué à une réduction de 45 % de la consommation d'eau et des économies d'énergie totales de 25 %. Il en résulte un bâtiment à faibles émissions de carbone, ces stratégies sont les suivantes :

- **Une stratégie active par les énergies renouvelables :** L'intégration des énergies renouvelables, en raison de production d'énergie, le bâtiment est alimenté par 4 000 mégawattheures par an d'énergie solaire générée par un parc de panneaux solaires situés à proximité, sur le toit d'un parking, sont directement câblés dans les salles de transformateurs du musée.
- **Une stratégie passive :** par des systèmes de récupération, de réduction d'énergie et de contrôle passif. Le bâtiment est équipé des systèmes d'énergie solaire passive et de récupération d'eau et d'air. Il est équipé de systèmes de refroidissement et de ventilation intelligents, qui permettent de réduire la consommation d'énergie, et d'un système de récupération d'eau de pluie, qui permettent de réduire l'empreinte carbone du bâtiment :
 - Il y a des moteurs de ventilation des pompes dans le bâtiment, plus des capteurs dans tout le bâtiment qui mesure l'occupation des gens-là ou ils sont ce qu'ils font, puis cela ajoute plus d'air et d'éclairage, il s'ajuste constamment dans un système de gestion de bâtiment, donc c'est constamment étant surveillé pour réduire la consommation d'énergie globale, ou même temps de gagner plus de l'énergie renouvelable.
 - Un système qui assure la qualité de l'air, par un système de filtrage de l'air extérieur pour l'admission fraîche, et la recirculation du filtrage, plus de La pénétration de lumière naturelle à travers les ouvertures de la calligraphie des façades.
 - L'isolation thermique : la façade en acier inoxydable dans une zone désertique elle capte beaucoup de chaleur, une solution a été utilisée par une couche d'isolation de 400 mm derrière la texture des façades, et d'un triple vitrage, ces solutions sont créées d'une façade isolante.



Figure 129: Les capteurs d'air et pénétration de lumière naturelle à l'intérieur du musée de Futur
(Source : www.lesnumeriques.com)

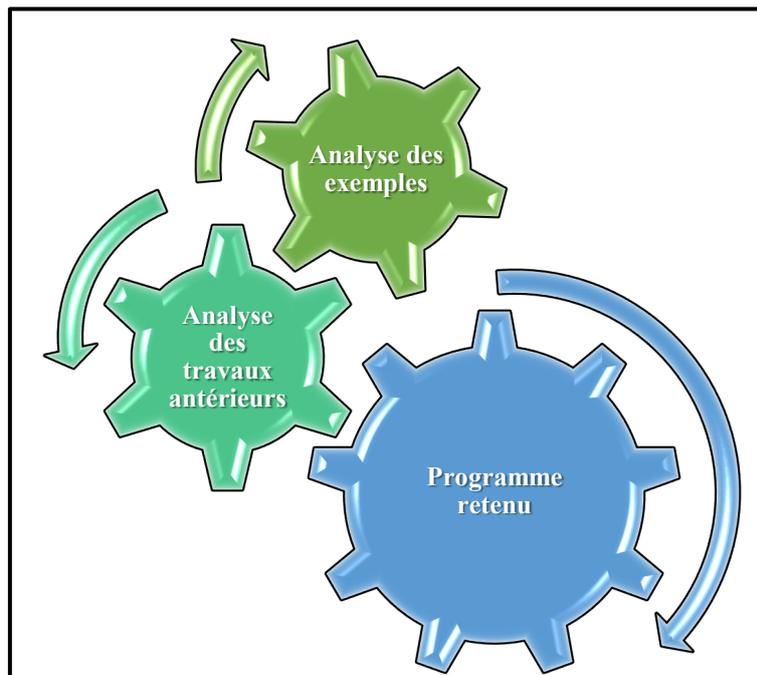
III.3. Programme du projet Experimentarium

III.3.1. La programmation architecturale

La programmation architecturale est la première étape du processus de conception architecturale dans le cadre duquel les valeurs pertinentes de l'occupant, de l'architecte et de la société sont identifiées ; les objectifs importants du projet sont énoncés ; des faits sur le projet sont découverts ; et les besoins en installations sont explicités. Il s'ensuit donc que :

Le programme architectural est le document dans lequel les valeurs, les buts, les faits et les besoins sont présentés (Hershberger, 2015).

Pour élaborer un programme du projet Experimentarium, tant qu'un nouveau concept dans la muséologie scientifique et technologique, on a passé par le processus de programmation suivant (*Fig.130*) :



*Figure 130: Schéma de programmation du projet
(Source : Auteur, 2023)*

Le programme élaboré est nous guidé de déterminer neuf grandes entités (*Fig.131*), chaque entité comprend des différents espaces. Parmi ces entités on distingue deux entités fondamentaux et complémentaires qui identifié le principe d'un Experimentarium, où le visiteur est invité à regarder, voir dans l'entité (Expositions), puis toucher, interagir, expérimenter à l'entité (Expérimentations) (*Annexe 3*).

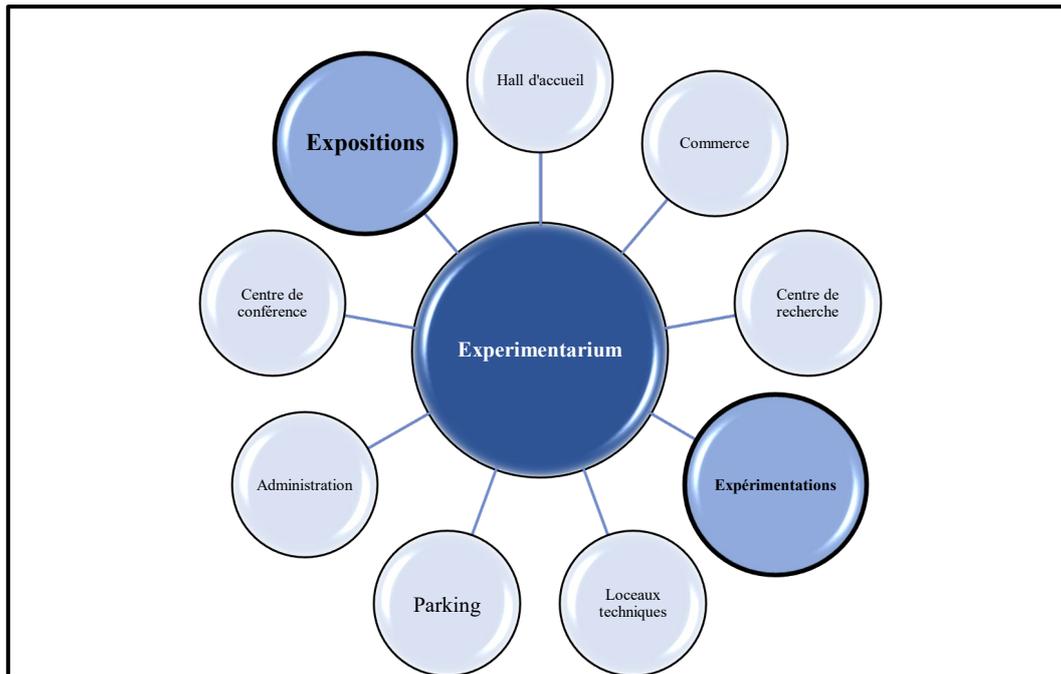


Figure 131: schéma des entités principales de projet (Source : Auteur, 2023)

III.3.2. Programme retenu

Tableau 9: Programme retenu (Source : Auteur, 2023)

Entité	Espace	Surface	Unité	S.T (m ²)	S.T.E (m ²)
Accueil	Hall d'accueil	500	1	500	595
	Orientations et informations	20	1	20	
	Espace billetterie	20	1	20	
	Espace distributeur d'argent	20	1	20	
	Espace prêt de poussettes	10	1	20	
	Infirmierie	25	1	25	
Commerce	Cafétéria et snack	150	1	150	340
	Restaurant	100	1	100	
	Espace vente souvenirs	40	1	40	
	Boutique	50	1	50	
Centre de conférences	Auditorium	460	1	460	600
	Salle de réunion	50	1	50	
	Hall multifonctionnel	50	1	50	

	Sanitaires	20	2	40	
Centre de recherche	Bibliothèque	200	1	200	440
	Carrefour numérique	200	1	200	
	Sanitaires	20	2	40	
Expositions	Expositions temporaires	100	1	100	710
	Exposition collection musée	100	1	100	
	Digital Amazon	60	1	60	
	Terre et nature	50	1	50	
	Biologie et corps humain	50	1	50	
	L'avenir	80	1	80	
	L'univers	80	1	80	
	Planétarium	150	1	150	
	Sanitaires	20	2	40	
Expérimentations	La cinéma interactif	100	1	100	1370
	Bubblearium	50	1	50	
	Circuit de physique	100	1	100	
	Be seen, be safe	50	1	50	
	Site de construction	100	1	100	
	La cellule de levure	50	1	50	
	Puzzler	100	1	100	
	The idea company	100	1	100	
	Le labyrinthe de lumière	100	1	100	
	Pulse plaza	100	1	100	
	Le tunnel des sens	150	1	150	
	Sous la peau	100	1	100	
	Maison des innovations	150	1	150	
	Espace d'allaitement	20	1	20	
	Espace attente parents	20	1	20	
	Vestiaires	20	2	40	
Sanitaires	20	2	40		
Administration	Bureau de directeur	40	1	40	

	Secrétariat	25	1	25	195
	Salle de réunion	50	1	50	
	Bureau de chef de secteur	20	1	20	
	Bureau de comptabilité	20	1	20	
	Archive	20	1	20	
	Sanitaires	10	2	20	
Parking sous-sol	Aire de stationnement	1000	1	1000	1000
Locaux techniques	Chambre électrique	50	1	50	160
	Local de contrôle	20	1	20	
	Chaufferie	20	1	20	
	Local entretien	20	1	20	
	Dépôt	50	1	50	

Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons étudié le principe et le concept d'un projet "Experimentarium" dans le but de construire une base de données utile afin d'établir un programme et des techniques de conception de notre cas d'études. Il s'avère que l'interaction et l'originalité de l'architecture intérieure de ce type de projets est matérialisée à travers différentes expositions interactives. Ces exemples présentent des concepts futuristes et intelligents susceptibles de transformer et améliorer la société de demain, elles font parfaitement écho à celles de l'extérieur du bâtiment par les formes de conception, les matériaux utilisés, ainsi que de l'intégration à son environnement. En apportant notamment des solutions technologiques et écologiques pour remédier aux consommations énergétiques causées par les installations énergivores intégrées. Donc, aujourd'hui la responsabilité d'un architecte est de créer des meilleurs bâtiments pour un milieu urbain plus sain et finalement des bâtiments éco énergétiques et durables.

Chapitre IV : Site d'intervention et éléments conceptuels

Introduction

Le climat fait partie indissociable de son site et de son environnement naturel. Dans ce chapitre on approche notre site d'intervention qui se situe à Guelma. Comme cadre de notre étude, nous allons l'aborder dans son contexte climatique. On va exposer ses données physiques et ses paramètres climatiques et enfin, on effectuera une analyse microclimatique du site d'intervention climatique selon les outils d'aide à la décision usuels (diagrammes solaires, diagramme psychrométrique...), définis par le logiciel Climate Consultant 6.0. La deuxième partie de ce chapitre est consacrée à fournir, également, les principales recommandations conceptuelles adaptées au climat spécifique de la ville de Guelma.

IV.3.2. Motivation de choix

Notre choix de site d'intervention a été fait suivant ces critères :

- ✓ Manque de ce type d'équipement à proximité ;
- ✓ Proximité d'un point d'appel (mémorial du martyr) ;
- ✓ Potentiel naturel et paysage favorable ;
- ✓ La situation stratégique : (les repères/ visible) ;
- ✓ La proximité d'un établissement culturel existant (Musée El moudjahid -Guelma-) ;
- ✓ Ensoleillement favorable pour l'exploitation de l'énergie solaire photovoltaïque ;
- ✓ Potentiel de l'énergie géothermique à la zone de Guelma.

IV.2. Analyse du site d'intervention

IV.2.1. Présentation de la ville de Guelma

IV.2.1.1. Contexte géographique : situation et les limites de la ville de Guelma

La Wilaya de Guelma se situe au Nord-Est de l'Algérie. Elle occupe une position géographique stratégique, en sa qualité de carrefour dans cette région (Nord-Est de l'Algérie), reliant le littoral des Wilaya de Annaba, El Taref et Skikda, aux régions intérieures telles que les Wilaya de Constantine, Oum El Bouagui et Souk Ahras, elle s'étend sur une superficie de 3686,84 km². Elle est limitrophe aux Wilayas d'Annaba, au Nord ; El Taref, au Nord-est ; Souk Ahras, à l'Est ; Oum El-Bouagui, au Sud ; Constantine, à l'Ouest ; Skikda, au Nord-ouest (Guechi, 2018).

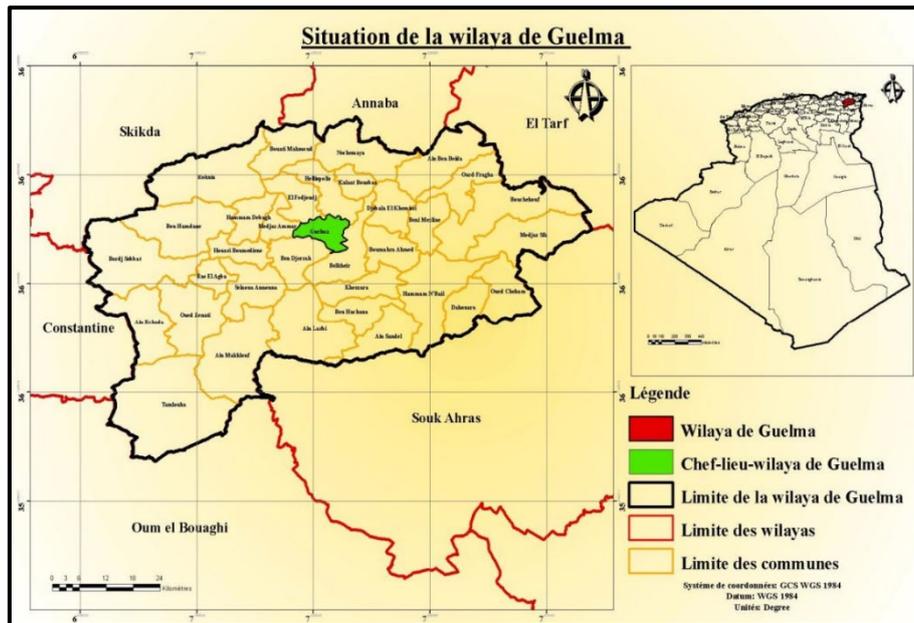


Figure 132: La situation géographique et administrative de la wilaya de Guelma (Source : (Guechi, 2018))

La géographie de la Wilaya se caractérise par un relief diversifié dont on retient essentiellement une importante couverture forestière et le passage de la Seybouse qui constitue le principal cours d'eau. Ce relief se décompose comme suit :

- **Montagnes** : 37,82 % dont les principales sont :
 - Mahouna (Ben Djerrah) : 1.411 m d'Altitude ;
 - Houara (Ain Ben Beidha) : 1.292 m d'Altitude ;
 - Taya (Bouhamdane) : 1.208 m d'Altitude ;
 - D'bagh (Hammam Debagh) : 1.060 m d'Altitude.
- **Plaines et Plateaux** : 27,22 %.
- **Collines et Piémonts** : 26,29 %.
- **Autres** : 8,67 %⁷².

La ville de Guelma se situe au cœur d'une grande région agricole à 290 m d'altitude, elle s'étend sur une superficie de 45 km². La ville entourée de montagnes (Maouna, Dbegh, Houara) ce qui lui donne le nom de ville assiette, sa région bénéficie d'une grande fertilité grâce notamment à la Seybouse et d'un grand barrage qui assure un vaste périmètre d'irrigation. La ville est limitée au nord par les communes de Héliopolis et El-Fedjoudj, et au Sud par

⁷² <https://www.dcwguelma.dz/fr/index.php/10-menu-principal/44-situation-geographique>

Bendjerah, à l'Est Belkheir et Boumehra et à l'Ouest Hammam Debagh et Houari Boumediène, alors qu'au Nord-Ouest elle est limitée par Medjez Amar⁷³

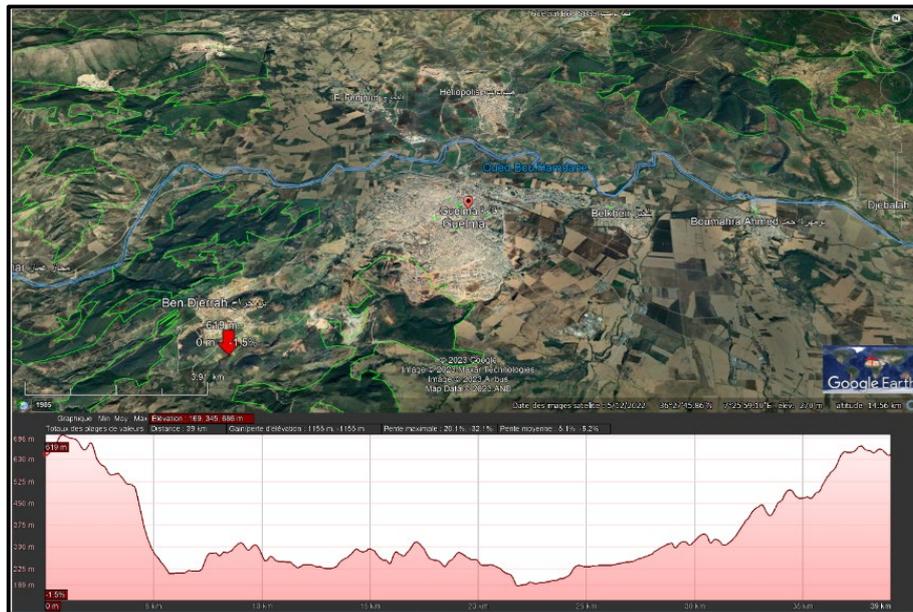


Figure 133: Le profil de dénivelé des montagnes qui entourées la ville de Guelma (Source : Google Earth Pro)

IV.2.2. Analyse climatique

La ville de Guelma bénéficie d'un climat tempéré chaud. L'été, à Guelma, les pluies sont moins importantes qu'elles ne le sont en hiver. La carte climatique de Köppen-Geiger y classe le climat comme étant de type Csa.

Climat tempéré chaud avec été sec et chaud (Csa) : Un climat où le mois le plus froid est plus chaud que $-3\text{ }^{\circ}\text{C}$ mais plus froid que $+18\text{ }^{\circ}\text{C}$ et les étés sont secs et chauds. Ce climat est généralement trouvé à l'intérieur des terres sur les côtés occidentaux des continents⁷⁴, (Fig.134).

⁷³ <https://www.interieur.gov.dz/index.php/fr/commune-%C3%A0-la-une/2125-commune-de-guelma-%C3%A0-la-une.html#faqnoanchor>

⁷⁴ fr.climate-data.org

La température moyenne maximale annuelle est égale à 25°C, et 12°C c'est la température moyenne minimale annuelle.

Tableau 10: La zone de confort des températures en 50 % humidité relative (Source : Climate Consultant 6.0, réadapté par Auteur,2023)

Zone de confort	
Hiver	Été
20.5°C - 24°C	24°C – 26.5°C

IV.2.2.1.1. Le graphique horaire de température

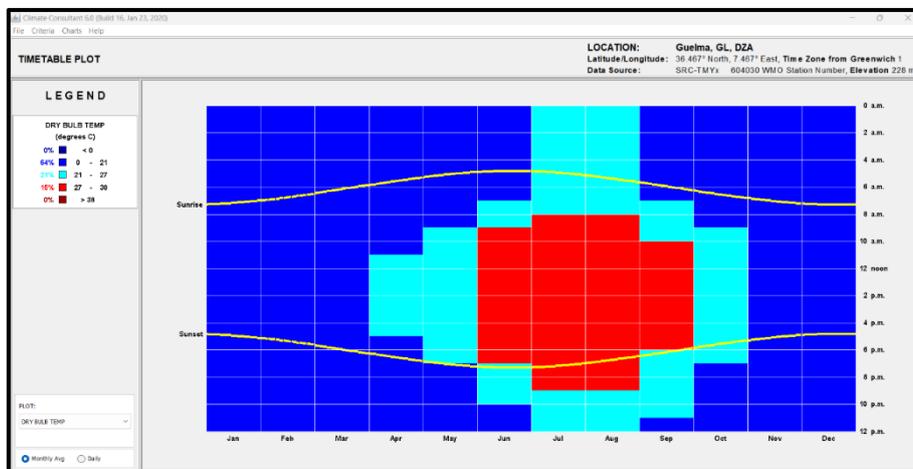


Figure 136: Graphique horaire des températures de la ville de Guelma (Source : Climate Consultant 6.0)

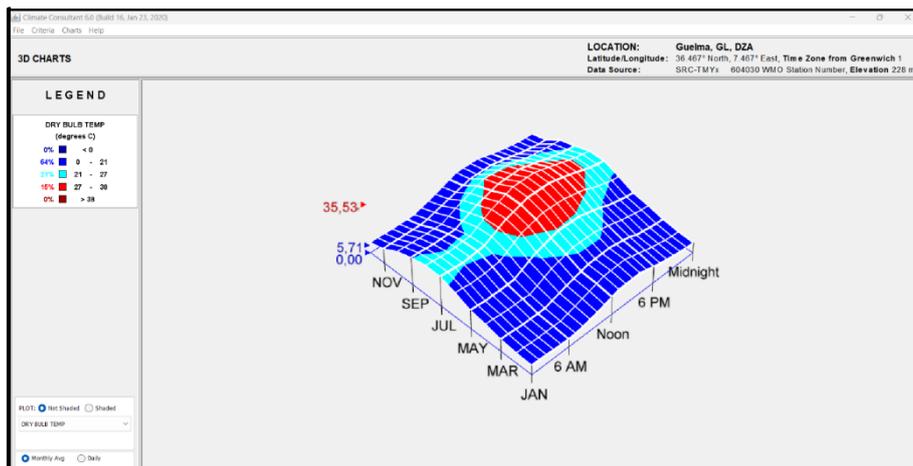


Figure 137: Graphique horaire 3D des températures de la ville de Guelma (Source : Climate Consultant 6.0)

Tableau 11: Pourcentage des températures de la ville de Guelma (Source : Climate Consultant 6.0, réadapté par Auteur, 2023)

Température	0°C	0°C-21°C	21°C-27°C	27°C-38°C	>38°C
Pourcentage	0%	64%	21%	15%	0%

Tableau 12: Horaires et températures du zone de surchauffe de la ville de Guelma (Source : Climate Consultant 6.0, réadapté par Auteur, 2023)

Mois	Juin	Juillet	Aout	Septembre
Horaires	9a.m à 7p.m	8a.m à 9p.m	8a.m à 9p.m	10a.m à 6p.m
Température	27°C-38°C	27°C-38°C	27°C-38°C	27°C-38°C

IV.2.2.1.2. Les moyennes journalières mensuelles des températures sèches et humides

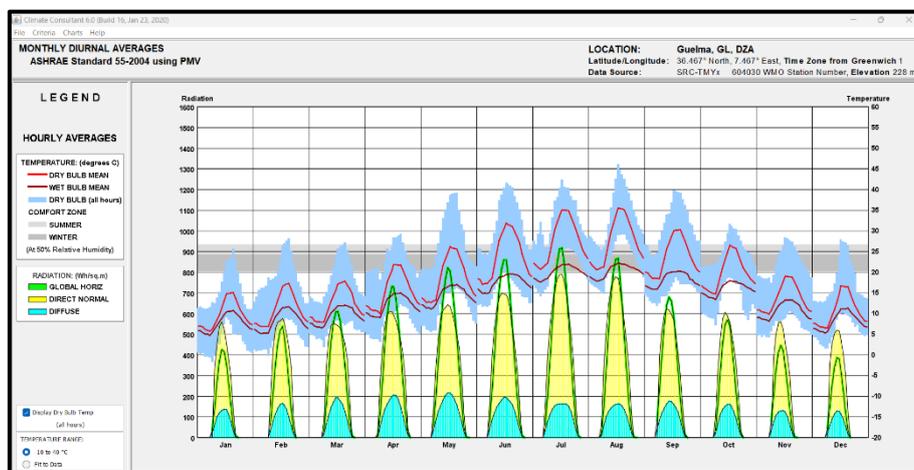


Figure 138: Les moyennes journalières mensuelles des températures sèches et humides de la ville de Guelma (Source : Climate Consultant 6.0)

Guelma enregistre un haut record de température sèche en mois d'Aout de 46,5°C, avec une moyenne de 35,53°C, et d'une moyenne maximale de température humide de 22°C.

IV.2.2.2. Les radiations solaires (Wh/m² par heure)

Les grands résultats de la quantité des radiations solaires par le logiciel Climate Consultant 6.0 sont obtenues si les valeurs de l'entrée de radiations en surface inclinée sont :

- Les degrés inclinés par rapport à l'horizontale : 45.0°
- En degrés du sud : -25.0° (Est)
- % Réflectance au sol : 20%

A l'échelle mensuelle : la haute moyenne maximale de rayonnement sur la surface totale à la ville de Guelma est enregistrée d'une valeur de 880 (Wh/m² par heure) en mois d'août, et en septembre une moyenne minimale est enregistrée d'une valeur égale à 10 (Wh/m² par heure).

A l'échelle annuelle : le haut record de la quantité des rayonnements est 1020 (Wh/m² par heure) en mois d'Avril, le bas record annuel est d'une valeur nulle en mois de novembre. La moyenne maximale annuelle des rayonnements est égale à 760 (Wh/m² par heure), et la moyenne minimale annuelle est de 40 (Wh/m² par heure) (Fig.139).

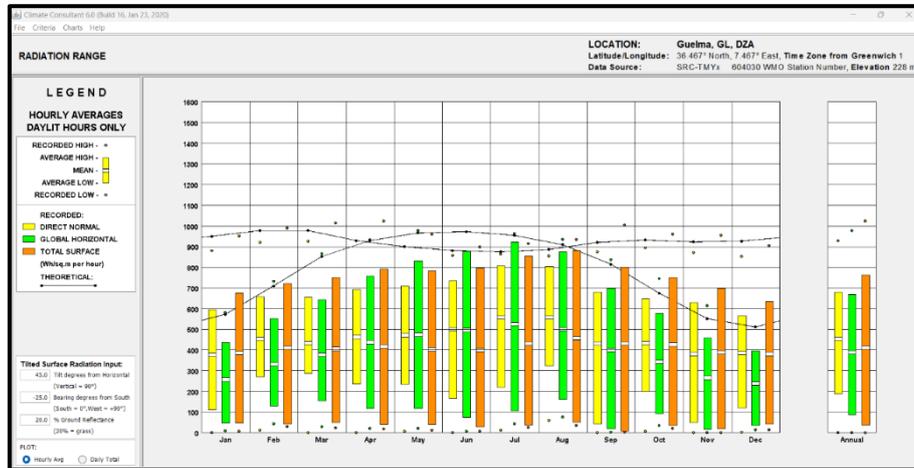


Figure 139: Quantité de radiations solaires de la ville de Guelma (Source : Climate Consultant 6.0)

IV.2.2.3. Diagrammes solaires

IV.2.2.3.1. Hiver – Printemps (De 21 Décembre à 21 Juin)

Selon les résultats de diagramme solaire en Hiver – Printemps (de 21 Décembre à 21 Juin) : la ville de Guelma expose pendant un large temps de 1394 heures dans la zone froide (Température < 20°C) qui nécessite d'ensoleillement, 542 c'est le nombre des heures qui sont dans la zone du confort (Température > 20°C), et la ville est expose 261 heures dans la zone chaude (Température > 27°C) qui nécessite un ombrage (Fig.140).

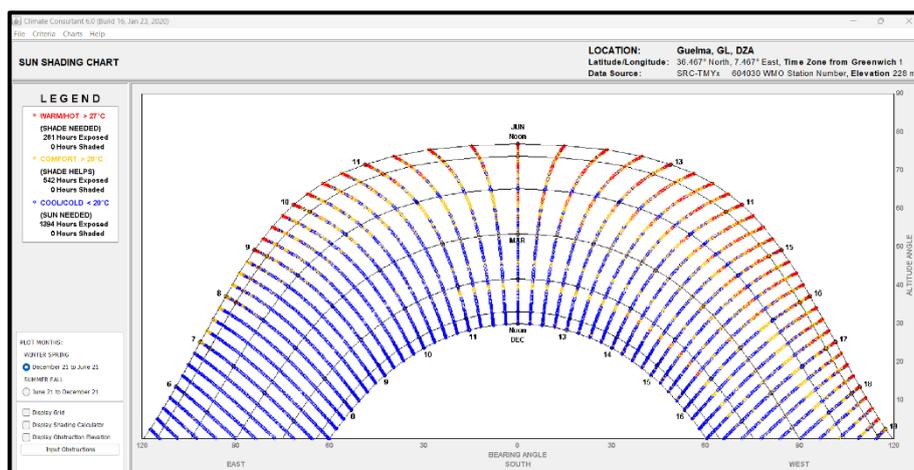


Figure 140: Diagramme solaire Hiver-Printemps de la ville de Guelma (Source : Climate Consultant 6.0)

IV.2.2.3.2. Été – Automne (De 21 Juin à 21 Décembre)

D'après les résultats de diagramme solaire en Été – Automne (de 21 Juin à 21 Décembre) : la ville de Guelma expose de 1027 heures dans la zone chaude (Température temps > 27°C) qui nécessite une solution d'ombrage, 555 heures sont dans la zone du confort (Température > 20°C), et en mois de temps la ville de Guelma expose 626 heures dans la zone froide (Température < 20°C) (Fig.141).

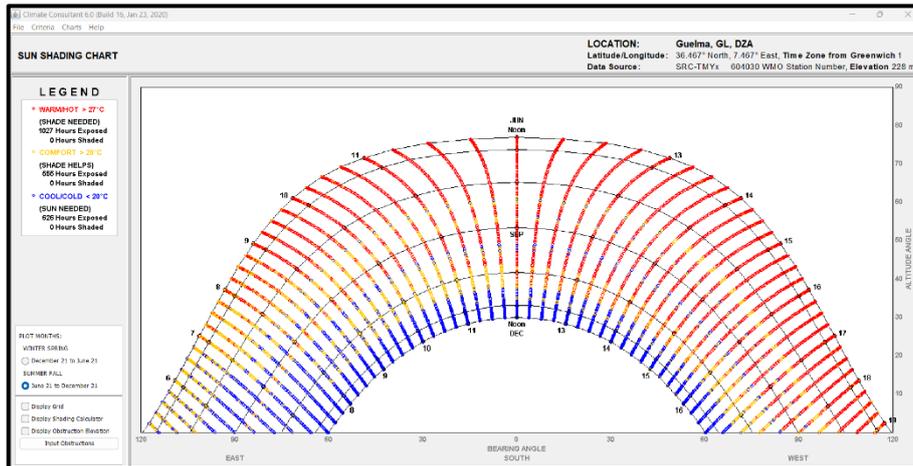


Figure 141 Diagramme solaire Été-Automne de la ville de Guelma (Source : Climate Consultant 6.0)

IV.2.2.4. L'éclairage naturel (lux)

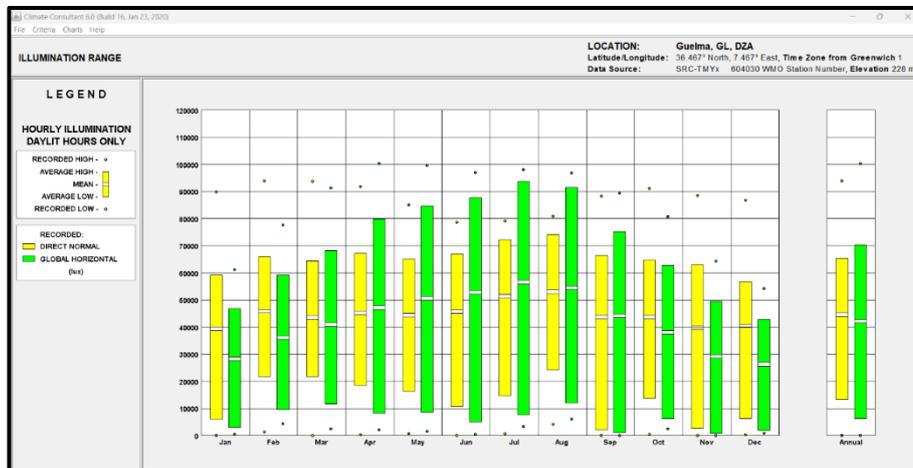


Figure 142: Gamme d'éclairage naturel de la ville de Guelma (Source : Climate Consultant 6.0)

IV.2.2.4.1. Eclairage naturel direct normal

A l'échelle mensuelle : l'éclairage naturel (Direct normal) à la ville de Guelma enregistre une haute moyenne maximale en mois d'Août d'une valeur de 74000 lux, et une valeur de moyenne minimale est enregistrée en mois de septembre de 2000 lux (Fig.142).

A l'échelle annuelle : la ville de Guelma enregistre un haut record annuel de quantité d'éclairage naturel (Direct normal) de 94000 en mois de février, et d'une valeur nulle comme un bas record annuel dans le mois : Janvier, Mars, Juin, Septembre et novembre. La moyenne maximale de l'éclairage naturel direct normal à la ville de Guelma égale à 65000 lux, et la moyenne minimale est de valeur de 13000 lux.

IV.2.2.4.2. Eclairage naturel global horizontal

A l'échelle mensuelle : L'éclairage naturel (global horizontal) à la ville de Guelma enregistre une haute moyenne maximale en mois d'août d'une valeur de 74000 lux, et une valeur de moyenne minimale est enregistrée en mois de septembre de 2000 lux.

A l'échelle annuelle : la ville de Guelma enregistre un haut record annuel de quantité d'éclairage naturel (Direct normal) de 94000 en mois de février, et d'une valeur nulle comme un bas record annuel dans le mois : Janvier, Mars, Juin, Septembre et novembre. La moyenne maximale de l'éclairage naturel direct normal à la ville de Guelma égale à 65000 lux, et la moyenne minimale est de valeur de 13000 lux.

IV.2.2.5. Le ciel

Le ciel de la ville de Guelma marque la haute moyenne maximale des masques de ciel en janvier de 94%, et une moyenne minimale de 1% est enregistrée en mois d'août.

A l'échelle annuelle : le ciel de la ville de Guelma change au cours de l'année où le haut record annuel de pourcentage des masques de ciel est de 100% (Ciel nuageux), et le bas record est d'une valeur nulle, ces deux moyennes sont enregistrées au cours de tous les mois de l'année (*Fig.143*).

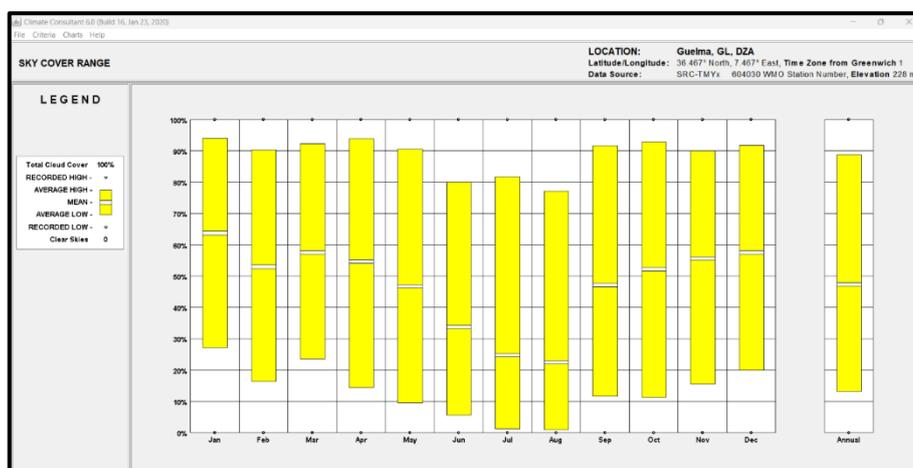


Figure 143: Gamme des masques de ciel de la ville de Guelma (Source : Climate Consultant 6.0)

IV.2.2.6. La vitesse des vents

A l'échelle mensuelle : la haute moyenne maximale de vitesse du vent est enregistrée d'une valeur de 5,8 m/s en mois de juin, et dans les mois de mars, mai, juillet et août une moyenne minimale est enregistrée d'une valeur nulle 0 m/s.

A l'échelle annuelle : le haut record de la vitesse du vent à la ville de Guelma est de 18m/s en mois de février, dans tous les mois de l'année un bas record est enregistré d'une valeur nulle. La moyenne maximale annuelle est égale à 4,5 m/s, et la moyenne minimale annuelle est de 0,1m/s (**Fig.144**).

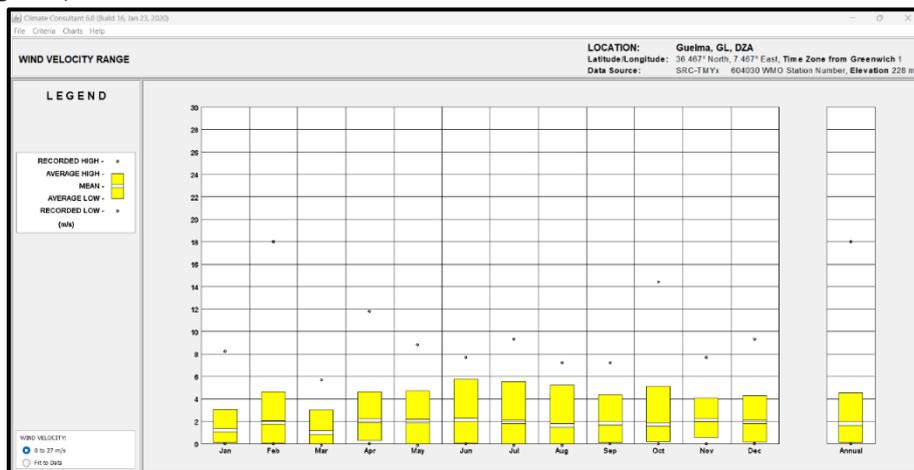


Figure 144: Gamme des vitesses du vent de la ville de Guelma (Source : Climate Consultant 6.0)

IV.2.2.7. La rose des vents

A l'échelle annuelle et pendant toutes les heures :

La grande exposition aux vents de la ville de Guelma pendant le plus pourcentage d'horaires de l'année (<10%) est du côté sud correspondre au haut record annuel vitesse d'une valeur de 18m/s et 16m/s.

La durée d'exposition, et la vitesse des vents de côté Sud et côté Ouest sont supérieures aux vents de côté Nord et coté Est (**Fig.145**).

Tableau 13: Températures et directions des vents de la ville de Guelma (Source : Climate Consultant 6.0, réadapté par Auteur, 2023)

Température	(0°C-21°C)	(21°C-27°C)	(27°C-38°C)
Vents	Sud, Sud-Est, Sud-Ouest, Ouest, Nord-Ouest	Nord-Ouest, Nord, Nord-Est, Est, Sud-Est	Nord-Est

Tableau 14: Humidités et directions des vents de la ville de Guelma (Source : Climate Consultant 6.0, réadapté par Auteur,2023)

Humidité	(30%-70%)	(>70%)
Vents	Nord-Ouest, Nord, Nord-Est, Est, Nord-Ouest	Nord-Est, Sud, Sud-Ouest, Ouest

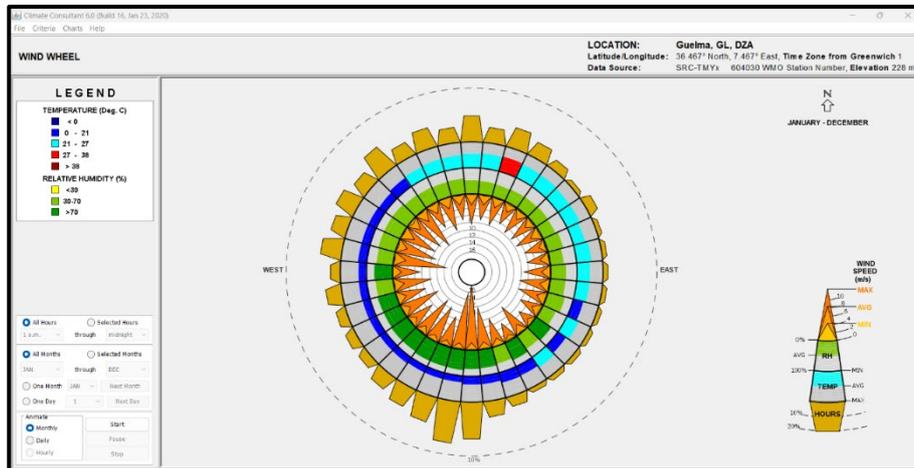


Figure 145: La rose des vents de la ville de Guelma (Source : Climate Consultant 6.0)

IV.2.2.8. Les températures du sol (moyenne mensuelle)

a. Profondeur de 0.5m

La haute température annuelle est enregistrée en mois d’Août de 26°C, et la basse température égale à 9,5°C en mois de février.

b. Profondeur de 2.0m

24°C c’est la haute température annuelle est enregistrée en mois d’Août, en revanche la basse température est d’une valeur de 12°C en mois de février.

c. Profondeur de 4.0m

La haute température annuelle est enregistrée en mois de septembre de 21,9°C, et la basse température égale à 14,5°C en mois de mars (**Fig.146**).

$$T_{\text{sol en profondeur}=0.5\text{m}} > T_{\text{sol en profondeur}=2.0\text{m}} > T_{\text{sol en profondeur}=4.0\text{m}}$$

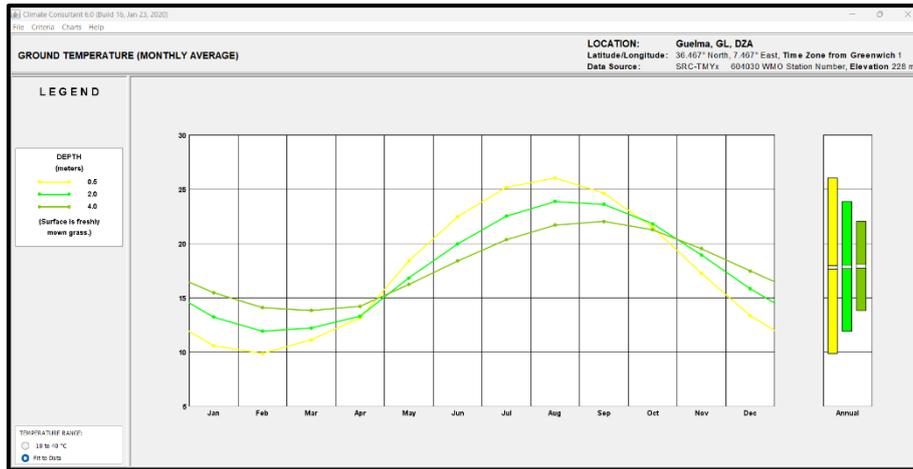


Figure 146: Les températures du sol moyennes mensuelles de la ville de Guelma (Source : Climate Consultant 6.0)

IV.2.2.9. Diagramme psychrométrique

Le diagramme psychrométrique de la ville de Guelma (du mois de janvier à mois de décembre) présente que le confort intérieur dans la ville est d'un pourcentage de 15,3% répartis en 1344 heures (1 mois et 26 jours), contre 85% (non confortable), qui cela nécessite des stratégies de conception du bâtiment pour optimiser le pourcentage de confort (Fig.147).

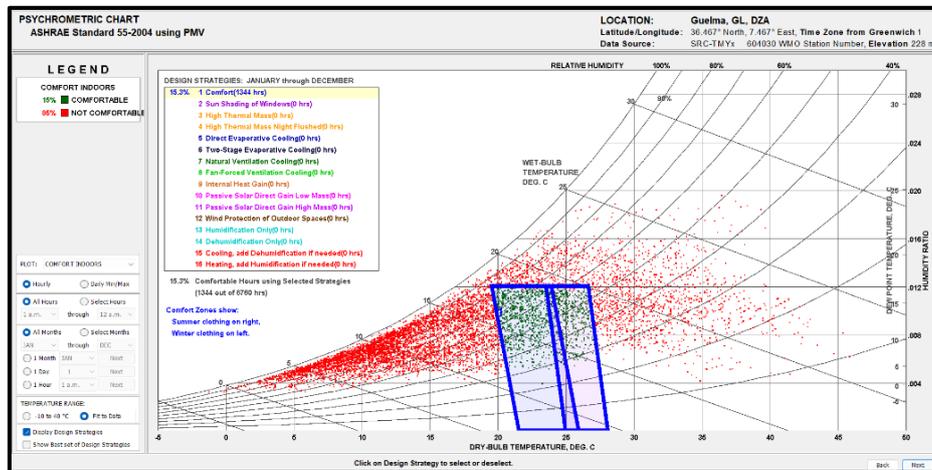


Figure 147: Diagramme psychrométrique de la ville de Guelma (Source : Climate Consultant 6.0)

- Pour améliorer la situation de confort à la ville de Guelma on a tiré des stratégies de conception pour permettre d'atteindre un confort à 100 % (Tab.15).

Tableau 15: Les stratégies de conception (Source : Climate Consultant 6.0, réadapté par Auteur, 2023)

Stratégies	Pourcentage	Horaires
1. Gain de chaleur interne ;	30,3 %	2658 heures (3 mois et 20 jours)
2. Chauffage, avec l'ajoute d'humidification si nécessaire ;	22,6%	1979 heures (2 mois et 21 jours)

3. Gain solaire direct passif masse élevée ;	22,3 %	1951 heures (2 mois et 21 jours)
4. Protection solaire des fenêtres ;	14,3 %	1257 heures (1 mois et 22 jours)
5. Masse thermique élevée (nuit) ;	8,9 %	778 heures (1 mois et 2 jours)
6. Refroidissement, avec l'ajoute de déshumidification si nécessaire ;	6,8 %	595 heures (25 jours)
7. Déshumidification.	6,6 %	582 heures (25 jours)

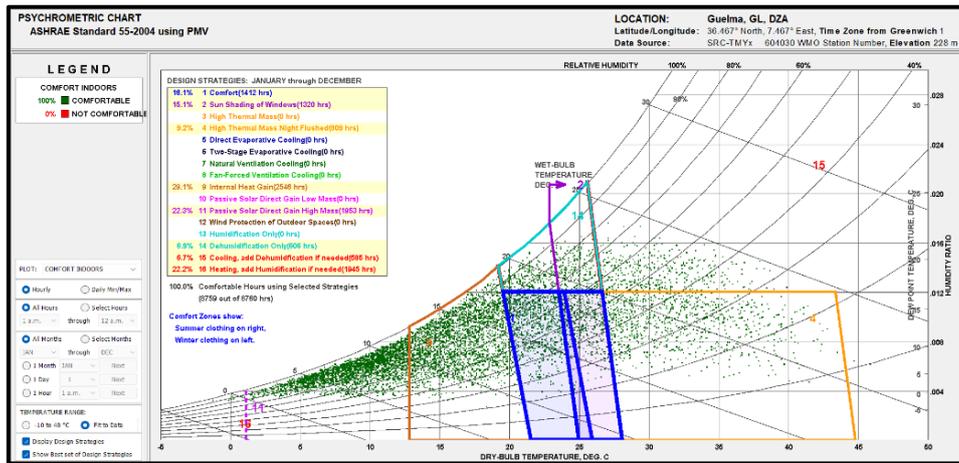


Figure 148: Diagramme psychrométrique de la ville de Guelma avec les stratégies de conception pour un confort à 100 %
(Source : Climate Consultant 6.0)

IV.2.3. Présentation de terrain

IV.2.3.1. Situation et limites

IV.2.3.1.1. Situation

Le terrain d'intervention est situé à l'extrême nord et à l'entrée de la ville de Guelma.

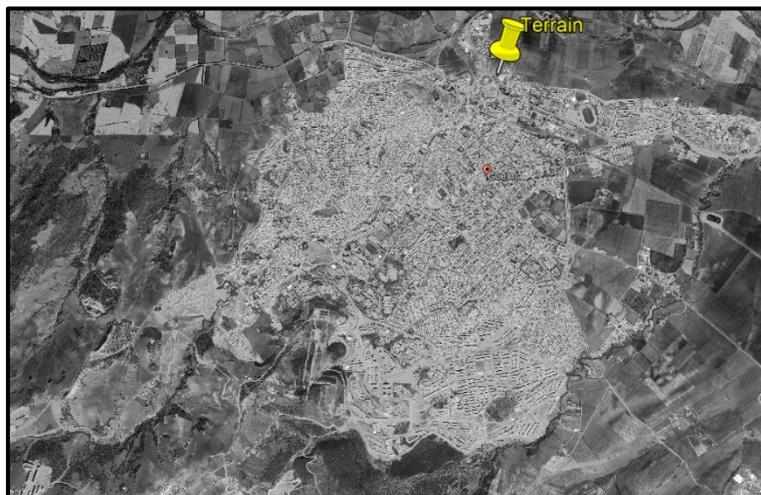


Figure 149: Situation du terrain dans la ville de Guelma
(Source : Google Earth Pro)

IV.2.3.1.2. Limites

Le terrain d'intervention est limité par le (Musée El moudjahid) et le sanctuaire du martyr par le côté Est, une servitude de ligne électrique M.T de côté Nord, et la servitude de route nationale N°21 du côté Sud à l'Ouest (*Fig.150*).

Selon le journal officiel de République Algérienne Démocratique Populaire :

A. Limite de la route nationale

Le Décret exécutif n° 91-175 du 28 mai 1991, définissant les règles générales d'aménagement, d'urbanisme et de construction. Ce décret, pris en application de la loi n° 90-29 relative à l'aménagement et l'urbanisme, fixe les règles générales d'aménagement, d'urbanisme et de construction. Et dans le chapitre 1 : Règles générales d'aménagement et d'urbanisme :

Art. 10. Conformément aux dispositions du décret n° 68-06 du 11 janvier 1968 susvisé, et eu égard aux nécessités de l'hygiène, de la sécurité et de la tranquillité des habitants de l'immeuble à construire, le permis de construire ne peut être accordé pour une construction destinée à l'habitation si elle doit être édifiée à moins de :

- Cinquante mètres de part et d'autre de l'axe des autoroutes,
- Trente-cinq mètres de part et d'autre de l'axe des grands itinéraires ainsi que de l'axe de voies inscrites sur une liste établie par décret pris sur rapport du ministre chargé des travaux publics pour la voirie nationale et sur rapport conjoint du dit ministre et du ministre chargé des collectivités locales pour les autres voies.
- Ces distances sont mesurées horizontalement et sont respectivement portées à quarante mètres et vingt-cinq mètres lorsqu'il s'agit de constructions destinées à un usage autre que l'habitation⁷⁵.

B. La servitude de la ligne électrique

Arrêté interministériel du 12 Rajab 1432 correspondant au 14 juin 2011 fixant les limites, conditions et les modalités d'occupation du périmètre de protection autour des installations et infrastructures de transport et de distribution d'électricité et de gaz.

- Délimitations des périmètres de protection

⁷⁵ Décret exécutif n° 91-175 du 28 mai 1991 du journal officiel de République Algérienne Démocratique Populaire

Art. 4. Les limites du périmètre de protection des installations et infrastructures visées ci-dessus sont définies par rapport à la nature de l'ouvrage d'une part, et par rapport à la tension ou la pression de l'ouvrage concerné, d'autre part. Ces limites sont définies comme suit :

1. LIGNES ELECTRIQUES :

b) Lignes électriques aériennes à l'extérieur des agglomérations :

- Une distance de quinze (15) mètres de part et d'autre des lignes électriques de tension supérieure à un (1) KV⁷⁶.

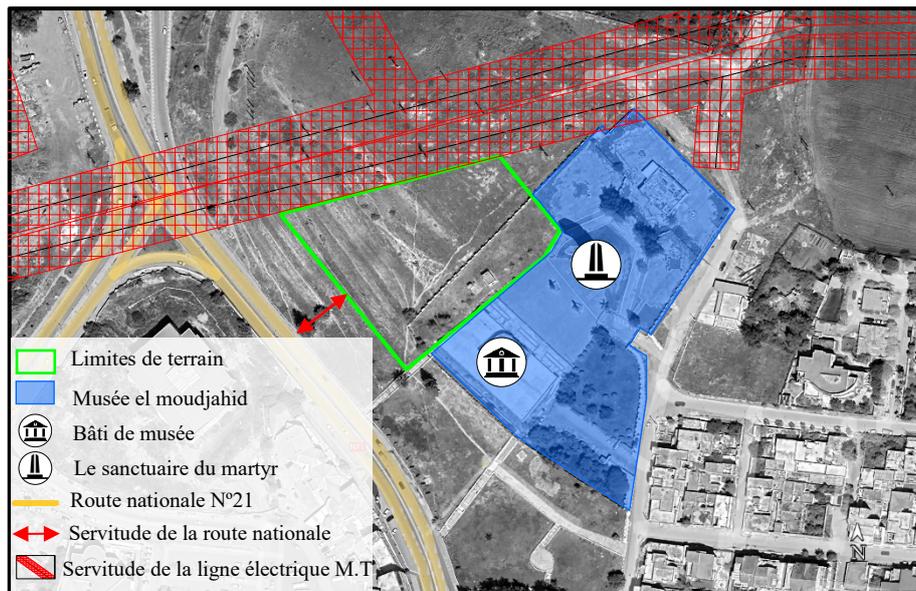


Figure 150: Limites du terrain d'intervention (Source : Google Earth Pro, réadapté par Auteur, 2023)

IV.2.3.2. Environnement immédiat

Le terrain d'intervention assure une intermodalité, il se trouve sur un nœud de croisement important entre la route nationale N° 21 (Est-Ouest) et une route nationale N° 20 (Nord-sud), dans un tissu urbain dense, se compose premièrement de la gare routière de la ville de Guelma, ainsi d'une cité résidentielle (Cité MEKHANCHA) et une cité militaire, plus des équipements administratifs (CMS 5 Guelma, Conservation des forêts, Siège de la Protection Civile et sa Direction), le terrain est à côté d'un équipement culturel important dans la ville de Guelma (Musée El Moudjahid), et le Sanctuaire du martyr qui représente un mémorial de l'histoire à l'échelle de toute la Wilaya (**Fig.151**).

⁷⁶ Arrêté interministériel du 12 Rajab 1432 correspondant au 14 juin 2011 du journal officiel de République Algérienne Démocratique Populaire



Figure 151: Environnement immédiat du terrain d'intervention
(Source : Google Earth Pro, réadapté par Auteur, 2023)

IV.2.3.3. Morphologie

IV.2.3.3.1. Forme

La forme du terrain est un Trapèze à angle droit.

IV.2.3.3.2. Superficie et dimensions

La superficie du terrain est de 8072 m^2 , avec des dimensions du périmètre : $L_1 = 44,72 \text{ m}$; $L_2 = 117,45 \text{ m}$; $L_3 = 101,1 \text{ m}$; $L_4 = 107,93 \text{ m}$ (Fig.152).

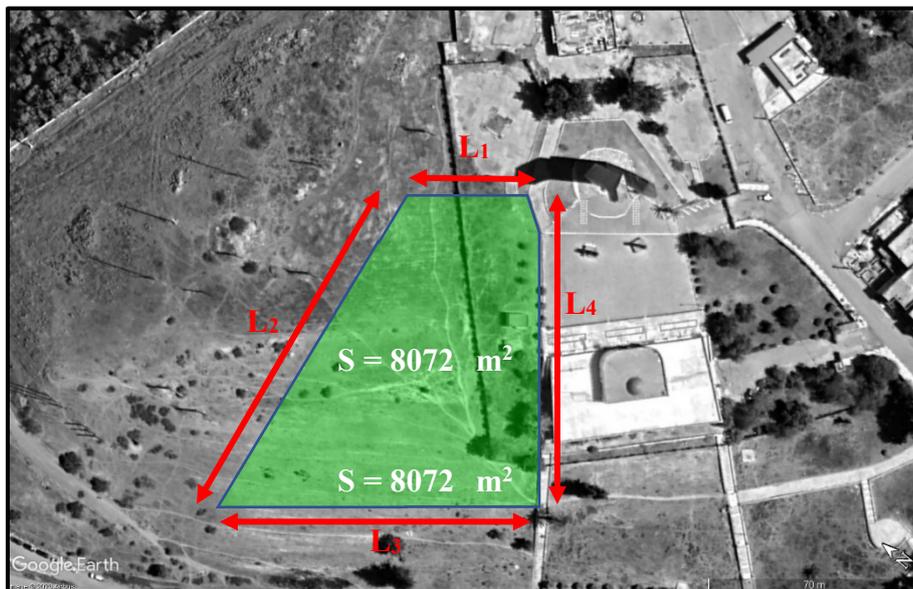


Figure 152: Morphologie du terrain
(Source : Google Earth Pro, réadapté par Auteur, 2023)

IV.2.3.4. Topographie

IV.2.3.4.1. Longitudinale



Figure 153: Coupe topographique longitudinale du terrain d'intervention
(Source : Google Earth Pro, réadapté par Auteur, 2023)

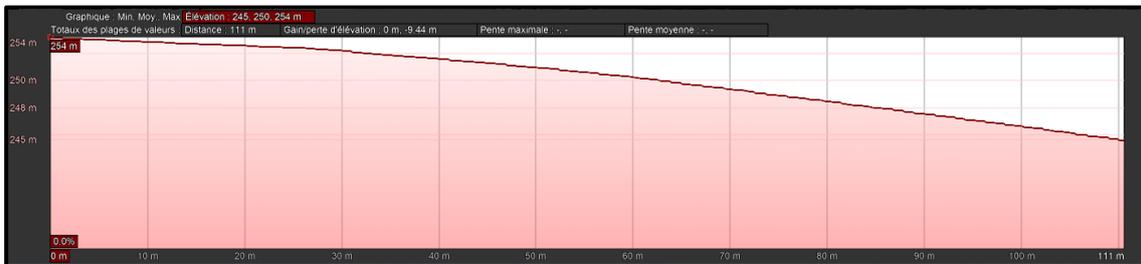


Figure 154: Le profil de dénivelé de la coupe longitudinale du terrain d'intervention
(Source : Google Earth Pro)

- Le terrain est accidenté, sa topographie longitudinale comporte une pente de 4,63 %.

IV.2.3.4.2. Transversale



Figure 155: Coupe topographique transversale du terrain d'intervention
(Source : Google Earth Pro, réadapté par Auteur, 2023)



Figure 156: Le profil de dénivellé de la coupe transversale du terrain d'intervention (Source : Google Earth Pro)

- La topographie transversale comporte une faible pente de 1,39 %.

IV.2.3.4.3. Modélisation 3D de la topographie du terrain

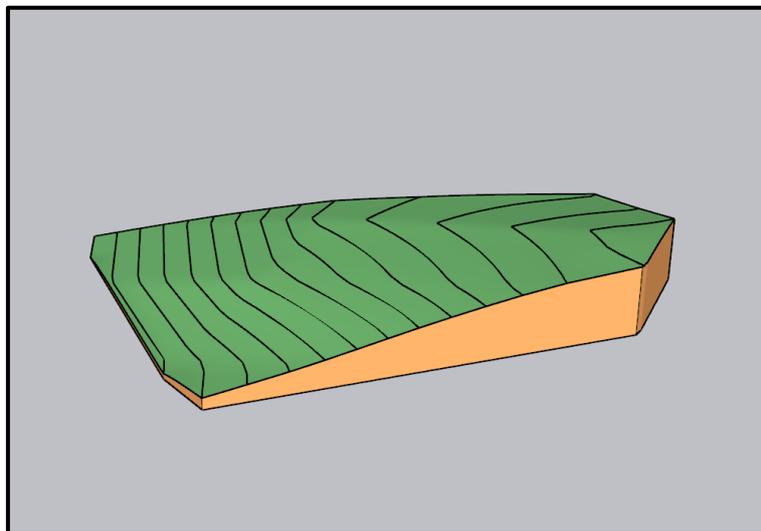


Figure 157: Modélisation 3D de la topographie du terrain d'intervention (Source : Auteur, 2023)

IV.2.3.5. Accessibilité

- Le projet est pensé comme une extension au musée existant, le terrain d'intervention a des accès piétons de son côté Sud-Est, et Est passant par le terrain de musée existant.
- Existence d'un flux mécanique au côté Est du terrain, avec une voie périphérique projetée en Nord-Est.
- Manque d'accès mécaniques aux limites de terrain d'intervention (**Fig.158**).



Figure 158: Accessibilité du terrain d'intervention
(Source : Google Earth Pro, réadapté par Auteur, 2023)

IV.2.3.6. Analyse microclimatique

IV.2.3.6.1. Ensoleillements

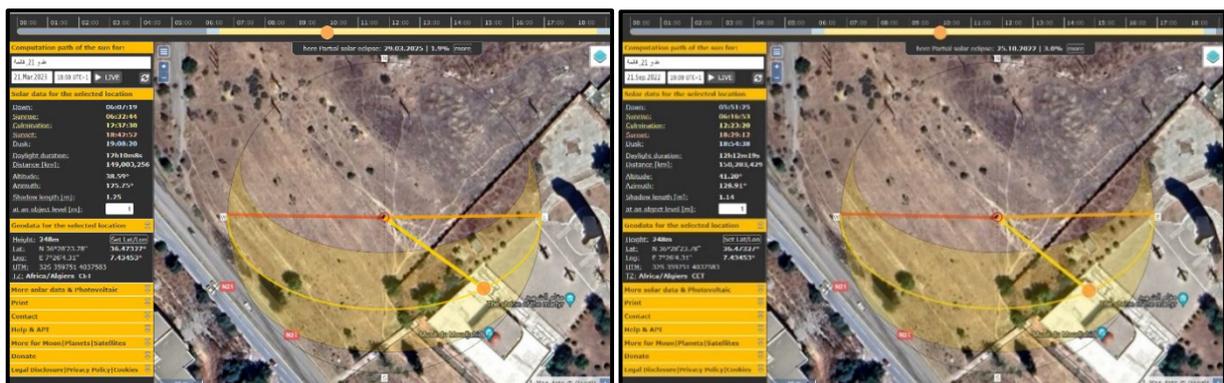


Figure 159: Étude d'ensoleillement pendant les 2 équinoxes à 10:00h (Source : www.suncalc.org)

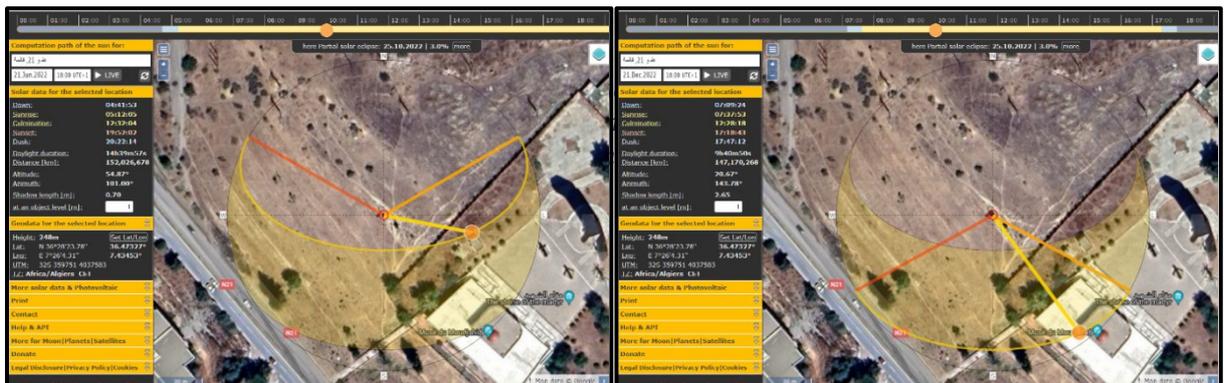


Figure 160: Étude d'ensoleillement pendant les 2 solstices à 10:00h (Source : www.suncalc.org)

Le terrain profite d'un bon ensoleillement, il est ensoleillé pendant tous les jours de l'année en s'appuyant sur sa topographie et son environnement (l'absence des obstacles matériels ou naturels dans le site).

IV.2.3.6.2. Les masques solaires

A. Les masques solaires Hiver – Printemps (De 21 Décembre à 21 Juin)

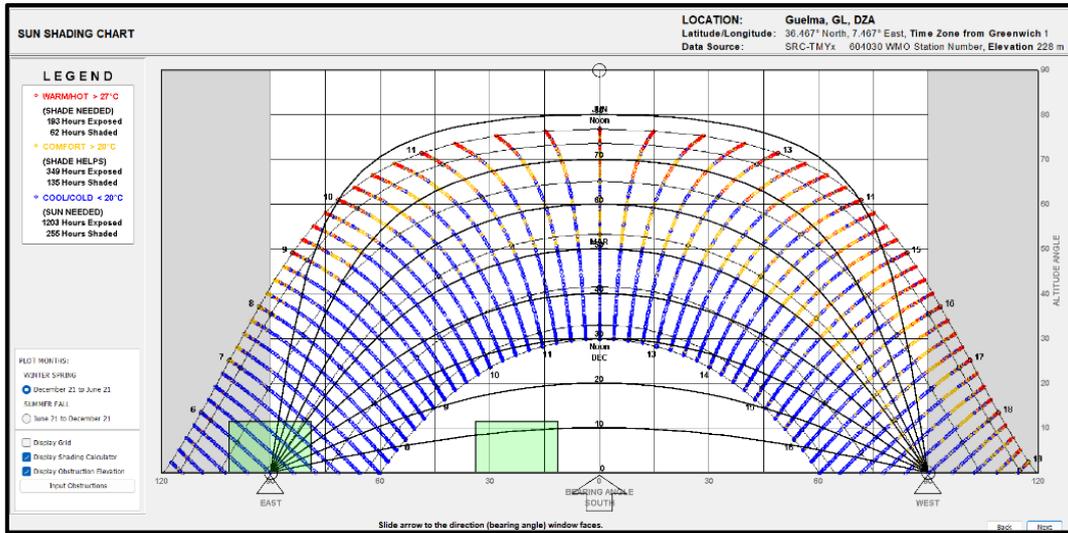


Figure 161: Les masques solaires Hiver-Printemps (Source : Climate Consultant 6.0)

B. Les masques solaires Été – Automne (De 21 Juin à 21 Décembre)

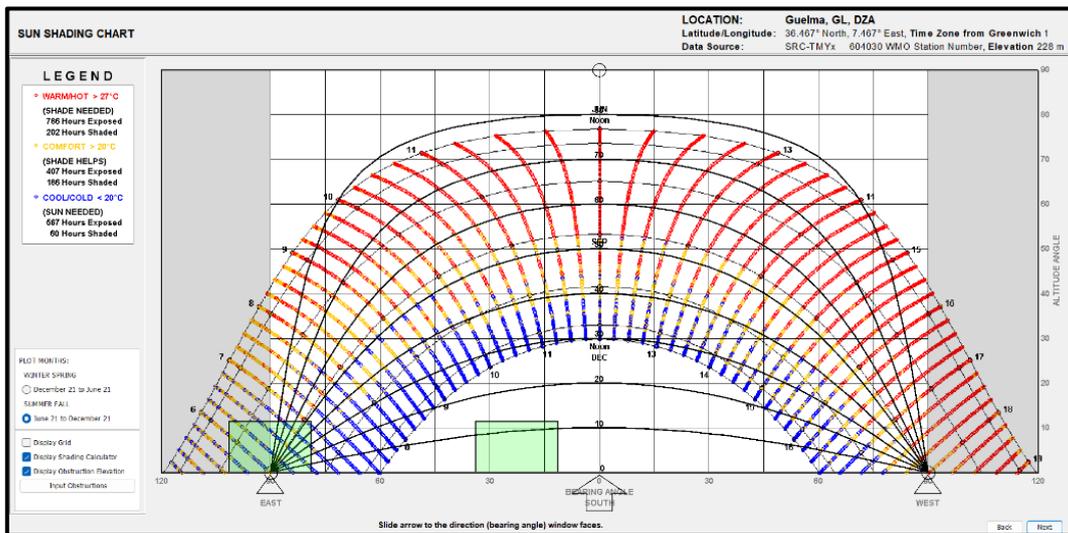


Figure 162: Les masques solaires Été-Automne (Source : Climate Consultant 6.0)

On distingue deux masques solaires sur le diagramme solaire du terrain d'intervention :

- Le bâtiment voisin (Musée El Moudjahid) forme un masque solaire en Sud-Est à 11° d'angle d'altitude.
- Le mémorial du martyr forme un masque solaire en Est à un angle d'altitude de 10°.

IV.2.3.6.3. Les vents dominants

A. Hiver (De décembre à mars)

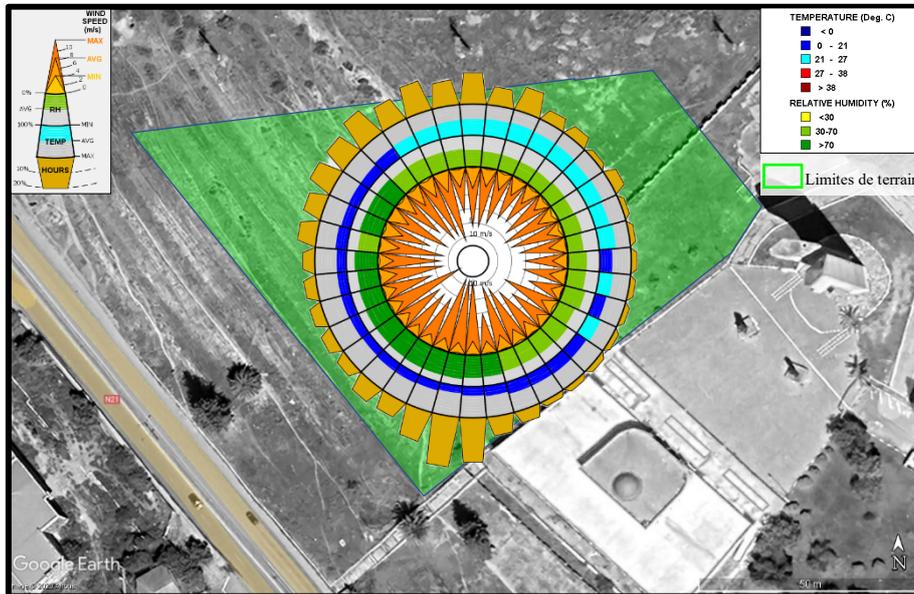


Figure 163: Les vents dominants en hiver au terrain d'intervention par le logiciel Climate Consultant 6.0
(Source : Google Earth pro, réadapté par Auteur, 2023)

B. Printemps (De mars à juin)

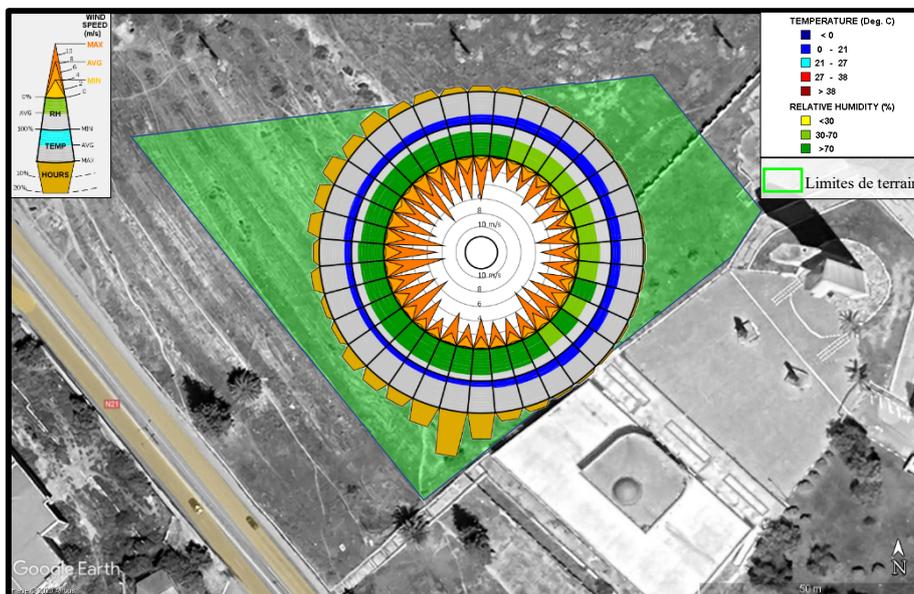


Figure 164: Les vents dominants en printemps au terrain d'intervention par le logiciel Climate Consultant 6.0
(Source : Google Earth pro, réadapté par Auteur, 2023)

C. Été (De juin à septembre)

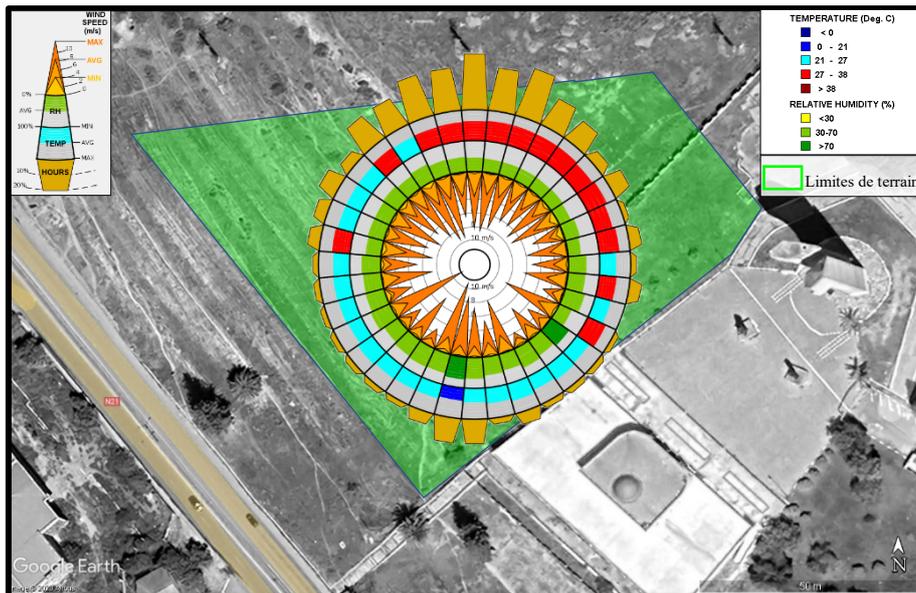


Figure 165: Les vents dominants en été au terrain d'intervention par le logiciel Climate Consultant 6.0
(Source : Google Earth pro, réadapté par Auteur, 2023)

D. Automne (De septembre à décembre)

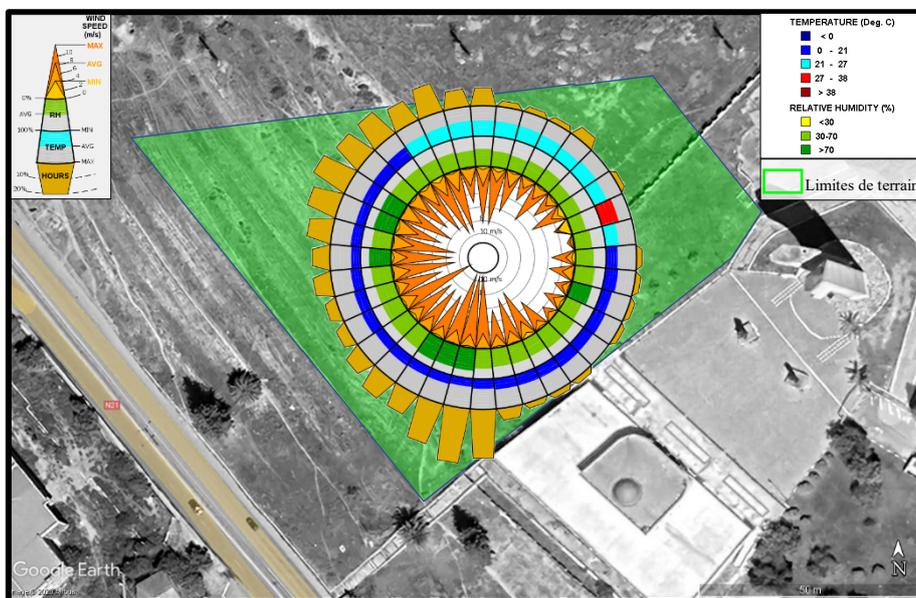


Figure 166: Les vents dominants en automne au terrain d'intervention par le logiciel Climate Consultant 6.0
(Source : Google Earth pro, réadapté par Auteur, 2023)

E. Vents dominants -annuel-

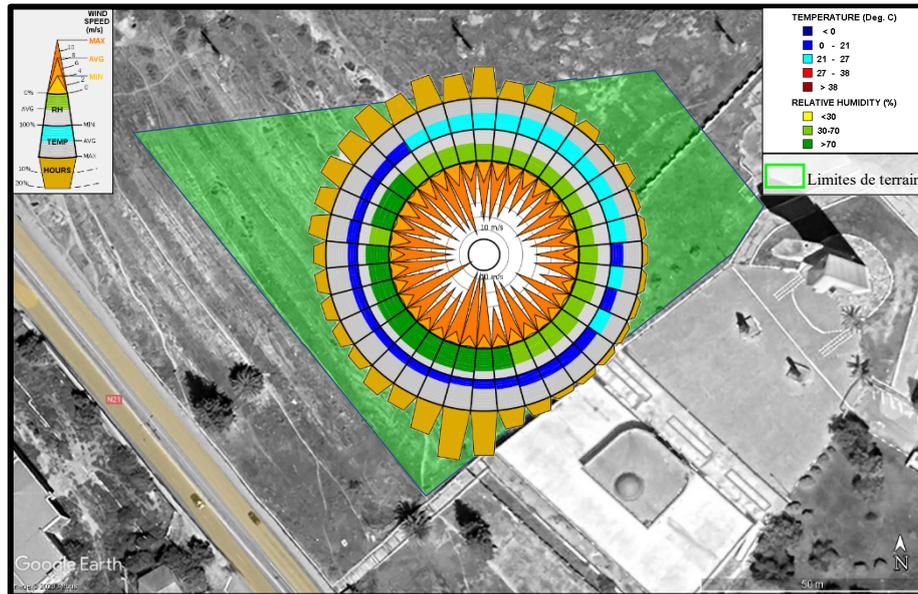


Figure 167: Les vents dominants annuels au terrain d'intervention par le logiciel Climate Consultant 6.0
(Source : Google Earth pro, réadapté par Auteur, 2023)

IV.2.4. Synthèse AFOM

Tableau 16: Synthèse AFOM (Source : Auteur, 2023)

	Interne		Externe	
	Atouts	Faiblesses	Opportunités	Menaces
Enjeux	1-Existence d'un point d'appel à l'aire de terrain (Mémorial du martyr) ; 2-Existence d'une mixité fonctionnelle (habitat/équipements); 3-La proximité d'un établissement culturel existant (Musée El moudjahid) ; 4-Proximité de gare routière.	1- Manque d'aires de stationnement ; 2- Existence des terrains agricoles au côté nord du terrain.	1-Intermodalité du terrain. 2-Existence d'une ligne de chemin de fer projetée à proximité du terrain. 3-Possibilité d'exploiter la localisation de la gare routière pour faire une station de tramway. 4-La proximité avec quelques cités comme et pourrait ajouter à notre	1- Dégradation des voies mécaniques et piétonnes.

<p>5-Situation à l'entrée de la ville ;</p> <p>6-Potentiel naturel et paysage favorable ;</p> <p>7-La situation stratégique : (les repères/ visible);</p> <p>8-Ensoleillement favorable pour l'exploitation de l'énergie solaire photovoltaïque.</p> <p>9-potentiel géothermique de la zone de Guelma pour l'exploitation de l'énergie géothermique.</p>		<p>site une diversité une mixité fonctionnelle et sociale intéressante ;</p> <p>5-Une offre diversifiée des places de regroupements public et semi-public et valoriser la mixité sociale.</p> <p>6-Possibilité d'exploiter le terrain existant à proximité de notre site qui contient un point d'appel très intéressant par rapport de la ville (Mémorial du martyr) plus d'un musée existant (établissement culturel);</p> <p>7-Possibilité de renforcer les liaisons entre notre projet et le mémorial du martyr et le musée existant (Musée El Moudjahid).</p>	
--	--	---	--

IV.3. Éléments conceptuels

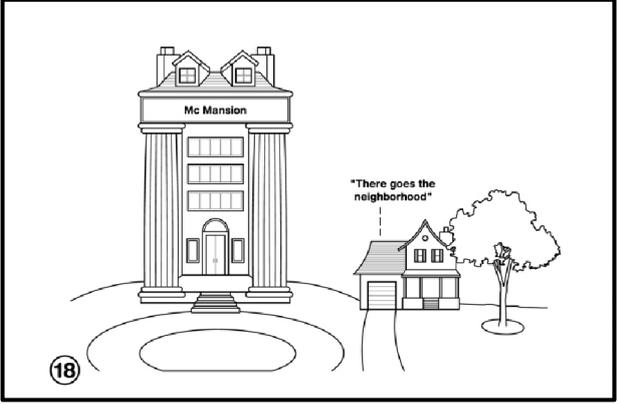
IV.3.1. Recommandations conceptuelles

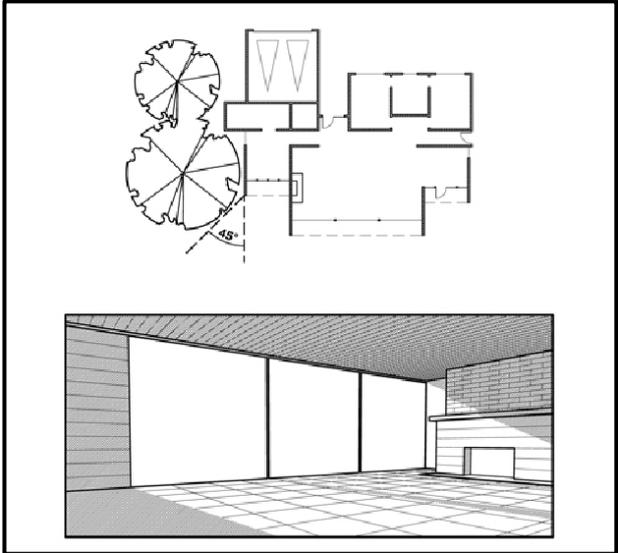
IV.3.1.1. Recommandations conceptuelles passives

Selon les stratégies retirées de diagramme psychométrique de la ville de Guelma par le logiciel de Climate Consultant 6.0, nous avons définies les recommandations conceptuelles passives suivantes :

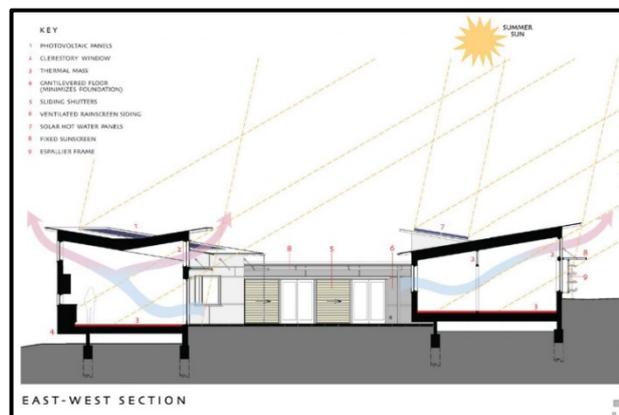
IV.3.1.1.1. Masse bâtie

Tableau 17: Recommandations conceptuelles de la masse bâtie (Source : Climate Consultant 6.0 réadapté par Auteur, 2023)

Recommandations	Stratégies d'intervention
<p>a. La compacité : d'éviter les grandes masses bâties le bâtiment petit (de bonne taille) parce que la surface de plancher excessive gaspille l'énergie de chauffage, de refroidissement et d'éclairage.</p>	
<p>b. L'organisation des espaces : L'organisation de plan d'étage afin que le soleil d'hiver pénètre dans les espaces d'utilisation de jour avec des fonctions spécifiques qui coïncident avec l'orientation solaire.</p>	<p>Une forme de bâtiment avec une grande surface exposée à la lumière directe du soleil en hiver peut facilement intégrer des systèmes de chauffage passif :</p> <ul style="list-style-type: none"> • La plupart des besoins de chauffage se produisent dans les bâtiments à des latitudes moyennes à élevées (30° à 60°). À ces latitudes, le soleil d'hiver est bas dans le ciel, frappant le côté du bâtiment qui fait face à l'équateur. • Pour maximiser l'exposition solaire d'un bâtiment :

	<ul style="list-style-type: none"> - Allonger un bâtiment le long de l'axe est-ouest pour maximiser la surface exposée au soleil d'hiver. - Localiser les espaces occupés le long du côté solaire du bâtiment. - Sinon, décaler, marcher, empiler et/ou aligner les espaces intérieurs et les formes de bâtiment pour vous assurer qu'ils ont des surfaces de mur adéquates face à l'équateur. • D'autres formes de bâtiments et espaces nécessitant la lumière du soleil qui n'ont pas de surfaces de murs solaires peuvent être chauffés par des puits de lumière orientés solaire, des bureaux et des espaces solaires intégrés. 
<p>c. Une ventilation naturelle peut stocker la nuit (refroidissement) dans les surfaces intérieures à grande masse, pour réduire ou éliminer la climatisation.</p>	<p>- Masse thermique (béton, maçonnerie, adobe, etc.) située dans un espace et refroidie la nuit, absorbe la chaleur et fournit des surfaces et des températures intérieures fraîches le lendemain</p>

- Dans le climat de la ville de Guelma où les températures nocturnes estivales tombent à au moins 5,5 °C sous la température intérieure désirée le jour, on utilise de l'air frais de nuit pour évacuer la chaleur d'un espace et refroidir la masse thermique intérieure.
- Un espace restera alors frais pendant la journée sans l'utilisation de sources d'énergie hors site.
- Incorporer la masse thermique dans les murs, le plancher et/ou le plafond :
- d'au moins 10,2 cm d'épaisseur, avec une surface exposée de 1 à 3 fois la surface du sol.
- ✓ Plus la surface de la masse est grande dans un espace, plus la température intérieure est stable. Utilisez une ventilation transversale ou en cheminée pour refroidir la masse la nuit.



<p>d. Surfaces intérieures massives (carreaux, ardoise, pierre, brique ou adobe) qui se refroidissent naturellement par temps chaud et peuvent réduire les variations de température de jour en nuit.</p>	
<p>e. Une bonne ventilation naturelle peut réduire ou éliminer la climatisation par temps chaud, si les fenêtres sont bien ombragées et orientées vers les brises.</p> <p>f. Long plan étroit du bâtiment peut aider à maximiser la ventilation croisée dans les climats tempérés et chauds humides.</p>	

IV.3.1.1.2. Enveloppe

A. Gain

Tableau 18: Recommandations conceptuelles de gain (Source : Climate Consultant 6.0 réadapté par Auteur, 2023)

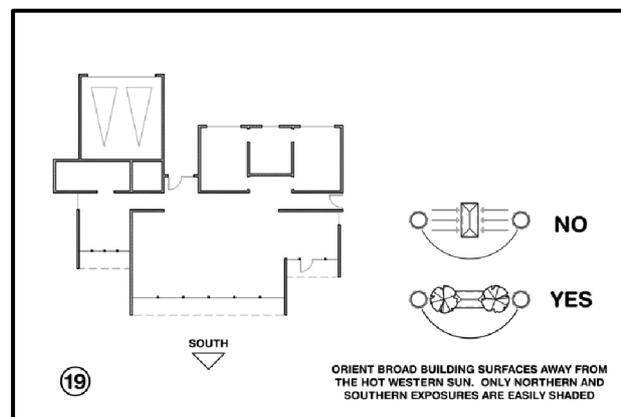
Recommandations	Stratégies d'intervention
<p>a. Stratégies pour optimiser le gain solaire : Pour le chauffage solaire passif face à la plupart de la zone de verre sud pour maximiser l'exposition au soleil d'hiver, et la conception des protections pour ombrager complètement en été.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Le vitrage solaire admet la lumière directe du soleil dans un espace pour le chauffage passif en hiver : ✓ Le vitrage solaire (face à l'équateur) est dimensionné pour permettre suffisamment de lumière du soleil sur une journée d'hiver ensoleillée moyenne pour chauffer un espace sur toute la période de 24 heures.

- Taille vitrage solaire en pourcentage de la surface de plancher à chauffer :

- **Climats tempérés :**

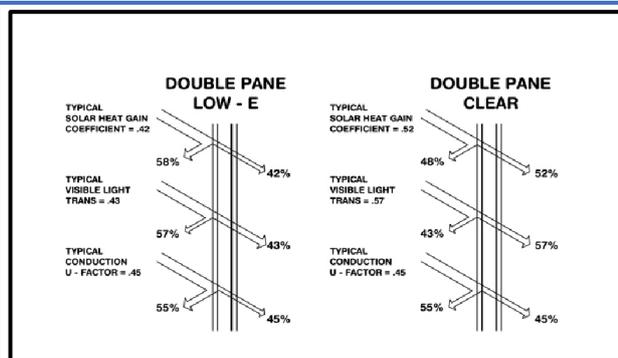
- 10 % à 28° – 40° de latitude

✓ Entreposer une partie de la chaleur gagnée le jour pour la libérer la nuit en localisant la masse thermique dans l'espace. Dans les climats très froids, incorporer une isolation mobile sur le vitrage la nuit.

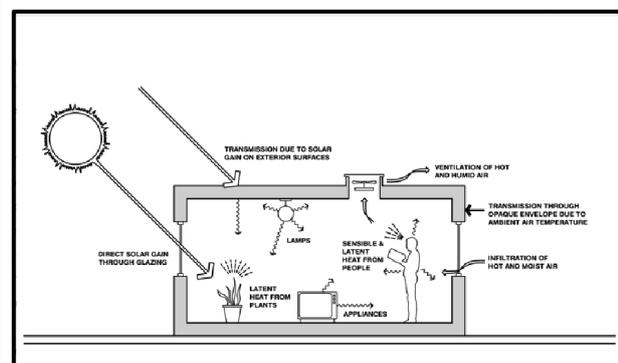


b. Stratégies pour éviter les déperditions solaires :

- Offrir un vitrage à double vitrage à haut rendement (Low-E) à l'ouest, au nord et à l'est, mais dégagé au sud pour un gain solaire passif maximal ;



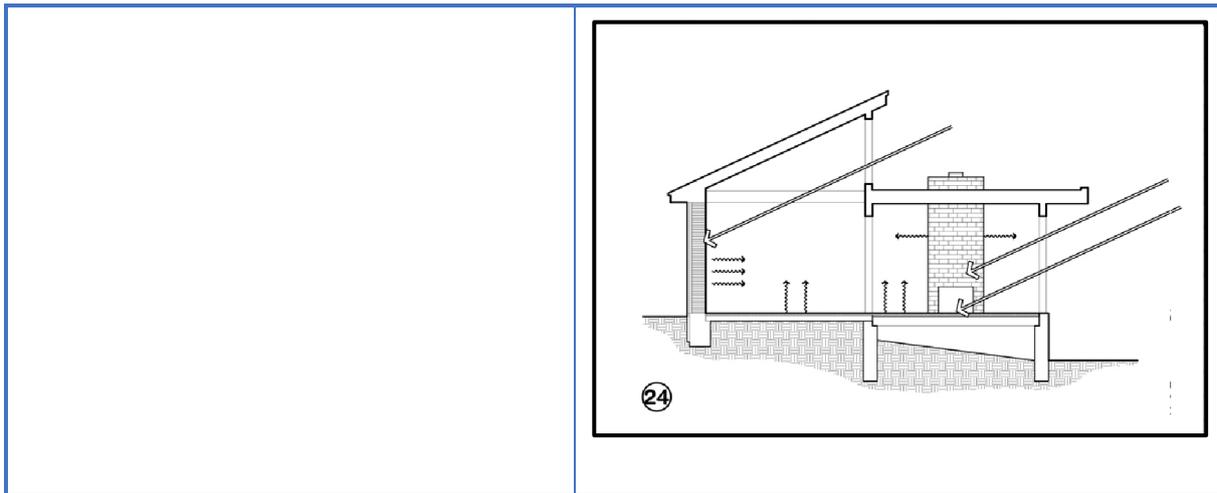
- Le gain de chaleur des lumières, des occupants et de l'équipement réduit considérablement les besoins de chauffage, alors maintenez un bâtiment étanche et bien isolé (pour abaisser la température du point d'équilibre).



B. Stockage

Tableau 19: Recommandations conceptuelles de stockage (Source : Climate Consultant 6.0 réadapté par Auteur, 2023)

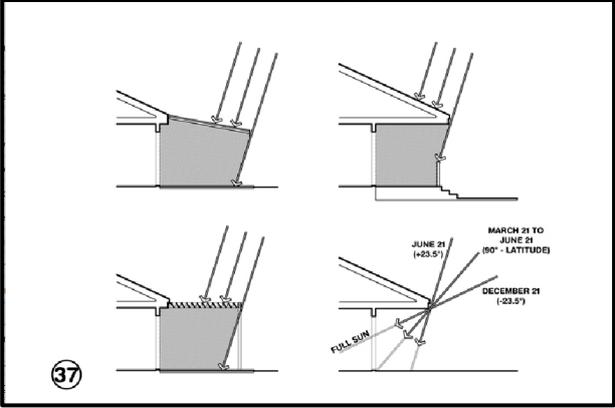
Recommandations	Stratégies d'intervention
<p>a. Utilisation des surfaces intérieures à grande masse comme des planchers de dalle et des murs à grande masse pour stocker la chaleur passive en hiver et la nuit d'été (fraîcheur).</p>	<ul style="list-style-type: none"> - La masse thermique – planchers, murs ou plafonds de maçonnerie – absorbe et stocke la chaleur solaire diurne en hiver pour la libérer la nuit : Une grande partie de la lumière du soleil (gain de chaleur) admise dans un espace pendant la journée doit être stockée dans le même espace pour être libérée pendant les heures de nuit. <ul style="list-style-type: none"> ✓ Pour stocker une partie de la chaleur gagnée, construire des murs, des planchers et/ou des plafonds de maçonnerie (béton, brique, bloc de béton, adobe, etc.) : - D'au moins 10 cm d'épaisseur, avec Un « rapport surface/surface vitrée solaire » exposé de 3 :1 à 9 :1. <ul style="list-style-type: none"> ✓ Plus le rapport est élevé, plus la température intérieure est stockée et stable. Faites les plafonds et la construction légère d'une couleur claire, les murs de n'importe quelle couleur, et les planchers d'une couleur moyenne à foncée. Pour les murs de maçonnerie extérieurs, on place l'isolant sur le côté extérieur du mur afin que la maçonnerie soit exposée à l'intérieur.



C. Protection

Tableau 20: Recommandations conceptuelles de protection (Source : Climate Consultant 6.0 réadapté par Auteur, 2023)

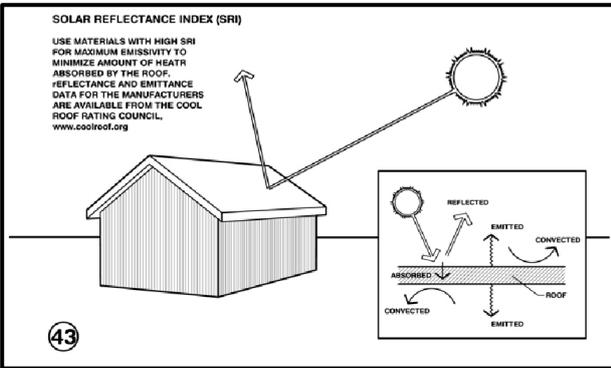
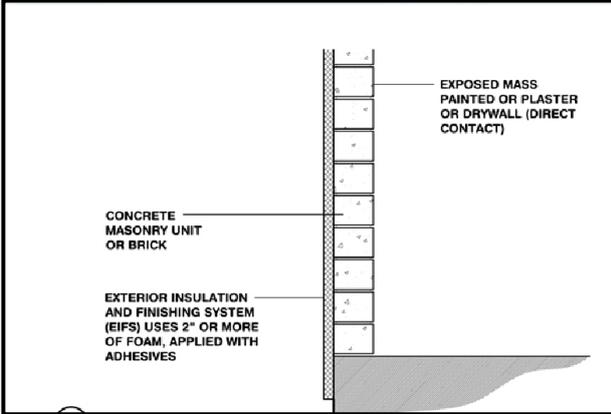
Recommandations	Stratégies d'intervention
<p>a. Les protections de fenêtre (conçus à cette latitude) ou les parasols opérables (ailes qui s'étendent en été) peuvent réduire ou éliminer la climatisation.</p> <p>- C'est l'un des climats les plus confortables, donc de l'ombre pour éviter la surchauffe, ouvert aux brèches en été, et utiliser le gain de solaire passif en hiver.</p>	<p>- Pendant les mois chauds d'été, les protections bloquent la lumière solaire directe indésirable des vitrages solaires, réduisant ainsi les charges de refroidissement.</p> <p>✓ Placer une protection au-dessus du vitrage solaire (faisant face à l'équateur – au sud dans les latitudes nord et au nord dans les latitudes sud) afin qu'il ne bloque pas le soleil d'hiver.</p> <p>- Bloquer le soleil d'été en prolongeant la protection environ :</p> <p>✓ 1/3 de la hauteur de l'ouverture à 36°L à 40°L</p>

	<ul style="list-style-type: none"> Les protections horizontales extérieures peuvent également être utilisées pour ombrager le vitrage sud. 
--	--

IV.3.1.1.3. Revêtements et isolation

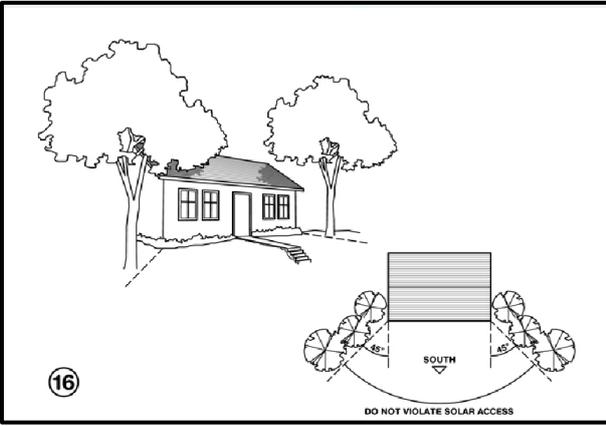
Tableau 21: Recommandations conceptuelles des revêtements et isolation (Source : Climate Consultant 6.0 réadapté par Auteur, 2023)

Recommandations	Stratégies d'intervention
<p>a. Matériaux de construction de couleur claire utilisés et toits frais (avec émissivité élevée) pour minimiser le gain de chaleur ;</p> <p>b. Les toits de couleur claire fonctionnent bien dans les climats chauds et secs.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Dans les climats chauds, et les climats avec des étés chauds, un toit de couleur claire reflète la lumière du soleil, reste plus frais, compense le réchauffement de CO2, et réduit la quantité de chaleur transférée à l'intérieur d'un bâtiment. - Les toits frais ont des surfaces qui réfléchissent la lumière du soleil et dégagent de la chaleur efficacement, les gardant plus frais les jours ensoleillés. - Les deux propriétés de surface qui déterminent la température d'un toit sont : <ul style="list-style-type: none"> - la réflectance solaire et l'émission thermique, qui varient sur une échelle de 0 à 1. Plus les deux valeurs sont grandes, plus le toit sera frais.

	<p>✓ Faire de la surface du toit une couleur claire et choisir un matériau de couverture qui a une surface :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Réflectance solaire (SR) > 0,7 ; et - Émissions thermiques (ET) > 0,75. 
<p>c. Les meilleurs murs à forte masse utilisent l'isolation extérieure et exposent la masse à l'intérieur ou ajoutent du plâtre ou des cloisons sèches à contact direct.</p> <p>d. Les bâtiments adaptés au climat dans des climats frais et nuageux utilisaient une construction hermétique et bien isolée de faible masse pour fournir une accumulation de chaleur rapide le matin.</p>	

IV.3.1.1.4. Espace extérieur

Tableau 22: Recommandations conceptuelles d'espace extérieur par Climate Consultant (Source : Auteur, 2023)

Recommandations	Stratégies d'intervention
<p>a. Les arbres (ni conifères ni feuillus) ne devraient pas être plantés devant les fenêtres solaires passives, mais ils sont OK au-delà de 45 degrés à chaque coin.</p>	

IV.3.1.2. Recommandations conceptuelles actives

IV.3.1.2.1. Énergie solaire

A. Le potentiel solaire de Guelma

L'Algérie dispose d'un des gisements solaires les plus élevés au monde. Annuellement, la durée d'insolation sur la quasi-totalité du territoire national dépasse les 2000 heures, et l'énergie reçue sur une surface horizontale de 1m² soit près de 3 KWh/m² au nord et dépasse 5,6 KWh/m au Grand Sud⁷⁷.

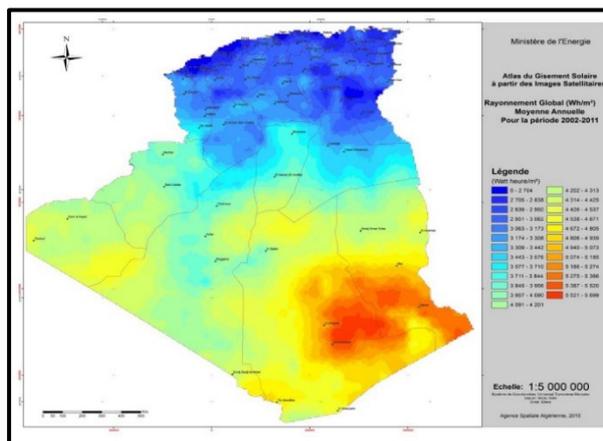


Figure 168: Carte de l'Irradiation Globale Directe Annuelle Moyenne (Période 2002-2011) (Source : www.energy.gov.dz)

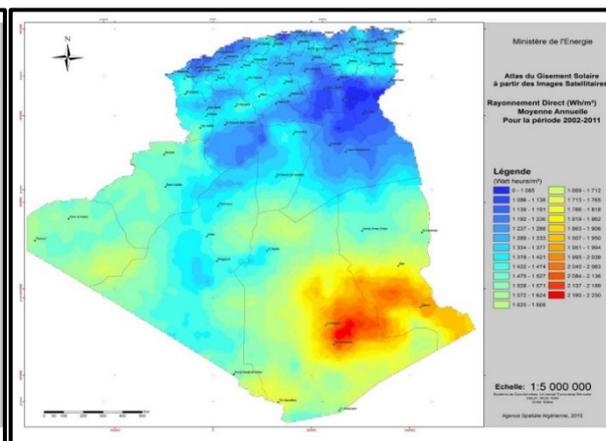


Figure 169: Carte de l'Irradiation Directe Annuelle Moyenne (Période 2002-2011) (Source : www.energy.gov.dz)

⁷⁷ <https://www.energy.gov.dz/?rubrique=energies-nouvelles-renouvelables-et-maitrise-de-lrenergie>

Selon les résultats des moyennes mensuelles des radiations de la ville de Guelma par le logiciel Climate Consultant 6.0, Guelma dispose une énergie solaire reçue sur :

- **La surface horizontale totale** : une moyenne annuelle de près de 7800 Wh/m², dont le haut record de la moyenne mensuelle est dans le mois du juillet de 910 Wh/m².
- **Normale directe** : une moyenne annuelle de près de 7200 Wh/m², dont le haut record de la moyenne mensuelle est dans le mois du juillet, et d'août de 790 Wh/m² et 780Wh/m².
- **Diffuser** : une moyenne annuelle de près de 2000 Wh/m², dont le haut record de la moyenne mensuelle est dans le mois du mai, de 210 Wh/m² (Fig.170).

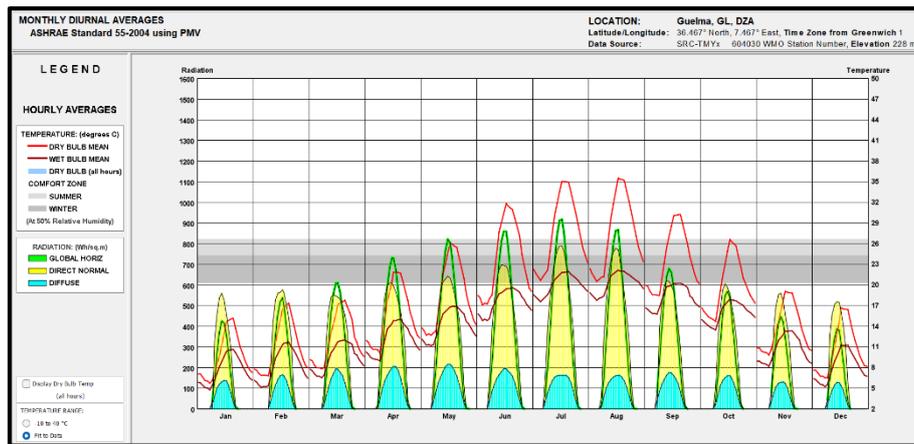


Figure 170: les moyennes mensuelles des quantités d'énergie de radiations solaires de la ville de Guelma (Source : Climate Consultant 6.0)

B. Recommandations conceptuelles solaires

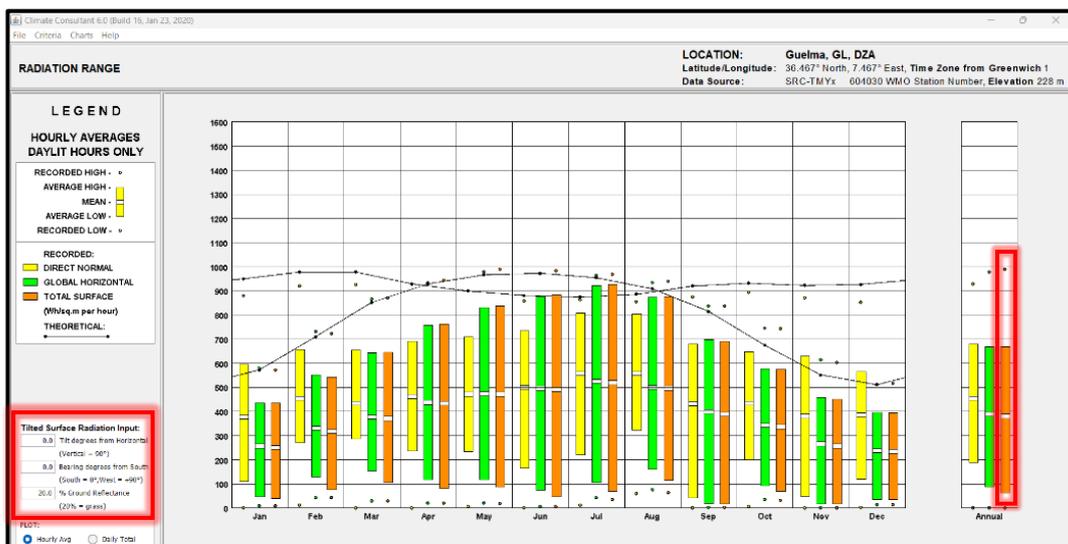


Figure 171: Quantité d'énergie des radiations solaires à 0° d'inclinaison et d'orientation (Source : Climate Consultant 6.0, réadapté par Auteur, 2023)

Les grands résultats de moyennes annuelles de quantité d'énergie des radiations solaires (Sur la surface totale) par le logiciel Climate Consultant 6.0 (Fig.172), sont obtenues si les valeurs de l'entrée de radiation en surface inclinée sont :

- Les degrés inclinés par rapport à l'horizontale (angle d'inclinaison) : 45°
- En degrés du sud (angle d'azimut) : -25° (Est)
- % Réflectance au sol : 20%. (Fig.173)

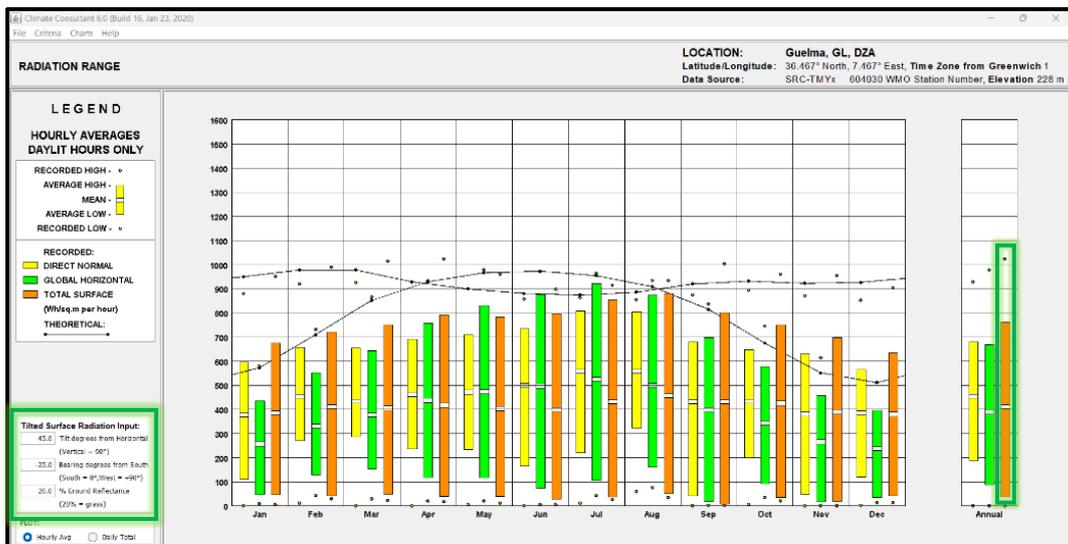


Figure 172: Quantité d'énergie des radiations solaires à 45° d'inclinaison et -25° d'orientation (Source : Climate Consultant 6.0, réadapté par Auteur, 2023)

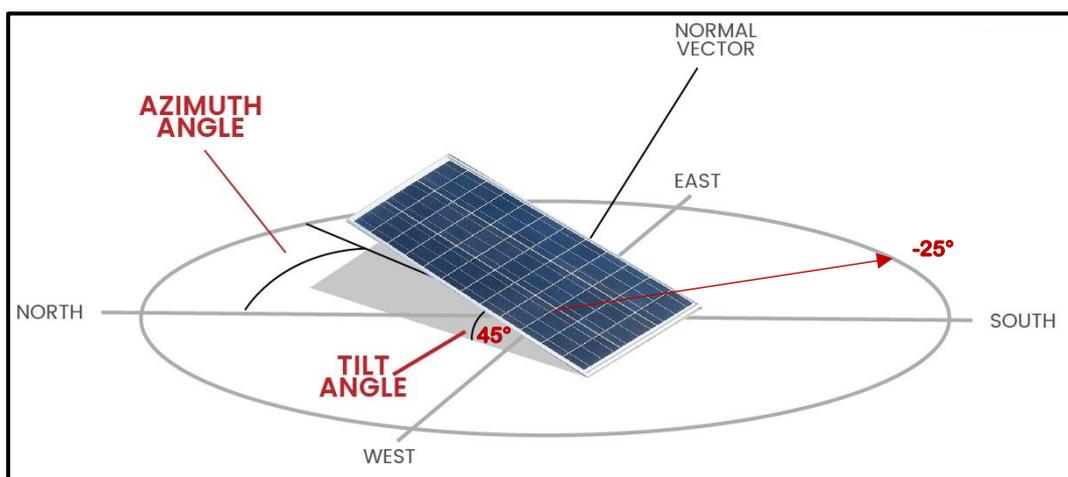


Figure 173: Angle d'inclinaison et d'Azimut recommandés (Source : heavensdesigns.in)

IV.3.1.2.2. Énergie géothermique

A. Le potentiel géothermique de Guelma

Le nord de l'Algérie contient une abondance en sources thermales, de composition très variée (Fig.174). La plus renommée de ces sources est celle de Hammam Meskhoutine (Guelma) qui est surtout connue pour être classée comme la source thermale la plus chaude au monde (98°C) (Ouali, Hadjiat, Ait-Ouali, Salhi, & Malek, 2018).

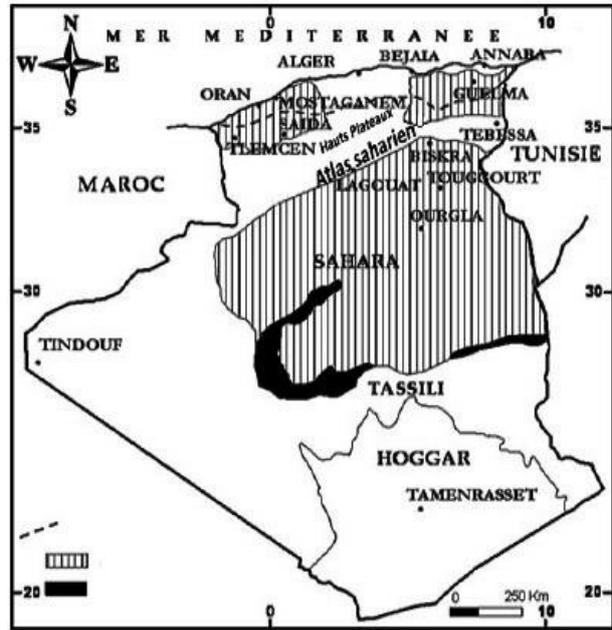


Figure 174: Principales zones géothermiques en Algérie (Source : (Ouali, Hadjiat, Ait-Ouali, Salhi, & Malek, 2018))

Le géomètre à silice montre que ces eaux thermales ont une température variant de 84 à 122°C et que l'eau provient d'une profondeur de 2100 à 3000 m à travers un système de failles qui limite le bassin de retrait de Guelma. La région de Guelma constitue un vaste champ géothermique caractérisé par un gradient géothermique élevé (Fig.175). En effet, diverses sources thermales et thermo minérales émergent dans la région (Bouaicha, Dib, Bouteraa, & Manchar, 2019).

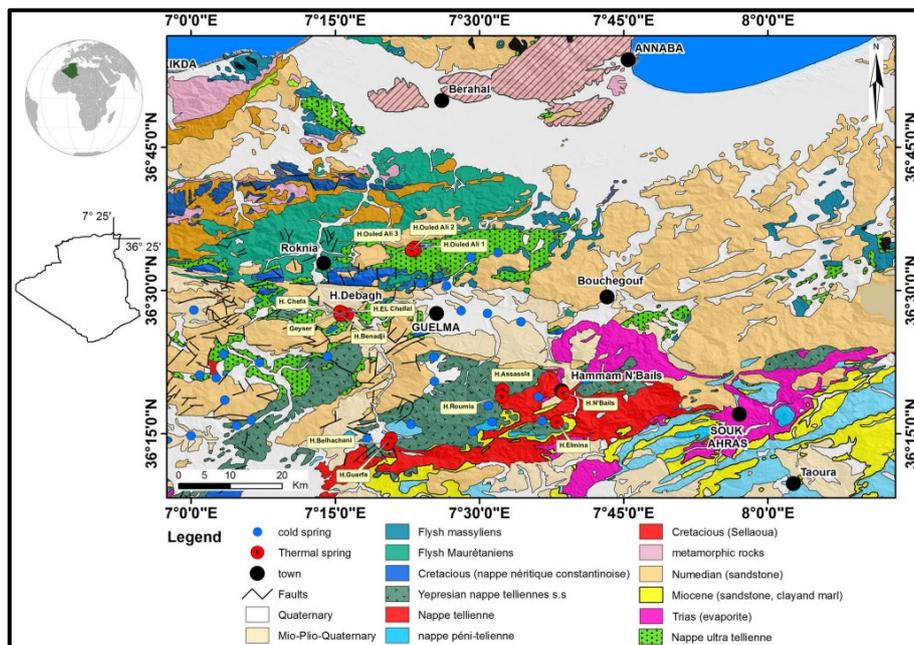


Figure 175: Carte géologique de région de Guelma (Source : (Bouaicha, Dib, Bouteraa, & Manchar, 2019))

B. Recommandations conceptuelles géothermiques

L'efficacité du système doit répondre à la fois à des critères énergétiques (bonne production de chaleur ou de froid) et géotechniques-structuraux (maintien de la bonne résistance mécanique de la structure en béton), qui dépendent fortement des conditions locales de notre site d'intervention accueillant de notre construction (DELERABLÉE, 2019).

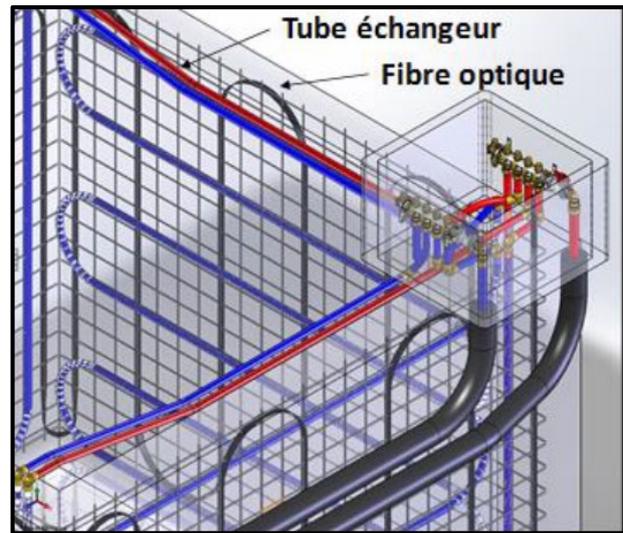


Figure 176: Disposition de tube échangeur au centre des parois moulées thermoactives (Source : (DELERABLÉE, 2019))

On nous utilise ces ouvrages pour réaliser le parking souterrain, et le mur de soutènement, en béton armé formés à mettre en place un réseau de tuyaux à l'intérieur des cages d'armatures métalliques présentes dans la structure en béton, d'une multitude de panneaux de même dimension liés entre eux par des joints assurant l'imperméabilité du système (DELERABLÉE, 2019).



Figure 177: L'interface sol/structure (Source : (DELERABLÉE, 2019))

IV.3.2. Schéma de principe

IV.3.2.1. Processus de formalisation du projet

Afin de concevoir et formaliser le projet avec clarté et visibilité, nous nous sommes axés sur les principes suivants :

A. Principes

a. La fonctionnalité

Afin d'avoir un bon fonctionnement, les différentes fonctions seront disposées en fonction de leurs relations et leurs caractéristiques pour obtenir une continuité et une complémentarité.

b. La flexibilité

Elle devrait garantir à l'équipement l'adaptation aux nouveaux changements et exigences opérés sur l'espace.

c. La hiérarchie

Le projet présente un programme riche et une diversité de fonctions qui nécessitent une hiérarchisation dans la disposition de ces derniers afin que l'on puisse distinguer les fonctions primaires et secondaires, calmes et bruyantes.

d. La perméabilité

Elle assure la relation de l'équipement avec son environnement à travers les différents accès (piétons et mécaniques) et les relations fonctionnelles entre les différentes entités internes.

e. La centralité

On peut définir l'aspect de la centralité comme un élément articulateur et organisateur, qui assure les différentes liaisons fonctionnelles et spatiales.

f. L'efficacité énergétique

Par la forme, l'orientation du bâtiment, les matériaux de construction, et l'intégration des énergies renouvelables, nous apportons un premier apport à une conception architecturale permettant une réduction de la consommation énergétique tout en gardant un confort à l'usage dans les espaces conçus.

B. Genèse de projet

Le principe de composition du projet est élaboré en quatre phases successives pour aboutir à un projet qui répond le mieux aux critères de l'accessibilité, la visibilité et la fonctionnalité. Notre projet introduira un nouveau concept dans le domaine de la muséologie à Guelma, une nouvelle discipline scientifique et culturelle, et un nouvel esprit au site de Musée el Moudjahid et le mémorial du martyr.

Dans l'objectif de dynamiser le projet architectural proposé, nous avons enrichi notre programme par la proposition de fonctions de loisir et de détente. Cette action incite les gens à venir et visiter ce nouveau pôle culturel proposé pour la ville de Guelma.

Le projet est conçu à partir d'un geste souple qui se veut somptueux et identitaire pour le site. Par la forme, le mouvement et l'apport technologique, nous avons esquissé une architecture moderne, et écologique qui intègre la fonctionnalité nouvelle et le site.

a. Phase 01 :

- ✓ Pour faciliter l'accessibilité mécanique à notre projet on a aménagé une voie périphérique au Nord du notre terrain d'intervention pour fluidifier la circulation.
- ✓ La circulation mécanique a été limitée à l'entrée du terrain.
- ✓ Notre terrain s'organise comme suit : la masse bâtie du projet, une aire de stationnement, un espace de loisir et de bien-être, l'implantation de chaque entité est effectuée après une étude et une recherche d'une meilleure orientation, d'un confort optimal (séparation espace calme et bruit), et d'une relation la plus fluide possible entre les espaces.
- ✓ Cette implantation va être réalisée de part d'un axe central qui se ramifie autour du projet et vers le musée du Moudjahid et le mémorial du martyr par des cheminements pour les piétons pour faciliter l'accessibilité et le déplacement à l'intérieur du terrain. Elle va jouer le rôle d'un espace de loisir et de rencontres et, en même temps de liaison entre la zone des deux équipements (L'Experimentarium et Musée el Moudjahid).
- ✓ L'emplacement du projet est choisi dans l'objectif de saisir les opportunités du site à savoir : le mémorial du martyr, le croisement face au terrain qui produit une forte dynamique autour du projet, et surtout la vue panoramique sur la ville de Guelma pour assurer la continuité visuelle.

b. Phase 02 :

La projection du bâtiment à proximité du musée existant, ce qui nous permet de les liées par un cheminement comme un axe structurant du terrain.

c. Phase 03 :

La projection d'une aire de stationnement dans la partie Nord-Est du terrain. Cette aire de stationnement est liée à la voie périphérique créée pour faciliter l'accès au projet.

d. Phase 04 :

La projection d'une esplanade contenant des aires de loisir, des espaces de restauration et de détente dans la partie Nord-Est et à l'Est du terrain en liaison avec l'esplanade de mémorial du martyr.

Pour assurer la liaison entre les deux équipements, on a créé et percé des cheminements piétons pour organiser les flux, assurer la fluidité entre eux, et jouer un rôle de rencontre et d'animation. Sur la trajectoire de ces voies nous avons prévu des aménagements et des aires de détente aménagés avec des bancs et des tables, cafeteria et restaurant.

IV.3.2.2. Démarche conceptuelle

A travers cette phase nous présenterons les principes et concepts liés à notre projet.

Nous pouvons résumer ces principes comme suit :

La conception architecturale du projet puise ses fondements de l'organisation spatiale, utilisant le potentiel naturel varié du site, afin de joindre l'utile à l'agréable par la création d'une image symbolique forte et prestigieuse de ce territoire.

Le projet s'intègre dans un site périphérique de la ville de Guelma qui comprend, essentiellement : une couverture végétale naturelle, une morphologie accidentée et un potentiel naturel à valoriser (le panorama, L'air naturel, la végétation, le soleil...).

A. Description du projet

- Notre projet introduira une nouvelle forme de muséologie à Guelma, par son concept et son implantation qui permettent de dynamiser la zone du mémorial du martyr et musée El Moudjahid, et la rendre plus attractive.
- La réponse architecturale la plus adéquate est de concevoir des espaces interactifs, stimuler l'intérêt des gens et de les sensibiliser aux méthodes à la recherche scientifiques et technologiques.
- Le projet est conçu à partir d'un geste souple qui symbolise les mouvements dans la pente du terrain.
- Le projet se base sur une symbiose entre formes et structures, le but étant d'arriver à avoir une architecture moderne, et écologique qui va de pair avec la fonctionnalité nouvelle et le site du projet.

B. Principe d'implantation

- Suivant l'idée que la nature en elle-même, devrait être le point de départ de toute architecture, nos intentions se fondent essentiellement sur des principes d'orientations, de directions préférentielles. Notre projet découle directement de la direction naturelle de la pente, pour minimiser le terrassement et profiter le maximum des vues, pour assurer la continuité visuelle.
- Le plan de masse s'organise à partir d'un axe fédérateur qui se ramifie autour du projet sous une distribution de flux.
- Une aire de stationnement pour assurer l'accès facile à l'esplanade du projet, et pour faciliter le déplacement à l'intérieur du terrain, des voies piétonnes sont tracées. Le tout est encadré d'un entourage végétal.

IV.3.2.3. Projection des éléments conceptuels sur le site d'intervention

IV.3.2.3.1. Accessibilité



Figure 178: Accessibilité proposée
(Source : Google Earth Pro réadapté par Auteur, 2023)

IV.3.2.3.2. Schéma de principe

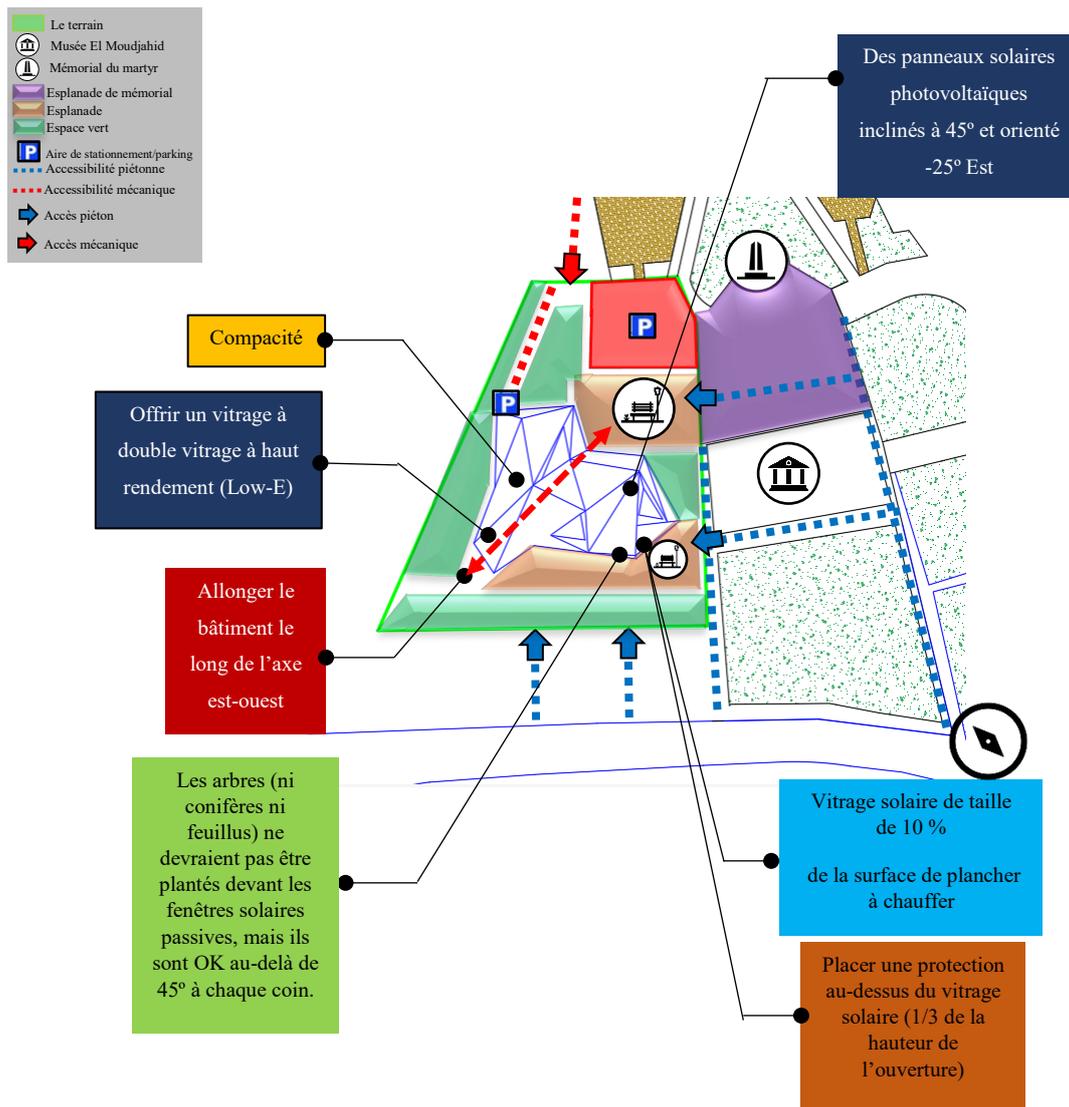


Figure 179: Schéma de principe (Source : Auteur, 2023)

Conclusion

Le climat extérieur change. Afin d'assurer une efficacité énergétique dans le bâtiment, nous devons déterminer et adapter les stratégies de nos conceptions de bâtiments avec le contexte climatique. Dans ce chapitre, nous avons fait une analyse physique et morphologique de notre site d'intervention, ainsi d'une analyse climatique par le logiciel Climate Consultant 6.0 afin d'étudier l'influence des données climatiques sur notre conception.

Pour fournir un projet performant et durable, les données climatiques de la ville de Guelma ont été révisées. A cet effet, Un diagramme psychométrique a été utilisé pour déterminer les stratégies de confort et les recommandations conceptuelles précises et à l'épreuve du climat. D'après ce diagramme, les effets des données climatiques, sur différentes stratégies passives et actives ont été définis, qui vont nous guider d'identifier le schéma de principe du projet.

Conclusion générale

Dans le contexte mondial, la consommation élevée d'énergie est principalement responsable des émissions élevées de gaz à effet de serre dans l'atmosphère et de la consommation d'énergie provenant de sources non renouvelables, ce qui contribue au réchauffement de la planète et à l'épuisement des combustibles fossiles, et l'un des plus gros secteurs consommateurs de cette énergie est le secteur de la construction.

Ces dernières années, une législation plus stricte a été mise en œuvre pour l'efficacité énergétique des bâtiments. Même si ces mesures et politiques ont eu une influence positive sur leur mise en œuvre, elles n'ont pas suffi à réduire sensiblement le problème de la forte consommation d'énergie dans les bâtiments. De cette façon, l'utilisation de matériaux de construction responsables d'une moindre consommation d'énergie, et les techniques des énergies renouvelables, sont actuellement un domaine d'importance et d'urgence.

Au terme de ce travail de recherche, nous avons décrit l'état de la consommation mondiale et de la politique énergétique en Europe et en Algérie, encadrées par un ensemble des réglementations thermiques qui renforcent le principe d'efficacité énergétique et de recours aux énergies renouvelables, puis nous avons rappelés les principales solutions d'amélioration des bâtiments en matière d'efficacité énergétique qui constituent une contribution au domaine de la sûreté de fonctionnement des systèmes énergétiques. Après avoir décrit les différentes sources d'énergies renouvelables pour la production de l'électricité et donné les concepts généraux du principe de fonctionnement, nous avons proposé une démarche basée sur un système hybride solaire-géothermique, pour évaluer la faisabilité, l'optimisation et l'efficacité énergétique dans les bâtiments d'un système industriel multi-source d'énergie renouvelable.

Pour répondre à ce contexte énergétique, nous avons présenté dans ce mémoire une tentative d'avoir un regard de plus près sur la modélisation énergétique des bâtiments à partir d'une méthodologie BIM. Cette méthodologie signifie la création d'une modélisation virtuelle du bâtiment et avoir la possibilité d'effectuer toutes les opérations souhaitées par la modélisation de sa géométrie, conception, et ses matériaux de construction, en gérant de manière à prédire le comportement du bâtiment réel. Cette méthodologie, qui nous aiderait à effectuer des simulations sur la modélisation virtuelle en fournissant les réponses à la modélisation réelle. De plus, évaluer les effets des interventions possibles sur la modélisation virtuelle permet de définir les meilleurs résultats d'une manière absolument objective. A cet égard, nous avons présentés les interactions entre les différents éléments de processus et les informations indispensables de

la simulation thermo- énergétique et de l'impact des mesures d'efficacité énergétique des bâtiments par l'utilisation de logiciel ArchiWIZARD 2023.0.3_v11.0.3, dans des conditions climatiques spécifiques.

Selon le contexte de recherche de cette étude, il s'agit de prendre en considération, lors de l'amélioration des performances énergétiques, la conception intelligente dans l'optimisation d'efficacité énergétique des bâtiments représente un facteur clé pour accélérer le développement durable dans le monde entier. Les bâtiments intelligents représentent un élément essentiel pour favoriser l'évolution de nos villes, ils sont largement reconnus comme un véritable support afin de relever les défis climatiques auxquels aujourd'hui nous fait face. Pour avoir un bâtiment performant et écologique ayant un impact positif sur le bien-être, le confort et la santé de ses occupants pose une question essentielle dont la réponse ne saurait être unique. C'est une approche conceptuelle, transversale et multicritères. A cet effet, nous avons présenté une analyse climatique de la ville de Guelma à l'aide de logiciels Climate Consultant 6.0, qui nous aidait de tirer des recommandations conceptuelles passives et actives, pour avoir exercé une veille écologique sur les stratégies, les matériaux et les orientations les plus appropriées en termes d'efficacité énergétique d'électricité, de chauffage, de climatisation, etc.

L'architecte est le premier lecteur de la nature ; mais celle-ci est déjà architecte. Il s'agit de démontrer l'importance du contexte climatique et de la morphologie et de la physiologie du milieu dans lequel l'acte de bâtir s'accomplit. Le milieu en lui-même recèle une logique, une image, des orientations et des caractéristiques propres avec lesquelles l'architecte peut s'inspirer et élaborer son projet. Suivant l'idée que la nature en elle-même, devrait être le point de départ de toute architecture, nos intentions se fondent essentiellement sur ses principes d'orientations, et de directions préférentielles.

Bibliographie

Articles

1. Apanaviciene, R., Vanagas, A., & Fokaides, P. A. (2020). Smart Building Integration into a Smart City (SBISC):Development of a New Evaluation Framework. *energies*, *13*(9), 1-19. doi:<https://doi.org/10.3390/en13092190>
2. Bouaicha, F., Dib, H., Bouteraa, O., & Manchar, N. (2019, Février 21). Geochemical assessment, mixing behavior and environmental impact of thermal waters in the Guelma geothermal system, Algeria. *Acta Geochimica*, *38*, 683-702. doi:<https://doi.org/10.1007/s11631-019-00324-2>
3. Crosnier, E. (1996). L'intérêt de la modélisation comme aide à la rédaction en anglais pour les scientifiques français. *ASp. la revue du GERAS*(11-14), 89-103. doi:<https://doi.org/10.4000/asp.3439>
4. Deng, S., Wang, R. A., & Dai, Y. J. (2014). How to evaluate performance of net zero energy building—A literature research. *Energy*, *71*, 1-16. doi:<https://doi.org/10.1016/j.energy.2014.05.007>
5. Deshmukh, T. (2013, Octobre 10). Building Energy Modelling: A look through using energy simulation. *Academia*, p. 1. Consulté le Décembre 31, 2022, sur Academia.edu: https://www.academia.edu/7994868/Building_Energy_Modelling_A_look_through_using_energy_simulation
6. Diakaki, C., Grigoroudis, E., & Kolokotsa, D. (2008). Towards a multi-objective optimization approach for improving energy efficiency in buildings. *Energy and buildings*, *40*(09), 1747-1754. doi:<https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2008.03.002>
7. Fahim, M., Fraz, K., & Sillitti, A. (2020). TSI: Time series to imaging based model for detecting anomalous energy consumption in smart buildings. *Information Sciences*, *523*, 1-13. doi:<https://doi.org/10.1016/j.ins.2020.02.069>
8. Imessad, K., Kharchi, R., Bouchaib, S., Chenak, A., Hakem, S.-A., Hamidat, A., . . . Larbi-youcef, S. (2017, Décembre 25). Mise en application de la nouvelle réglementation thermique algérienne du bâtiment. *Revue des Energies Renouvelables*, *20*(4), pp. 591-597. Consulté le Décembre 5, 2022, sur https://www.researchgate.net/publication/324280439_Mise_en_application_de_la_nouvelle_reglementation_thermique_algerienne_du_batiment
9. Li, B., & Yao, R. (2009). Urbanisation and its impact on building energy consumption and efficiency in China. *Renewable energy*, *34*(9), 1994-1998. doi:<https://doi.org/10.1016/j.renene.2009.02.015>
10. Luo, Y., Zhang, L., Bozlar, M., Liu, Z., Guo, H., & Meggers, F. (2019). Active building envelope systems toward renewable and sustainable energy. *Renewable and sustainable energy reviews*, *104*, 470-491. doi:<https://doi.org/10.1016/j.rser.2019.01.005>
11. Moreno, M., Dufour, L., Skarmeta, A. F., Jara, A. J., Genoud, D., Ladevie, B., & Bezan, J. J. (2016, Mai). Big data: the key to energy efficiency in smart buildings. *Soft Computing*, *20*(5), 1-14. doi:[10.1007/s00500-015-1679-4](https://doi.org/10.1007/s00500-015-1679-4)

12. Ouali, S., Hadjiat, M., Ait-Ouali, A., Salhi, K., & Malek, A. (2018, Mars 30). Cartographie et caractérisation des ressources géothermiques de l'Algérie. *Journal of Renewable Energies*, 21(1), 54-61. Consulté le Mai 17, 2023, sur <https://www.asjp.cerist.dz/en/downArticle/401/21/1/121759>
13. Pinzon, J. A., Vergara, P. P., Da Silva, L. C., & Rider, M. J. (2018). Optimal management of energy consumption and comfort for smart buildings operating in a microgrid. *IEEE transactions on smart grid*, 10(3), 3236-3247. doi:<https://doi.org/10.1109/TSG.2018.2822276>
14. Rocha, P., Siddiqui, A., & Stadler, M. (2014). Improving energy efficiency via smart building energy management systems: A comparison with policy measures. *Energy and Buildings*, 88, 203-213. doi:<https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2014.11.077>
15. Saffari, M., De Gracia, A., Fernández, C., Zsembinszki, G., & Cabeza, L. F. (2017, Octobre). Study on the optimum PCM melting temperature for energy savings in residential buildings worldwide. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 251(1), 012113. doi:<http://dx.doi.org/10.1088/1757-899X/251/1/012113>
16. See, R., Haves, P., Sreekanthan, P., O'Donnell, J., Basarkar, M., & Settlemyre, K. (2011, Novembre 14-16). Development of a user interface for the EnergyPlus whole building energy simulation program. *Proceedings of the 12th International IBPSA Conference*, pp. 2919-2926. Consulté le Janvier 4, 2023, sur <https://www.semanticscholar.org/paper/DEVELOPMENT-OF-A-USER-INTERFACE-FOR-THE-ENERGYPLUS-See-Haves/418b662e8a095ddd5676b1321e8c31b520060496>
17. Semahi, S., Zemmouri, N., Singh, M. K., & Attia, S. (2019). Comparative bioclimatic approach for comfort and passive heating and cooling strategies in Algeria. *Building and Environment*, 161, 106271. doi:<https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2019.106271>
18. Tadokoro, S., Jia, Q. S., Zhao, Q., Darabi, H., Huang, G., Becerik-Gerber, B., & Johansson, K. H. (2014, Juin 6). Smart Building Technology [TC Spotlight]. *IEEE ROBOTICS & AUTOMATION MAGAZINE*, 21(2), 18-20. doi:<https://doi.org/10.1109/MRA.2014.2314033>
19. Zaki, W. M., Nawawi, A. H., & Ahmad, S. S. (2008). Energy savings benefit from passive architecture. *Journal of Sustainable Development, Canada Centre of Science and Education*, 1(3), 51-63. Consulté le Novembre 2022
20. Zhang, D., Shah, N., & Papageorgiou, L. G. (2013). Efficient energy consumption and operation management in a smart building with microgrid. *Energy Conversion and management*, 74, 209-222. doi:<https://doi.org/10.1016/j.enconman.2013.04.038>

Ouvrages

1. ANTOINET, É., BRÛLÉ, S., BURLON, S., CUI, Y.-J., CUIRA, F., DARVE, F., . . . MAZET-BRACHET, D. (2021). *Comportement d'ouvrages géotechniques sous sollicitations complexes*. Paris: Techniques de l'ingénieur. Consulté le Mai 18, 2023, sur <https://www.techniques-ingenieur.fr/base-documentaire/construction-et-travaux-publics-th3/comportement-d-ouvrages-geotechniques-sous-sollicitations-complexes->

- 42706210/geostructures-thermiques-c264/fonctionnement-d-une-geostructure-thermique-c264niv10001.h
2. APRUE. (2019). *Recueil de textes législatifs et réglementaires sur la maîtrise de l'énergie*. Alger: ACS. Récupéré sur <https://www.aprue.org.dz/index.php/fr/>
 3. Bedini, S. (1965). *Technology and Culture* (Vol. 6). doi:<https://doi.org/10.2307/3100949>
 4. CDER. (2005, Avril 19). *Loi n°04-09 du 14 août 2004*. Alger. Consulté le Décembre 10, 2022, sur CDER: https://www.cder.dz/loi/loi_avant.pdf#:~:text=Loi%20n%C2%B004-09%20du%20Joumada%20Ethania%201425%20correspondant%20au,constitution%2C%20notamment%20ses%20articles%20119%2C%20120%2C122%20et%20126%3B
 5. Cleveland, C., & Morris, C. (2005). *Dictionary of energy*. Elsevier.
 6. DI DONNA, A. (2019, Octobre 28). *La géothermie, une source d'énergie verte sous nos bâtiments*. Consulté le Mai 17, 2023, sur Encyclopédie de l'environnement: <https://www.encyclopedie-environnement.org/sol/geothermie-source-energie-verte-batiments/>
 7. Elmualim, A. (2010). *Smart Building Systems for Architects, Owners and Builders*.
 8. Goswami, D. Y., & Kreith, F. (2016). *Energy efficiency and renewable energy handbook*. CRC Press.
 9. Hershberger, R. G. (2015). *Architectural programming and predesign manager*. New York : Routledge. Consulté le Mars 23, 2023, sur https://books.google.dz/books?hl=fr&lr=&id=p1WbCgAAQBAJ&oi=fnd&pg=PP1&dq=Robert+G.+Hershberger,+Architectural+Programming+and+Predesign+Manager,+New+York,+McGraw-Hill,+1999,+p.+5&ots=uYco4ls2Bv&sig=rE2iY3QonHyqPmXLwUXhAxHfC48&redir_esc=y#v=onepage&q=Rober
 10. International Energy Agency. (2022). *World Energy Outlook*. Paris. Consulté le Novembre 27, 2022, sur <http://www.iea.org/>
 11. Melquiot, P. (2003). *1.001 mots et abréviations de l'environnement et du développement durable*. Lyon, France: Librairie Environnement. Consulté le Novembre 22, 2022
 12. Oxford University Press. (2008). *Oxford LEARNER'S POCKET Dictionary* (éd. 4e). (V. Bull, Éd.) Oxford, Angleterre: Oxford University Press. Consulté le Mai 11, 2023
 13. Smill, V. (2017). *Energy and civilization: a history*. London, England: MIT Press. Consulté le Novembre 26, 2022
 14. TAKA NADIFA. (2021). *Guide RTB+*. Alger: Novembre. Consulté le Novembre 16, 2022
 15. Zohuri, B. (2018). *Hybrid Renewable Energy Systems in: Hybrid Energy Systems*. Springer, Cham. doi:10.1007/978-3-319-70721-1_1

Thèses et mémoires de Magister

1. Al Habibi, H. (2019). *Analysis and optimization of energy performance for a building in csus campus*. Mémoire de magister, Université d'État de Californie, Département de génie mécanique, Sacramento, Californie. Consulté le Décembre 31, 2022
2. Alawadhi, M. S. (2017). *Building energy model generation using a digital photogrammetry-based 3D model*. Mémoire de magister en sciences, Université A&M du Texas, Bureau des études supérieures et professionnelles, College Station. Consulté le Janvier 3, 2023
3. Benoudjafer, I. (2018). *Vers une amélioration de la performance énergétique des habitations : la certification énergétique comme une stratégie durable. Cas de la ville de Bechar*. Thèse de doctorat, Université Mohamed Khider, Département d'Architecture, Biskra. Consulté le Décembre 5, 2022
4. Besbas, Y. (2019). *Caractérisation du confort thermique estival dans les chambres des malades. cas des hôpitaux de Biskra*. Thèse de doctorat, Université Mohamed Khider, Département d'architecture, Biskra. Consulté le Décembre 28, 2022
5. Blervaque, H. (2014). *Règles de modélisation des systèmes énergétiques dans les Bâtiments Basse Consommation*. Thèse de doctorat, l'École nationale supérieure des mines, Institut des sciences et technologies, Paris. Consulté le Décembre 31, 2022, sur <https://pastel.archives-ouvertes.fr/tel-01139365/document>
6. Boutabba, T. (2018). *Contribution à la modélisation et à la commande d'un système de génération hybride Solaire-Eolien*. Thèse de doctorat, Université Mostefa Ben Boulaïd, Département d'Électrotechnique, Batna. Consulté le Décembre 27, 2022
7. BRAHAMI, I. S. (2018). *Optimisation du fonctionnement d'un générateur photovoltaïque*. Thèse de doctorat, Université Djillali Liabes, Électrotechnique, Sidi Bel-Abbès. Consulté le Mars 23, 2023, sur <https://www.theses-algerie.com/2698501147173344/these-de-doctorat/universite-djillali-liabes---sidi-bel-abbes/optimisation-du-fonctionnement-d-un-g%C3%A9n%C3%A9rateur-photovolta%C3%AFque-par-guidage-automatique-des-panneaux-solaires>
8. Dakhia, A. (2019). *L'analyse du cycle de vie, comme stratégie de développement d'un bâtiment durable dans les milieux arides à climat chaud et sec. Cas de la ville de Biskra*. Thèse de doctorat, Université Mohamed Khider, Département d'Architecture, Biskra. Consulté le Décembre 11, 2022
9. DELERABLÉE, Y. (2019). *Intégration thermique et mécanique des géostructures thermiques*. Thèse de doctorat, Université Paris-Est, École Doctorale Sciences, Ingénierie et Environnement, Paris. Consulté le Mai 1, 2023, sur <https://theses.hal.science/tel-02476696/>
10. Guechi, I. (2018). *L'influence des contraintes physiques sur l'urbanisation des établissements humains, cas de l'agglomération de Guelma*. Thèse de doctorat, Université Mohamed Khider, Architecture, Biskra. Consulté le Janvier 9, 2023
11. KARAMOSTEFA KHELIL, C. (2008). *Simulation des performances des systèmes photovoltaïques de façades*. Thèse de doctorat, Université Saad DAHLEB, Département d'Électronique, Blida. Consulté le Mai 10, 2023, sur <https://di.univ-blida.dz/jspui/handle/123456789/5084>

12. Madi, K. (2015). *Enjeux de la simulation pour l'étude des performances énergétiques des bâtiments en Afrique sub-saharienne*. Thèse de doctorat, L'université Grenoble Alpes, Institut International d'Ingénierie de l'Eau et de l'Environnement 2iE, Grenoble.
13. Mida, D. (2019). *Contribution à la Modélisation d'un Système de Production d'Energie Electrique Hybride « Eolien – Photovoltaïque »*. Thèse de doctorat, Université Mohamed Khider, Département de Génie Electrique, Biskra. Consulté le Décembre 28, 2022
14. Rahmouni, S. (2020). *Evaluation et Amélioration Energétiques de Bâtiments dans le cadre du Programme National d'Efficacité Energétique*. Thèse de doctorat, Université Mostepha Ben Boulaid, Institut d'Hygiène et Sécurité, Batna. Consulté le Décembre 30, 2022

Webographie

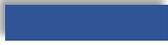
1. APRUE. (2021, Janvier 20). *Qui somme-nous?* Consulté le Décembre 10, 2022, sur APRUE: <https://www.aprue.org.dz/index.php/fr/presentation/creation>
2. APRUE. (s.d.). *CTBAT V2.0*. Consulté le Décembre 5, 2022, sur CTBAT: <https://v2.ctbat.net/>
3. ARENA. (2022, Septembre 30). *Bioenergy*. Consulté le Décembre 28, 2022, sur ARENA Australian Government: <https://arena.gov.au/renewable-energy/bioenergy/>
4. ARENA. (2022, Octobre 24). *Geothermal energy*. Consulté le Décembre 27, 2022, sur ARENA Australian Government: <https://arena.gov.au/renewable-energy/geothermal/>
5. ARENA. (2022, Octobre 11). *Hybrid technologies*. Consulté le Décembre 27, 2022, sur ARENA Australian government: <https://arena.gov.au/renewable-energy/hybrid/>
6. ARENA. (2022, Septembre 14). *Renewable Energy*. Consulté le Décembre 25, 2022, sur ARENA Australian Government: <https://arena.gov.au/what-is-renewable-energy/>
7. ARENA. (2022). *Solar energy*. Consulté le Décembre 25, 2022, sur ARENA Australian Government: <https://arena.gov.au/renewable-energy/solar/>
8. ARENA. (2022, Novembre 2). *Wind energy*. Consulté le Décembre 27, 2022, sur Australian Renewable Energy Agency: <https://arena.gov.au/renewable-energy/wind/>
9. Banton, C. (2022, Juin 2). *Efficiency: What It Means in Economics, the Formula To Measure It*. Consulté le Novembre 26, 2022, sur Investopedia: <https://www.investopedia.com/terms/e/efficiency.asp#toc-types-of-efficiency>
10. BATI ADVISOR. (s.d.). *BEPOS, LE STANDARD IMPOSÉ PAR LA RT2020*. Consulté le Décembre 9, 2022, sur BATI ADVISOR: <https://batiadvisor.fr/bepos/>
11. BATIADVISOR. (s.d.). *LES FAÇADES PHOTOVOLTAÏQUES : L'ALLIANCE DE DESIGN ET PRODUCTION D'ÉNERGIE*. Consulté le Mai 17, 2023, sur BATIADVISOR: <https://batiadvisor.fr/facades-photovoltaïques/>
12. Bâtiments à Énergie Positive et Réduction Carbone. (2019, Janvier 14). *Niveaux de performance*. Consulté le Novembre 26, 2022, sur Bâtiments à Énergie Positive et

- Réduction Carbone: <http://www.batiment-energiecarbone.fr/niveaux-de-performance-a88.html>
13. BatiSim. (2018). *Pourquoi choisir le logiciel DesignBuilder ?* Consulté le Janvier 4 2023, sur batisim.net: <https://batisim.net/designbuilder.html>
 14. Cambridge University Press & Assesment. (2023). *experimentation*. Consulté le Mai 11, 2023, sur Cambridge Dictionary: <https://dictionary.cambridge.org/dictionary/english/experimentation>
 15. Cambridge University Press Assesment. (2023). *Science*. Consulté le Mai 11, 2023, sur Cambridge Dictionary: <https://dictionary.cambridge.org/us/dictionary/english/science>
 16. Carbonnel, V. (2019, Décembre 2). *Bâtiments « durables » : comment s'y retrouver dans le maquis des labels et certifications ?* Consulté le Décembre 12, 2022, sur pierrepapier: <https://www.pierrepapier.fr/actualite/certifications-energetiques-et-labels-batiments-immobilier-durables/>
 17. CDER. (s.d.). *RÉGLEMENTATION THERMIQUE ALGÉRIENNE RETA*. Consulté le Décembre 10, 2022, sur Centre de Développement des Energies Renouvelables: <https://reta.cder.dz/>
 18. Cerema, climat et territoires de demain. (2021, Mars 24). *Réglementation Environnementale 2020 : quelles évolutions des objectifs de performance énergétique ?* Consulté le Décembre 5, 2022, sur Cerema, climat et territoires de demain: <https://www.cerema.fr/sites/default/files/inline-images/re2020.png>
 19. Cerema, climat et territoires de demain. (2021, Mars 24). *Réglementation Environnementale 2020 : quelles évolutions des objectifs de performance énergétique ?* Consulté le Décembre 5, 2022, sur Cerema, climat et territoires de demain: <https://www.cerema.fr/fr/actualites/reglementation-environnementale-2020-quelles-evolutions-0?folder=8182>
 20. Climate Champions. (2022, Novembre 15). *COP27 Day8: Energy*. Consulté le Décembre 1, 2022, sur climatechampions.unfccc.int: <https://climatechampions.unfccc.int/cop27-day8-energy/>
 21. Connaissance des énergies. (2011, Juin 21). *Géothermie haute température*. Consulté le Mai 18, 2023, sur Connaissance des énergies: <https://www.connaissancedesenergies.org/fiche-pedagogique/geothermie-haute-temperature>
 22. Connaissance des énergies. (2013, Octobre 25). *Géothermie superficielle*. Consulté le Mai 18, 2023, sur Connaissance des énergies: <https://www.connaissancedesenergies.org/fiche-pedagogique/geothermie-superficielle>
 23. Connaissance des énergies. (2014, Mars 3). *Géothermie basse température*. Consulté le Mai 18, 2023, sur Connaissance des énergies: <https://www.connaissancedesenergies.org/fiche-pedagogique/geothermie-basse-temperature>
 24. Department of Energy, Office of Energy Efficiency and Renewable Energy. (s.d.). *How Hydropower Works*. Consulté le Décembre 28, 2022, sur [energy.gov](https://www.energy.gov/): <https://www.energy.gov/eere/water/how-hydropower->

37. Hamakareem, M. I. (s.d.). *Energy Efficiency in Buildings and its Import*. Consulté le Décembre 7, 2022, sur THE CONSTRUCTOR Building ideas: <https://theconstructor.org/building/energy-efficiency-building/562100/>
38. International Energy Agency. (2022, Septembre). *Buildings*. Consulté le Décembre 4, 2022, sur Buildings – Analysis - IEA: <https://www.iea.org/reports/buildings>
39. International Energy Agency. (2022). *covid-19*. Consulté le Novembre 29, 2022, sur IEA: <https://www.iea.org/topics/covid-19>
40. International Energy Agency. (2022). *La crise énergétique mondiale*. Consulté le Novembre 26, 2022, sur IEA: <https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2022/the-global-energy-crisis>
41. International Energy Agency. (2022, Octobre 26). *Population touchée par les mesures de Covid-19 au premier semestre 2020*. Consulté le Décembre 6, 2022, sur IEA: <https://www.iea.org/data-and-statistics/charts/population-affected-by-covid-19-measures-in-the-first-half-of-2020>
42. IRENA. (2022). *Geothermal*. Consulté le Décembre 28, 2022, sur International Renewable Energy Agency: <https://www.irena.org/Energy-Transition/Technology/Geothermal-energy>
43. IRENA. (2022). *Wind energy*. Consulté le Décembre 28, 2022, sur International Renewable Energy Agency: <https://www.irena.org/Energy-Transition/Technology/Wind-energy>
44. IZUBA énergies. (2022). *Notre logiciel : PLEIADES*. Consulté le Janvier 6, 2023, sur izuba.fr: <https://www.izuba.fr/logiciels/outils-logiciels/>
45. Laloui, L., Rotta Loria, A., & Peltier, M. (2018, Novembre 8). *Les géostructures énergétiques: une énergie renouvelable sous nos pieds*. Consulté le Mai 17, 2023, sur Espazium: <https://www.espazium.ch/fr/actualites/les-geostructures-energetiques-une-energie-renouvelable-sous-nos-pieds>
46. Larousse. (2023). *expérimentation*. Consulté le Mai 11, 2023, sur Larousse: <https://www.larousse.fr/dictionnaires/francais/exp%C3%A9rimentation/32242>
47. legrand. (s.d.). *Qu'est-ce que la réglementation environnementale 2020 ou RE2020 ?* Consulté le Novembre 26, 2022, sur legrand: <https://www.legrand.fr/questions-frequentes/quest-ce-que-la-reglementation-environnementale-2020-ou-re2020#:~:text=La%20RE2020%2C%20ou%20r%C3%A9glementation%20environnementale%202020%2C%20remplace%20la,b%C3%A2timents%20plus%20%22propres%22%2C%20bas-carbon>
48. lelynx. (s.d.). *Qu'est-ce qu'un label énergie ?* Consulté le Décembre 11, 2022, sur lelynx.fr: <https://www.lelynx.fr>
49. Les énergies renouvelables - EcoInfos. (2022, Mars 1). *Réglementation Thermique 2020 : Les Objectifs - EcoInfos*. Consulté le Novembre 30, 2022, sur Les énergies renouvelables - EcoInfos: <https://www.les-energies-renouvelables.eu/conseils/reglementation-thermique-2012/lobjectif-de-la-reglementation-thermique-2020/?fbclid=IwAR0HSiSXyG8ilz8osrvv6BvxXtsPIRqfC4fg9i5iZLC32qGRGsDb6fzovLM#:~:text=La%20R%C3%A9glementation%20Thermique%202020%20>

50. Marcheteau, G. (2016, Juin 17). *Réglementation thermique : qu'est-ce que c'est ?* Consulté le Novembre 30, 2022, sur l'énergie tout compris.fr: <https://www.lenergieoutcompris.fr/actualites-conseils/reglementation-thermique-qu-est-ce-que-c-est-48050#:~:text=La%20r%C3%A9glementation%20thermique%2C%20souvent%20abr%C3%A9g%C3%A9e%20%C2%AB%20RT%20%C2%BB%2C,qui%20encadre%20les%20caract%C3%A9ristiques%2>
51. MICL Ministère de l'intérieur et des Collectivités Locales. (2019). *Commune de Guelma à la Une*. Consulté le Janvier 11, 2023, sur interieur.gov.dz: <https://www.interieur.gov.dz/index.php/fr/commune-%C3%A0-la-une/2125-commune-de-guelma-%C3%A0-la-une.html#faqnoanchor>
52. Ministère de la Transition énergétique. (2022, Septembre 20). *Les énergies renouvelables*. Consulté le Décembre 25, 2022, sur Ministère de la Transition énergétique: <https://www.ecologie.gouv.fr/energies-renouvelables>
53. Ministère de la Transition énergétique. (2022, Août 12). *Réglementation environnementale RE2020*. Consulté le Novembre 16, 2022, sur Ministères Écologie Énergie Territoires: <https://www.ecologie.gouv.fr/reglementation-environnementale-re2020>
54. Ministère de la Transition énergétique. (2023, Mars 17). *Diagnostic de performance énergétique - DPE*. Consulté le Mai 22, 2023, sur Ministère de la Transition écologique et de la cohésion des territoires: <https://www.ecologie.gouv.fr/diagnostic-performance-energetique-dpe>
55. MINISTÈRE DE L'ÉNERGIE ET DES MINES. (2019). *Energies Nouvelles, Renouvelables et Maitrise de l'Énergie*. Consulté le Mai 17, 2023, sur MINISTÈRE DE L'ÉNERGIE ET DES MINES: <https://www.energy.gov.dz/?rubrique=energies-nouvelles-renouvelables-et-maitrise-de-lrenergie>
56. National Geographic Society. (2022, Février 6). *Renewable Energy*. Consulté le Décembre 25, 2022, sur National Geographic Society: <https://education.nationalgeographic.org/resource/renewable-energy>
57. Nations Unies. (2022, Juillet 11). *ONU Info*. Consulté le Janvier 12, 2023, sur news.un.org: <https://news.un.org/fr/story/2022/07/1123492>
58. Parc Beepos. (s.d.). *Bâtiment à Énergie POSitive*. Récupéré sur BeePos: <http://beepos.aprogsys.com/wp/wp-content/uploads/2016/07/bepos.png>
59. POUJOULAT. SA. (2018, Septembre 12). *Nouvelle réglementation RT2020, ou RE2020, c'est déjà demain !* Consulté le Décembre 9, 2022, sur cheminées Poujoulat: <https://www.poujoulat.fr/fr/uploads/media/Energie%20positive/0001/conseils/Niveaux%20%C3%A9nergie%20Chemin%C3%A9es%20Poujoulat.jpg>
60. Project Drawdown. (2022, Décembre 22). *Micro Wind Turbines*. Consulté le Décembre 28, 2022, sur Project Drawdown: <https://www.drawdown.org/solutions/micro-wind-turbines>
61. Prudence, M. (2020, Juillet 9). *BEPOS 2020*. Consulté le Décembre 8, 2022, sur MEGASTRUCTURES: <https://www.megastructures.fr/bepos-2020/#:~:text=En%20d%C3%A9finitive%2C%20le%20label%20BEPOS%202020%2>

- 0est%20une,a%20rendu%20obligatoire%20la%20construction%20de%20tels%20logements.
62. QUALITEL. (s.d.). *Le label E+C-*. Consulté le Décembre 5, 2022, sur ASSOCIATION QUALITEL POUR LA QUALITÉ DU LOGEMENT: <https://www.qualitel.org/professionnels/certifications/label-e-c/>
 63. Rod, C. (2021, Mars 30). *Comment définir le système énergétique de demain ?* Consulté le Décembre 28, 2022, sur romande énergie: <https://blog.romande-energie.ch/fr/articles-d-experts/131-comment-definir-le-systeme-energetique-de-demain>
 64. TAKA NADIFA. (s.d.). *Appui institutionnel*. Consulté le Novembre 16, 2022, sur TAKA NADIFA: <http://paeree.dz/appui-institutionnel-et-reglementaire/>
 65. TAKA NADIFA. (s.d.). *Appui institutionnel et réglementaire*. Consulté le Novembre 16, 2022, sur TAKA NADIFA: <http://paeree.dz/appui-institutionnel-et-reglementaire/>
 66. TAKA NADIFA. (s.d.). *Axes d'intervention et groupes d'activités*. Consulté le Novembre 16, 2022, sur TAKA NADIFA: <http://paeree.dz/decouvrir-le-paeree/axes-dintervention-et-groupes-dactivites-2/>
 67. Taka Nadifa. (s.d.). *Contexte*. Consulté le Novembre 16, 2022, sur Taka Nadifa: <http://www.takanadifa.com/>
 68. TAKA NADIFA. (s.d.). *Efficacité énergétique*. Consulté le Novembre 16, 2022, sur TAKA NADIFA: <http://paeree.dz/efficacite-energetique/>
 69. TAKA NADIFA. (s.d.). *Énergies renouvelables*. Consulté le Novembre 16, 2022, sur TAKA NADIFA: <http://paeree.dz/energies-renouvelables/>
 70. TAKA NADIFA. (s.d.). *La mise en œuvre et le suivi*. Consulté le Novembre 16, 2022, sur TAKA NADIFA: <http://paeree.dz/decouvrir-le-paeree/mise-en-oeuvre/>
 71. TAKA NADIFA. (s.d.). *Le programme*. Consulté le Novembre 16, 2022, sur TAKA NADIFA: <http://paeree.dz/decouvrir-le-paeree/le-programme/>
 72. TRNSYS. (s.d.). *A TRANSIENT SYSTEMS SIMULATION PROGRAM*. Consulté le Janvier 4, 2023, sur trnsys.org: <https://trnsys.org/>
 73. US Department of Energy. (s.d.). *Energy efficiency*. Consulté le Novembre 28, 2022, sur Energy.gov: <https://www.energy.gov/eere/energy-efficiency>
 74. USCUSA. (2017, Décembre 20). *Benefits of Renewable Energy Use*. Consulté le Décembre 28, 2022, sur Union of Concerned Scientists: <https://www.ucsusa.org/resources/benefits-renewable-energy-use>
 75. UVED. (2018, Février 22). *Concept de système énergétique - Introduction*. Consulté le Décembre 28, 2022, sur Portail UVED: <https://www.uved.fr/fiche/ressource/concept-de-systeme-energetique-introduction#:~:text=Le%20concept%20de%20syst%C3%A8me%20%C3%A9nerg%C3%A9tique%2C%20cherche%20%C3%A0%20%C3%A9largir,et%20les%20m%C3%A9canismes%20associ%C3%A9s%20%28%C3%A9conomiques%2C%20soc>



Annexes

ANNEXE 1 : LA REGLEMENTATION THERMIQUE ALGERIENNE DU BATIMENT (RTB)

En 1999, le Ministère du Logement et de l'Urbanisme élabore le premier code énergétique algérien du bâtiment. Ce document qui se présente sous forme de deux fascicules : un pour l'hiver DTR C3.2 et un deuxième pour l'été DTR C3.4 avait pour objectif de réduire la consommation énergétique destinée au chauffage de 20% à 30%. Plus de 16 années après une version révisée de cette réglementation est élaborée, avec comme principales modifications :

- Rassemblement des deux fascicules en un seul document ; Renforcement des exigences ; Définition d'un nouveau zonage.

La réglementation thermique algérienne actuellement en vigueur est le DTR C3.2/, la vérification de la conformité d'un bâtiment vis-à-vis de cette nouvelle réglementation doit se faire pour la période d'hiver et pour la période d'été séparément.

i. Vérification d'hiver

Le DTR stipule que pendant la période de chauffage, les déperditions calorifiques par transmission à travers les parois doivent être inférieures à une valeur de référence.

$$D_T \leq 1.05 D_{ref}$$

$$D_{ref} = a.S_1 + b.S_2 + c.S_3 + d.S_4 + e.S_5$$

a, b, c, d, e, représentent les coefficients de transmission thermique des différentes parois (respectivement le toit, le plancher, les murs, porte et fenêtres). S_1, S_2, S_3, S_4, S_5 représentent la surface de ces parois.

ii. Vérification d'été

Pour la période d'été, les apports de chaleur à travers les parois opaques (APO) et vitrées (AV) calculés à 15 h du mois de Juillet (considéré comme le mois le plus chaud de l'année) doivent être inférieurs à une limite appelée 'Apport de Référence (Aréf)'.
 $Apo(15h) + Av(15h) \leq 1.05 Aréf$

Tableau 1: Coefficients de référence (Source : (Imessad K. , et al., 2017))

Zone	Bâtiment individuel					Bâtiment passif				
	a	B	c	d	e	a	b	c	d	e
A	0.9	2	1.2	3	3.8	0.9	2	1.2	3	3.8
A1	0.9	2	1.2	3	3.8	0.9	2	1.2	3	3.8
B	0.9	2	1	3	3.8	0.75	2	1	3	3.8

C	0.9	2	1	3	3.8	0.75	2	1	3	3.8
D	0.9	2	1.2	3	3.8	0.9	2	1.2	3	3.8

a. Le Logiciel RETA

Afin de faciliter l'utilisation et l'application de la réglementation thermique algérienne, le Centre de Développement des Energies Renouvelables a développé une application baptisée RETA {REglementation Thermique Algérienne}. Cette application est un logiciel libre d'accès qui se présente sous forme d'interface graphique accessible. Cette application permet le calcul des déperditions thermiques en hiver et des apports en été conformément aux DTR C3.2 et C 3.4.

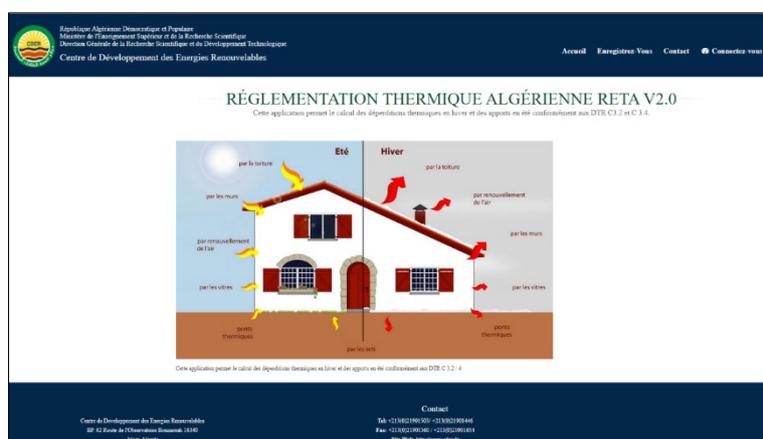


Figure 1: Page d'accueil de RETA (Source : reta.cder.dz)

L'entité principale de RETA est le projet, et pour élaborer un projet sous RETA passe par deux étapes majeures :

- **Étape 1 : Introduction des données**
 - a. Données relatives au projet (localisation géographique)
 - b. Données relatives à l'enveloppe du bâtiment (volume, usage du bâtiment, conditions de confort interne)
 - c. Définition des parois opaques et vitrées (surface nette, orientation, composition, etc.)
- **Étape 2- Calcul et récupération des résultats**

Une fois les données introduites, l'application permet de vérifier la conformité du projet de construction par rapport à la réglementation thermique algérienne, ainsi que de dimensionner les systèmes de chauffage et de climatisation. L'application offre la possibilité de générer un rapport détaillé. Le rapport affiche une synthèse des différentes valeurs et les résultats de la vérification réglementaire.

b. Exemple d'application

Afin d'évaluer l'impact de l'application RETA sur la réduction de la demande énergétique pour le chauffage et la climatisation, une étude thermique du dernier étage d'un bâtiment de 100 m² de surface, situé à Alger (latitude 36°8N, longitude 03.2E) est effectuée. Le bâtiment est à usage de bureaux avec un taux d'occupation de 8 personnes. L'étage étudié et le bloc se trouvant au-dessous sont supposés être aux mêmes conditions thermiques. Deux cas sont étudiés : le premier considère que les parois extérieures sont de composition standard des constructions actuelles (**Tab.2**).

Dans le second cas (**Tab.3**), nous considérons que le bâtiment répond aux exigences minimales de la réglementation algérienne. Les coefficients de transmission thermique 'U' pour chaque paroi sont donnés dans (**Tab.3**).

Tableau 2 : Composition de l'enveloppe pour un bâtiment classique (Source : (Imessad K. , et al., 2017))

	Composition	Epaisseur (m)	
Murs	Mortier ciment	0.02	1.25 W/m ² K ⁻¹
	Brique	0.1	
	Lame d'air	0.1	
	Brique	0.1	
	Mortier plâtre	0.02	
Toit	Carreaux granito	0.02	2.6 W/m ² K ⁻¹
	Mortier de pose	0.02	
	Béton	0.04	
	Hourdi	0.16	
	Mortier de plâtre	0.02	
Fenêtre	Simple vitrage		5 W/m ² K ⁻¹

Tableau 3 : Composition de l'enveloppe pour un bâtiment conforme (Source : (Imessad K. , et al., 2017))

	Composition	Epaisseur (m)	
Murs	Mortier ciment	0.02	0.85 W/m ² K ⁻¹
	Polystyrène expansé	0.03	
	Brique	0.1	
	Mortier plâtre	0.02	
	Carreaux granito	0.02	

Toit	Mortier de pose	0.02	0.7 W/m ² K ⁻¹
	Béton	0.04	
	Hourdi	0.16	
	Polystyrène extrudé	0.04	
	Mortier de plâtre	0.02	
Fenêtre	Double vitrage		3.3 W/m ² K ⁻¹



Figure 2 : Vue d'ensemble et plan du bâtiment étudié (Source : (Imessad K. , et al., 2017))

i. Résultats

La (**Fig.2**) montre la puissance des systèmes de chauffage et de climatisation pour les deux configurations étudiées. Les puissances des systèmes de chauffage et de climatisation sont calculées pour une température de consigne d'hiver de 21°C, et une température de consigne en été de 24°C.

Il est à noter que la puissance de chauffage à installer pour le bâtiment classique est de 14.7 kW et la puissance du système de climatisation est de 8.4 kW. Le passage d'un bâtiment de construction classique non conforme vis-à-vis de la Réglementation thermique algérienne à un bâtiment conforme fait baisser la puissance du système de chauffage de 56 % et celle du dispositif de climatisation de 48 %.

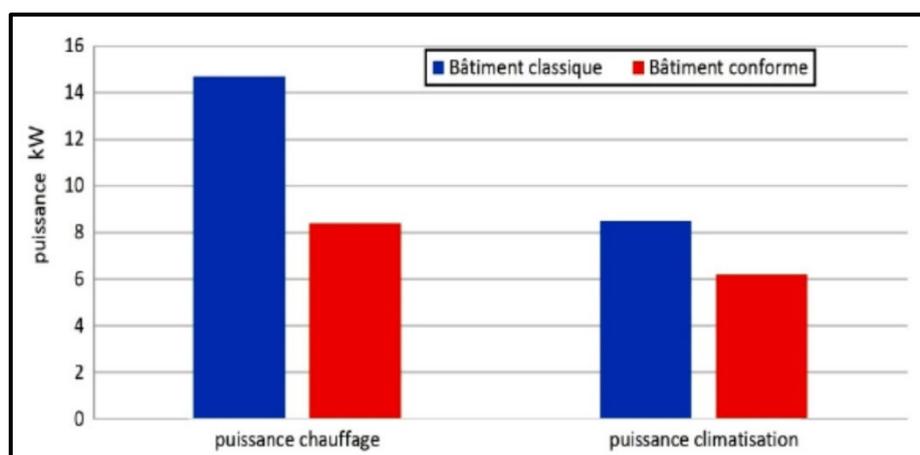


Figure 3 : Puissance de chauffage et de climatisation (Source : (Imessad K. , et al., 2017))

La **Figure 4** illustre les besoins annuels de chauffage qui sont pour le bâtiment classique de l'ordre de 16600 kWh/an, alors que les besoins pour un bâtiment répondant aux exigences minimales de la réglementation thermique algérienne sont de l'ordre de 9940kWh/an, soit une

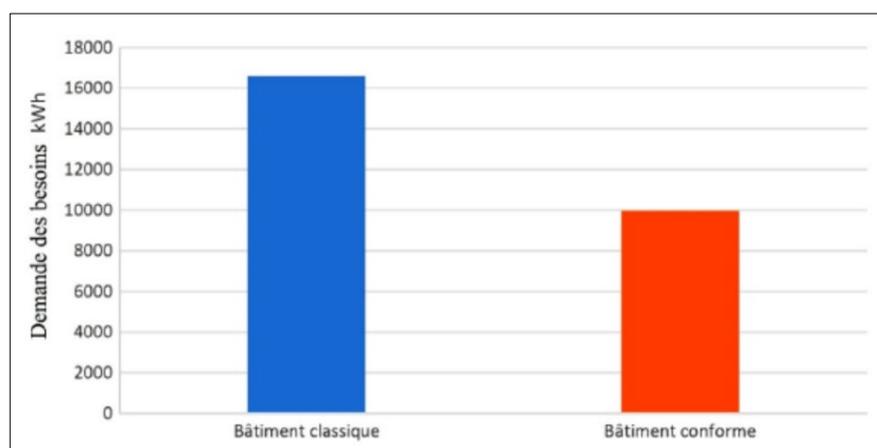


Figure 4 : Demande annuel des besoins de chauffage (Source : (Imessad K. , et al., 2017))

réduction de plus de 40%.

- ii. **Synthèse :** Ce logiciel permet d'effectuer les calculs thermiques nécessaires afin de vérifier la conformité d'un projet de construction vis-à-vis de la nouvelle réglementation thermique (DTR C3.2/4). RETA a pour vocation d'être un outil de référence qui est mis à la disposition des professionnels du bâtiment afin de leur faciliter l'intégration des exigences de la réglementation thermique algérienne dans leurs projets de construction. Une étude thermique sur un bâtiment à usage de bureaux montre que la mise en conformité de ce bâtiment vis-à-vis de la réglementation thermique algérienne permet d'économiser 40 % des besoins énergétiques pour le chauffage et la climatisation. (Imessad K. , et al., 2017)

ANNEXE 2 : LA REGLEMENTATION THERMIQUE DU BATIMENT PROPOSEE PAR LE PROGRAMME TAKA NADIFA (RTB+)

L'absence de contrôle effectif du respect de la RTB, ajoutée au côté fastidieux des calculs thermiques, explique la faible application des prescriptions de la RTB. Aussi pour faciliter l'application de la RTB, l'Agence Nationale pour la Promotion et la Rationalisation de l'Utilisation de l'Energie en Algérie (APRUE) a mis à disposition un outil en ligne appelé CTBAT, Ainsi que le Centre de Développement des Energies Renouvelables (CDER), qu'a mis à disposition l'outil RETA.

a. L'outil CTBAT :

C'est une application pour le calcul et la conception thermiques des bâtiments, cette application permet le calcul des déperditions thermiques en hiver et des apports en été conformément aux DTR C 3.2 / 4.



Figure 1 : Page D'accueil de CTBAT (Source : v2.ctbat.net)

b. Exemples d'application illustrant l'intérêt des propositions de la RTB+

Pour montrer comment ces propositions de la RTB+ peuvent changer la situation actuelle et contribuer à l'optimisation thermique des bâtiments, des exemples à travers le bâtiment d'étude déjà décrit, sont proposés et comparés à une pratique de construire « non conforme » à la RTB (par exemple, avec des fenêtres à vitrage simple et des parois opaques non isolés, comme dans le **Tableau 1**). Ce bâtiment est pris comme point de départ de l'analyse.

Le cas d'étude proposé est un logement individuel situé dans la Wilaya d'Alger. Il se compose de 3 pièces principales et de 2 de service (cuisine et salle de bain) et totalise une surface de plancher d'environ 78 m². Il est contigu à l'est et à l'ouest avec deux logements

identiques ; seules les façades nord et sud sont dispersantes. Pour montrer comment ces propositions de la RTB+ peuvent changer la situation actuelle et contribuer à l'optimisation thermique des bâtiments, des exemples à travers le bâtiment d'étude, sont proposés et comparés à une pratique de construire « non conforme » à la RTB (par exemple, avec des fenêtres à vitrage simple et des parois opaques non isolés). Ce bâtiment est pris comme point de départ de l'analyse.

- i. Deux situations possibles (rénovation « majeure » et vérification « par composant»), où la RTB+ contribuerait à améliorer la performance thermique du bâtiment « non conforme » après une intervention de restructuration ou d'entretien, sont montrées dans la (**Fig.2**) La réduction des puissances de chauffage et climatisation se traduiront en des économies d'énergie en fonction des systèmes techniques choisis.

Tableau 1 : Bâtiment « non conforme » utilisée dans les calculs (Source : (TAKA NADIFA, 2021))

Composantes	K	K _{ext}	Description
Toiture	3,15	2,65	Dalle en béton sans isolation
Plancher	2,13	2,70	Dalle en béton
Parois	2,18	2,33	Single paroi en brique creuse
Portes	3,50	3,50	Porte en bois
Fenêtres	5,00	5,00	Single vitrage, cadre en bois

BATIMENT EXISTANT				APRES L'INTERVENTION ET SELON LA RTB+			
cas I - vérification pour rénovations « majeures » (deuxième proposition)				cas I - vérification pour rénovations « majeures » (deuxième proposition)			
La rénovation du toit e de la façade – représentant plus que 50% de l'enveloppe du bâtiment – a été décidée ou est nécessaire				Le bâtiment rénové doit passer les vérifications thermiques ; pour ce faire, c'est possible effectuer l'isolation des éléments substitués			
		FACADE ET TOITURE A SUBSTITUER				FINITION EXTERIEURE ISOLATION	
K	K _{ext}	Description	K	K _{ext}	Description		
Toiture	1,91	1,71	Dalle en béton sans isolation	Toiture	0,57	0,55	+ isolation 5 cm
Parois	1,34	1,39	Single paroi en briques	Parois	0,48	0,49	+ isolation 5 cm
Résultats en termes de performance thermique du bâtiment							
Puissance de chauffage (W)	12,1		5,47		-55%		
Puissance de climatisation (W)	9,9		5,06		-49%		
D _r / D _{ref}	1,68		0,66				
APD + AV / A _{ref}	2,04		1				
cas II - vérification par composant (troisième proposition)				cas II - vérification par composant (troisième proposition)			
La toiture est endommagée pour plus que 25% de sa surface ; donc, se rend nécessaire la substitution de la couche d'étanchéité du toit				Une couche d'isolation doit être ajoutée pour rendre le coefficient de déperdition thermique du toit plus bas que 0,9 W/m ² ·°C			
		PORTION (>25%) ENDOMMAGE				NOUVELLE COUCHE D'ETANCHÉITÉ ISOLATION	
K	K _{ext}	Description	K	K _{ext}	Description		
Toiture	1,91	1,71	Dalle en béton armé sans isolation	Toiture	0,57	0,55	+ isolation 5 cm
Résultats en termes de performance thermique du bâtiment							
Puissance de chauffage (W)	12,1		7,5		-38%		
Puissance de climatisation (W)	9,9		5,9		-40%		
D _r / D _{ref}	1,68		0,97				
APD + AV / A _{ref}	2,04		1,49				

Figure 2: Vérification pour rénovations et par composant selon RTB+ (Source : (TAKA NADIFA, 2021))

ii. Proposition d'un système d'étiquetage énergétique : Attestation de Performance Énergétique Potentielle du bâtiment APPE

Un système d'étiquetage énergétique des bâtiments résidentiels neufs en Algérie, appelé «APPE » (Attestation de Performance Energétique Potentielle). Dans le cadre du projet Taka Nadifa, plus que la mise à disposition de l'outil CTBAT, d'un autre côté, un outil par le calcul de l'APPE (nommé cAPPE) a été mis à disposition des futurs utilisateurs. Le calcul de l'APPE parte des valeurs de puissance de chauffage et climatisation. Les résultats du dimensionnement de ces systèmes techniques est aussi une sortie du CTBAT.

Vérification réglementaire							
Conformité DTR Echanges thermiques par transmission							
Enveloppe	D = Σ DT	Σ Dréf	Vérification C-3.2	A = Σ APO + Σ AV	Aréf = Σ APOréf + Σ AVréf	Vérification C-3.4	
Cas d'étude	204,09	315,66	0,65 <input checked="" type="checkbox"/> Conforme	1 577,19	1 617,65	0,97 <input checked="" type="checkbox"/> Conforme	

Dimensionnement			
Renouvellement et infiltration d'air Dimensionnement			
Enveloppe	Puissance de chauffage nécessaire		Puissance de climatisation nécessaire
Cas d'étude	5,4 kW		5,0 kW

Figure 3: Extraits du CTBAT relatifs aux vérifications de conformité thermique et au dimensionnement des systèmes techniques pour le cas d'étude (Source : (TAKA NADIFA, 2021))

L'outil de calcul de l'APPE nécessite des informations générales (surface utile, localisation...) du bâtiment, pour lequel l'APPE veut se produire. Les captures d'écran des pages d'input du cAPPE pour le cas d'étude sont illustrées dans la (Fig.4). Parmi des combinaisons possibles des systèmes techniques de chauffage, climatisation et production d'eau chaude sanitaire, l'utilisateur établit un choix pour sortir l'attestation de la performance énergétique potentielle correspondant.

Sélectionner entre des options ou taper les données d'entrée relatives à la localisation du logement pour lequel l'APPE doit être calculé. En gris, les données obtenues à partir des informations saisies ne peuvent pas être modifiées.		Sélectionner entre des options ou taper les données d'entrée relatives au logement pour lequel l'APPE doit être calculé. En gris, les données obtenues à partir des informations saisies ne peuvent pas être modifiées.		
Wilaya	sélectionner	ALGER	Nom du Projet	Villa Oudja
Groupe de Communes Hiver	sélectionner	Groupe de communes :	Commune	Alger
Zone d'hiver		A	Adresse	Rue de l'Algérie 123
Text, hiver (°C)		3	Année de Construction	2021
Groupe de Communes Eté	sélectionner	Toutes les communes	Surface utile	77,57 m ²
Zone d'été		A	Volume net climatique	232,63 m ³
Text, été (°C)		34	Surface d'enveloppe	211,00 m ²
Altitude (m)	taper	40	S _{ext} /V	0,01
Tm (°C)		17,8	Typologie	Logement individuel
Degrés-jour de Chauffage		1635	D _{ext}	204,09 W/C
Jours de Chauffage		231	D _{int}	155,66 W/C
Degrés-jour de Climatisation		197	Puissance minimale de chauffage	5,40 kW
Jours de Climatisation		78	ZAPD/24V	1077,19 W
Production Photovoltaïque (kWh/kWp a)		1.586	ZAPOréf/24Vréf	1617,65 W
Production Solaire Thermique (kWh/a par m ² de panneaux)		652	Puissance minimale de climatisation	5,00 kW
			Tint,h	21 °C
			Tint,e	27 °C
			Besoin standard de chauffage	11,772,0 kWh/a
			Besoin standard unitaire de chauffage	153,8 kWh/m ² a
			Besoin standard de climatisation	1.377,1 kWh/a
			Besoin standard unitaire de climatisation	48,5 kWh/m ² a
			Besoin standard pour la production d'ECS	1.124,6 kWh/a
			Besoin standard unitaire pour la production d'ECS	54,5 kWh/m ² a

Figure 4 : Extraits du cAPPE (pages d'input des données du logement) (source : (TAKA NADIFA, 2021))

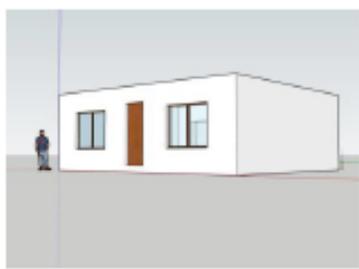
ATTESTATION DE PERFORMANCE ENERGETIQUE POTENTIELLE DU BATIMENT								1/2
		INFORMATIONS DU BATIMENT						
		Wilaya ALGER Commune Alger Adresse Rue de l'Algérie 123 Année 2021 Altitude (m) 40 m USAGE Logement individuel <input checked="" type="checkbox"/> Logement en immeuble collectif <input type="checkbox"/>	Zone d'Hiver A Zone d'Eté A Surface utile 77,57 m ² Volume net climatisé 232,63 m ³ Surface d'enveloppe 211 m ² Senv/V 0,91					
Vérification C3.2/4 d'Hiver				Vérification C3.2/4 d'Eté				
Σ DT (W/°C)	Σ Dréf (W/°C)	0,65	Puissance chauffage (kW)	Σ APO + Σ AV (W)	Σ APOréf + Σ AVréf (W)	0,97	Puissance climatisation (kW)	
204,09	315,66	Conforme	5,40	1577,19	1617,65	Conforme	5,00	
BESOINS ENERGETIQUES « STANDARD » ET POSSIBLES INSTALLATIONS TECHNIQUES								
PRODUCTION D'EAU CHAUDE SANITAIRE		CHAUFFAGE		CLIMATISATION				
Besoin standards	1125 kWh/a	Besoin standards	11772 kWh/a	Besoin standards	3377 kWh/a			
Besoin par m ²	14,5 kWh/m ² a	Besoin par m ²	151,8 kWh/m ² a	Besoin par m ²	43,5 kWh/m ² a			
PRODUCTION D'EAU CHAUDE SANITAIRE	Pompe à chaleur électrique E.1  COP : 2,25 Energie : 16 kWh/m ² a	Chauffe-eau à condensation E.2  Rgen : 0,8 Energie : 19 kWh/m ² a	CHAUFFAGE	Pompe à chaleur électrique H.1  COP : 3,73 Energie : 101,7 kWh/m ² a	Pompe à chaleur à gaz H.2  GUE : 1,2 Energie : 132,8 kWh/m ² a			
	Chauffe-eau à gaz standard E.3  Rgen : 0,7 Energie : 21,7 kWh/m ² a	Boîtier électrique E.4  Rgen : 0,35 Energie : 103,6 kWh/m ² a		Chaudière à condensation H.3  Rgen : 0,95 Energie : 167,7 kWh/m ² a	Chaudière standard H.4  Rgen : 0,905 Energie : 176,1 kWh/m ² a			
CLIMATISATION	Pompe à chaleur électrique C.1  EER : 2,5 Energie : 43,5 kWh/m ² a	Pompe à chaleur à gaz C.2  GUE : 1,1 Energie : 41,6 kWh/m ² a		Radiateur à gaz H.5  Rgen : 0,88 Energie : 181,1 kWh/m ² a	Radiateur électrique H.6  COP : 1 Energie : 379,4 kWh/m ² a			
RENOUVELABLES	Photovoltaïque PV  Puissance : 0,013 kWp/m ² Production : 20,4 kWh/m ² a	Solaire Thermique ST  Surface : 4,1 m ² Production : 80% ECS	INFORMATIONS	COP – Coefficient de performance R _{GEN} – Rendement de génération GUE – Efficacité de l'usage de gaz EER – Rapport d'efficacité énergétique Facteur de conversion en énergie primaire du Gaz Naturel = 1,05 Facteur de conversion en énergie primaire de l'Electricité = 2,5				
Rapport du Projet : Villa Guide							03/11/2021	

Figure 5 : Attestation de Performance Énergétique Potentielle du bâtiment (Ape) 1/2 (Source : (TAKA NADIFA, 2021))

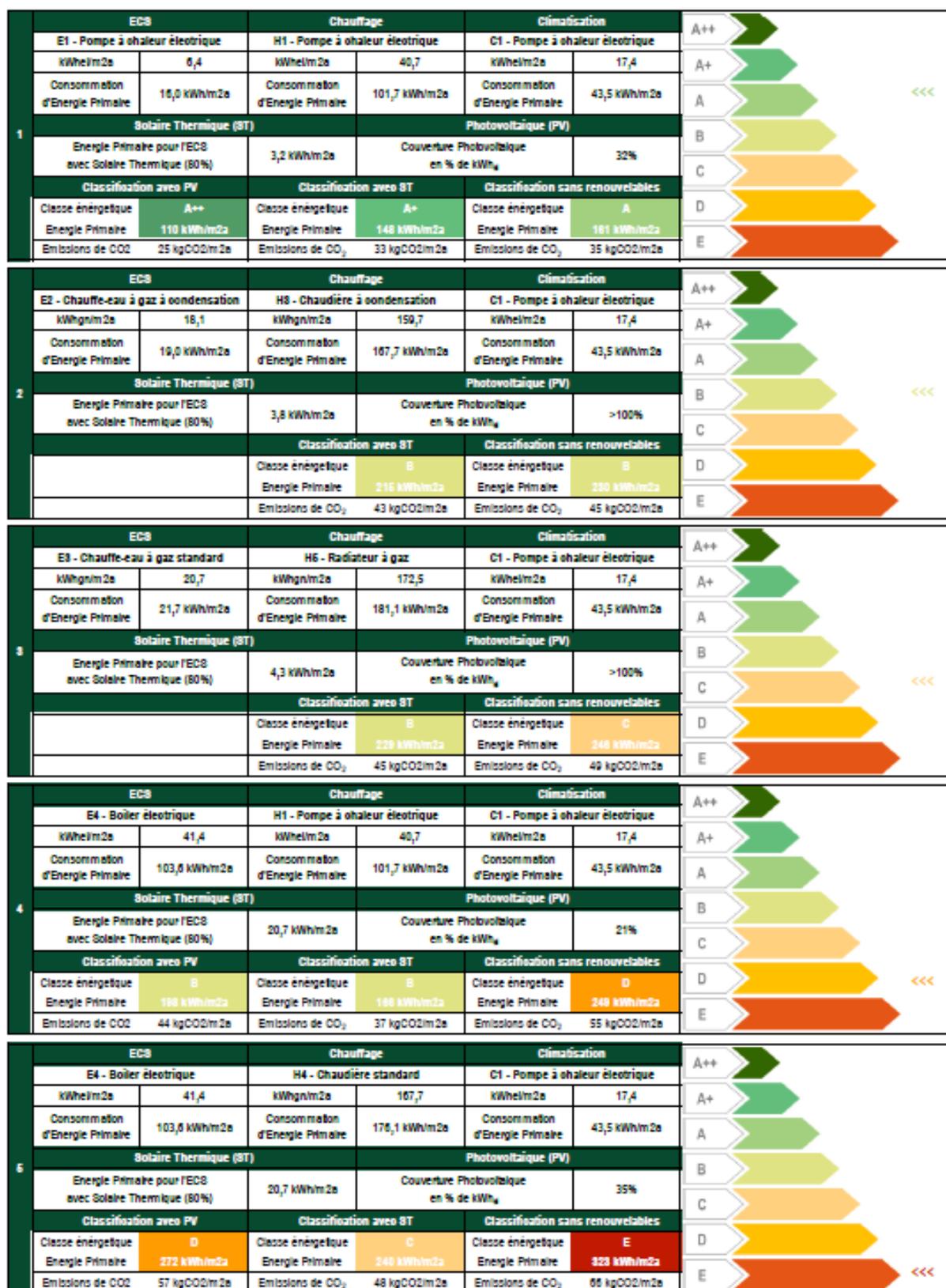


Figure 6 : Attestation de Performance Énergétique Potentielle du bâtiment (Ape) 1/2 (Source : (TAKA NADIFA, 2021))

La deuxième page de l'APPE (**Fig.6**) montre les résultats en termes de consommation d'énergie primaire du logement considéré et les classes respectives de mérite énergétique, de 5 possibles combinaisons d'installations techniques pour le chauffage, la climatisation et l'ECS, choisies parmi les options de la première page de l'APPE. Comme se voit, les rendements de quelques systèmes peuvent changer selon la zone climatique.

Selon les combinaisons des systèmes techniques choisies, au même logement peut être attribuée la classe A++ ou E.

Ce calcul se base sur les valeurs de puissance de chauffage et de climatisation minimales nécessaires à garantir le confort thermique dans le logement toute l'année. Des solutions avec des puissances inférieures aux valeurs minimales et donc incapables de garantir le confort thermique dans tout le logement ne sont pas considérées (par exemple, un poêle mobile utilisé pour fournir de la chaleur seulement dans un local de l'habitation). Le calcul estime les besoins énergétiques « standards » que les installations techniques doivent satisfaire, à partir de cette hypothèse et des caractéristiques climatiques du lieu où le logement/bâtiment est situé. Le calcul a été conçu pour être très simplement développé à partir des résultats du dimensionnement de chauffage et climatisation, obtenus, par exemple, par le biais du CTBAT. La consommation « standard » de chauffage est estimée sans prendre en compte les apports solaires, ni les apports intérieurs. Cela implique une surestimation par rapport à la consommation réelle – dont prévision n'est pas le but de l'APPE – mais est utile à comparer qualitativement des solutions et combinaisons différentes afin d'orienter le public vers la plus grande efficacité énergétique.

ANNEXE 3 : LES ESPACES INTERACTIFS D'EXPERIMENTARIUM

1. Le cinéma interactif

Le suivi avancé des visiteurs crée des histoires interactives uniques. Avec d'autres visiteurs, vous créez une expérience interactive surprenante, personnelle et significative dans le cinéma. L'exercice et la santé sont au centre de ce film. Le but de l'expérience est de motiver le public à reconsidérer ses choix quotidiens de santé et d'exercice.



Figure 1: Le cinéma interactif
(Source : www.experimentarium.dk)

- Age : 8+

2. Bubblearium

Dans le Bubblearium les visiteurs peuvent découvrir la science fascinante derrière les bulles de savon, tandis qu'ils font et jouent avec des bulles de savon de toutes tailles. Les murs arrondis de l'exposition sont bordés de lumières LED qui sont contrôlées individuellement pour jouer un film avec des bulles de savon flottantes.



Figure 2: Bubblearium
(Source : www.experimentarium.dk)

- Age : 6+

3. Circuit de physique

Une zone de phénomènes ludiques, qui donne au visiteur un aperçu des phénomènes physiques et techniques. Participez à des expériences d'apprentissage pratique et complet sur les rotations, les engrenages et la transmission de puissance avec des expositions amusantes et surprenantes.

- Age : 8+



Figure 3: Circuit de physique
(Source : www.experimentarium.dk)

4. Be seen, be safe

Pourquoi il peut être difficile à voir dans la circulation : Deux expositions sur la visibilité et sur la sécurité routière. Ils se concentrent sur le lien entre la vue, la capacité de réagir, la lumière et la couleur. Il devient évident que les couleurs vives et les réflecteurs sont essentiels si vous voulez être vu, lorsque les conditions d'éclairage sont mauvaises.

- Age : 6+



Figure 4: Be seen, be safe
(Source : www.experimentarium.dk)

5. Site de construction

Une grue, un tapis roulant et des pistes à billes sous de nombreuses formes. Sur le chantier, les plus jeunes visiteurs font semblant de travailler. Ils utilisent des principes mécaniques pour se déplacer, se soulever et descendre, comme sur un vrai chantier. Ils font l'expérience de la gravité, de la friction et de la vitesse sur leur propre corps alors qu'ils sont occupés à organiser leurs équipes.



Figure 5: Site de construction
(Source : www.experimentarium.dk)

- Age : 3+

6. La cellule de levure

La levure et les cellules de levure sont les amis des humains depuis des milliers d'années. Dans l'exposition, les visiteurs peuvent apprendre comment les cellules de levure jouent un rôle important dans la production d'aliments et de médicaments. Les visiteurs peuvent nourrir une colonie d'énormes cellules de levure, et se détendre dans le salon tout en volant à travers un morceau de pâte.

- Age : 10+



Figure 6: La cellule de levure
(Source : www.experimentarium.dk)

7. Puzzler

The exhibition allows visitors to discover that mathematics is exciting, fun, and even achievable. Adults and children alike discover that they have the mental strength and ability to engage in mathematics.

- Age : 10+



Figure 7: Puzzler
(Source : www.experimentarium.dk)

8. The idea company

L'exposition est conçue comme une usine qui fait des idées. La zone d'exposition est divisée en deux parties. On a cinq activités qui sont consacrées à générer des idées et les visiteurs peuvent former leur cerveau en utilisant des méthodes de la dernière recherche sur la pensée créative. L'autre est un atelier pratique où les visiteurs développent des idées avec des matériaux réels.

- Age : 10+



Figure 8: The idea company
(Source : www.experimentarium.dk)

9. Le labyrinthe de lumière

Le Labyrinthe de la Lumière est une exposition sensible sans script fixe. C'est aux visiteurs de créer leurs propres expériences. Les visiteurs travaillent avec différentes formes de lumière – et sans lumière ensemble – dans sept salles, chacune avec son propre caractère scénographique.

- Age : 8+

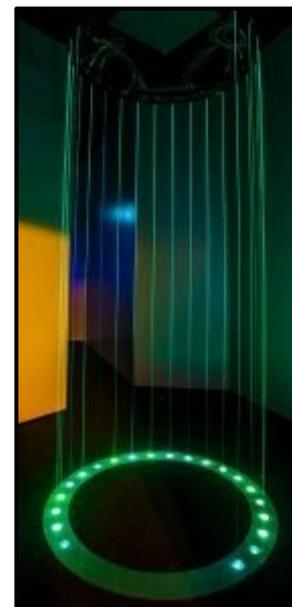


Figure 9: Labyrinthe de lumière
(Source : www.experimentarium.dk)

10. Pulse plaza

Chaque membre de la famille ou du groupe doit participer pour réussir. Les activités sont intergénérationnelles et ciblent chaque membre de la famille. Les activités sont divertissantes et axées sur une approche positive de la santé. Le niveau d'activité physique est élevé dans les huit activités.

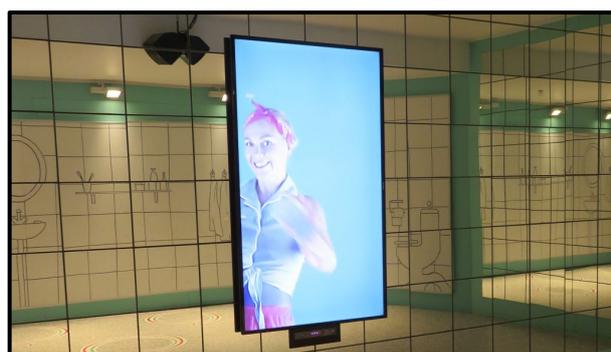


Figure 10: Pulse plaza
(Source : www.experimentarium.dk)

- Age : 10+

11. Le tunnel des sens

La vie de tous les jours est combinée à une expérience scientifique du corps entier des sens fascinants et évolutifs des êtres humains. Le tunnel des sens est une expérience immersive pour tous les âges.

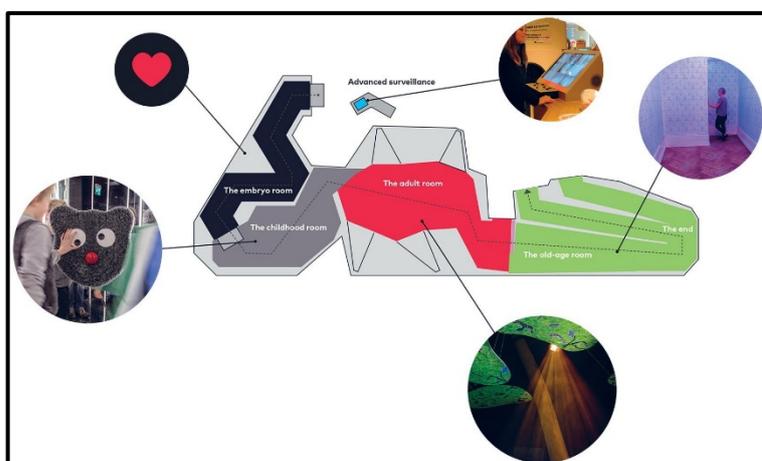


Figure 11: Le tunnel des sens
(Source : www.experimentarium.dk)

- Age : 6+

12. Maison des innovations

Toutes les inventions reposent sur les épaules d'autres inventions, ce qui pourrait surprendre les visiteurs qui ne connectent la technologie qu'avec les inventions numériques actuelles. L'exposition illustre comment un large éventail d'inventions a été créé.



Figure 12: Maison des innovations
(Source : www.experimentarium.dk)

- Age : 10+

13. Sous la peau

Expériences ouvertes avec le visiteur au milieu, en se concentrant sur la cellule, le système musculosquelettique, le système circulatoire et le cerveau. Plusieurs expositions sont construites dans des alcôves aux formes organiques qui soutiennent l'expérience personnelle et créent de la place pour la contemplation.



Figure 13: Sous la peau
(Source : www.experimentarium.dk)

- Age : 10+

ANNEXE 4 : PROJET

1. Plan de situation

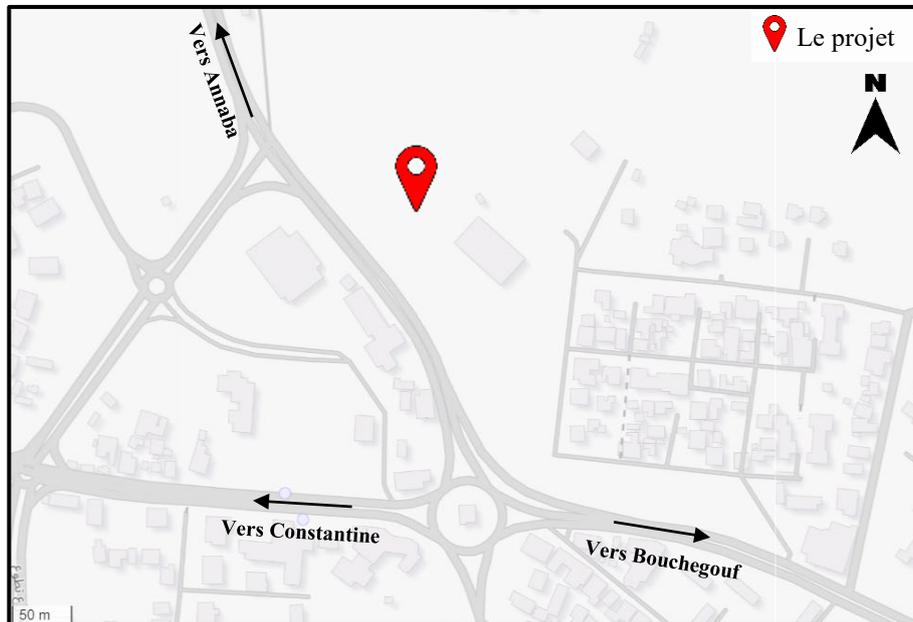


Figure 1: Plan de situation
(Source : www.openstreetmap.org réadapté par Auteur,2023)

2. Plan de masse



Figure 2: Plan de masse
(Source : Auteur,2023)

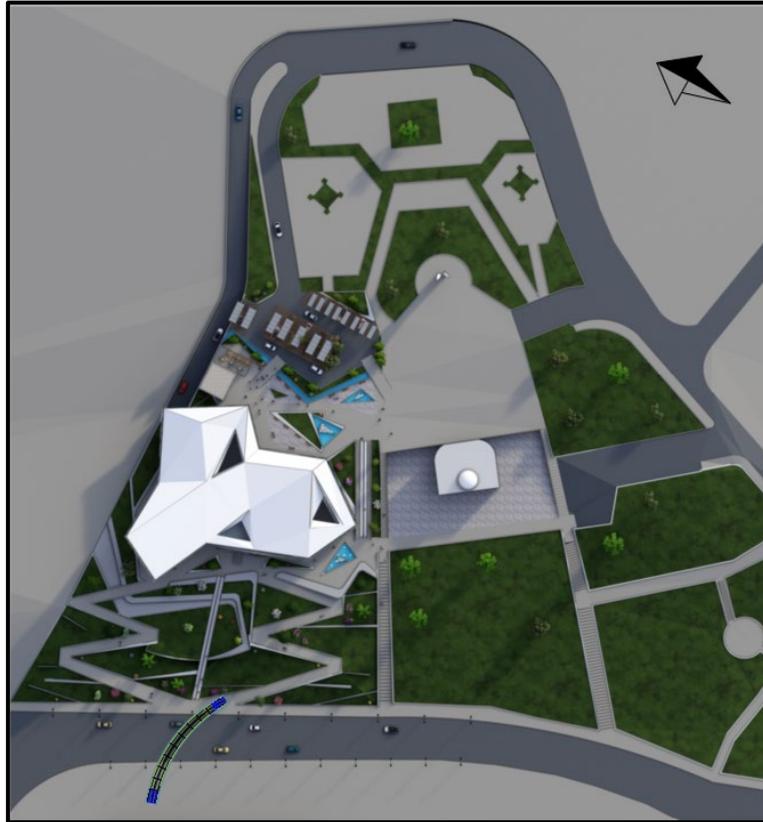


Figure 3: Plan de masse
(Source : Auteur, 2023)

3. Plans

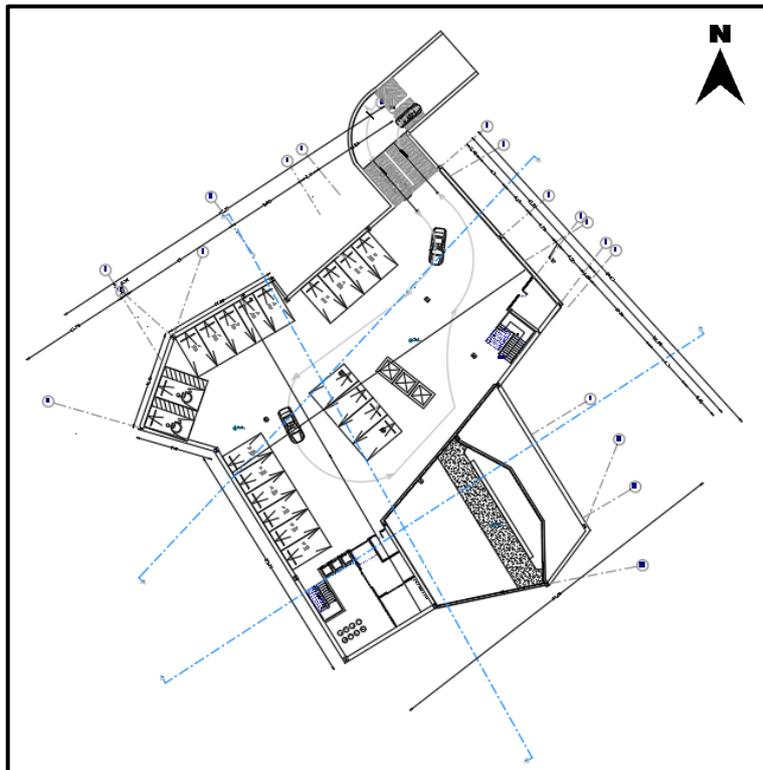


Figure 4: Plan Sous-sol (niveau -3.40m)
(Source : Auteur, 2023 par Revit 2023)

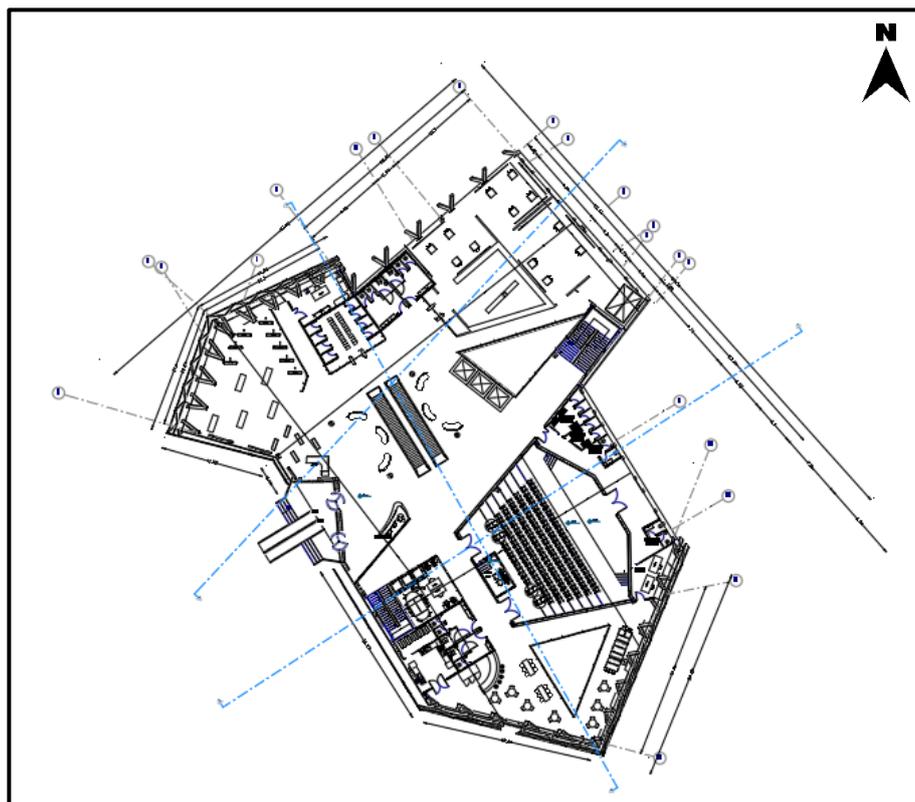


Figure 5: Plan RDC (niveau +0.00m)
(Source : Auteur, 2023 par Revit 2023)

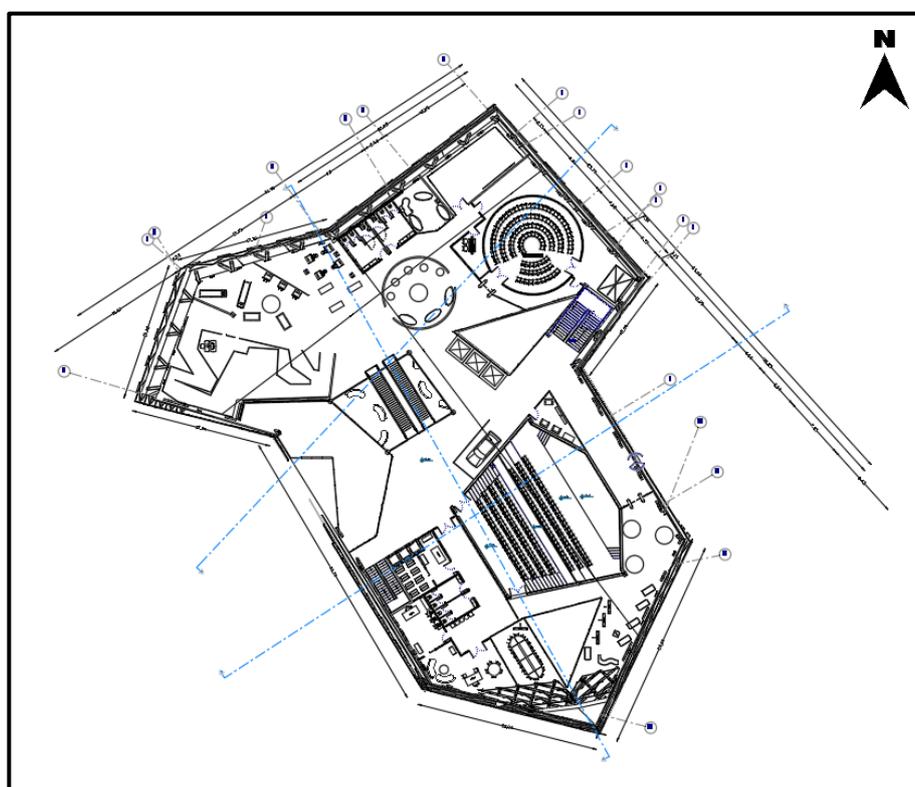


Figure 6: Plan premier étage (niveau +5.10m)
(Source : Auteur, 2023 par Revit 2023)

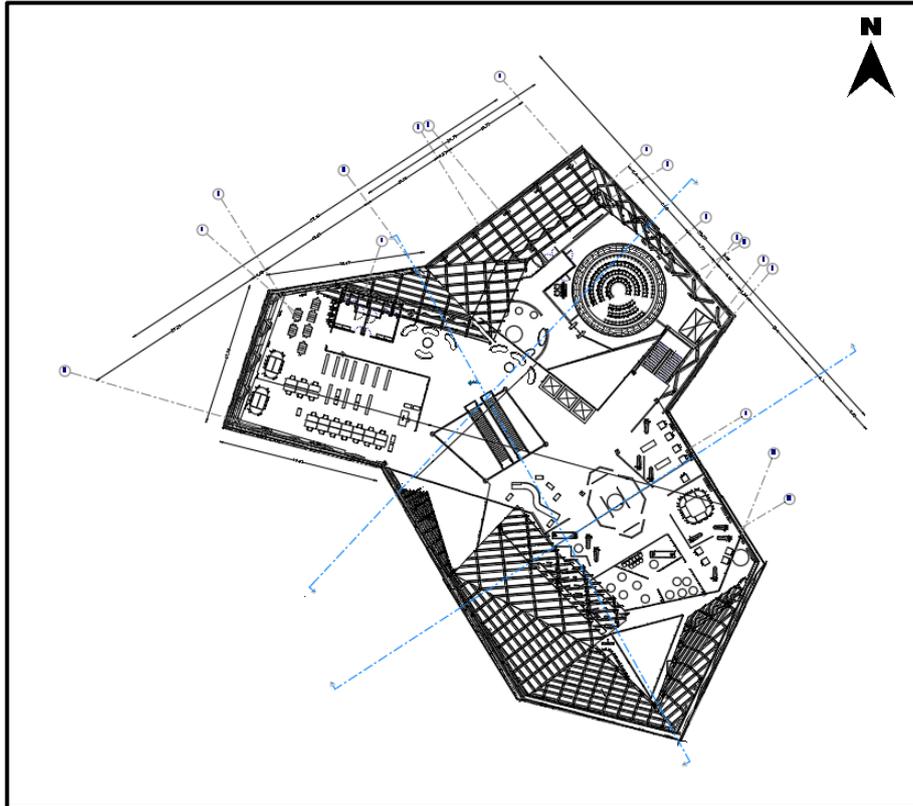


Figure 7: Plan deuxième étage (niveau +9.18m)
(Source : Auteur, 2023 par Revit 2023)

4. Coupes

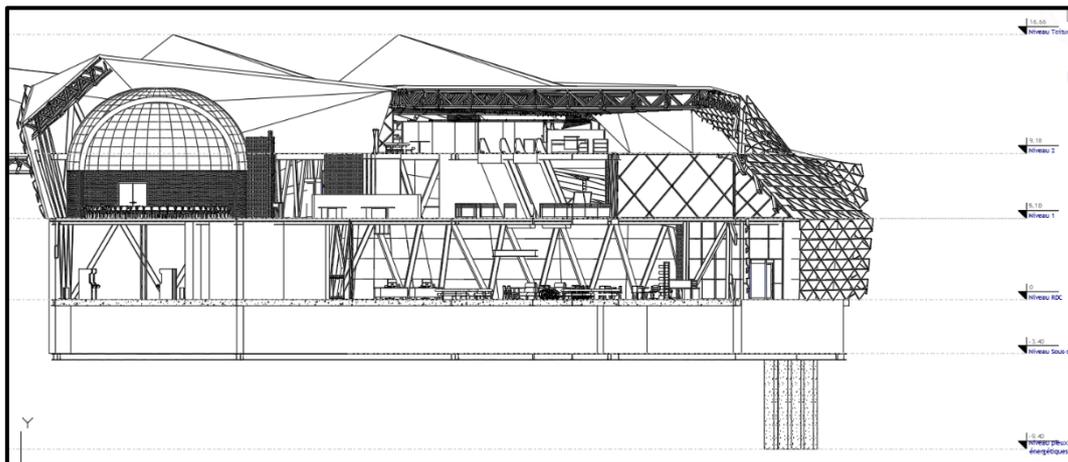


Figure 8: Coupe AA (Source : Auteur, 2023 par Revit 2023)

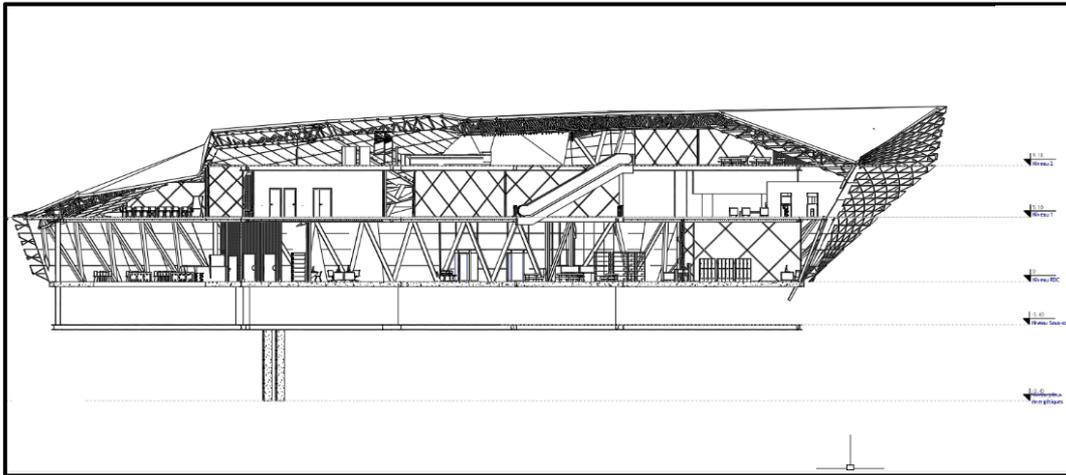


Figure 9: Coupe BB (Source : Auteur, 2023 par Revit 2023)

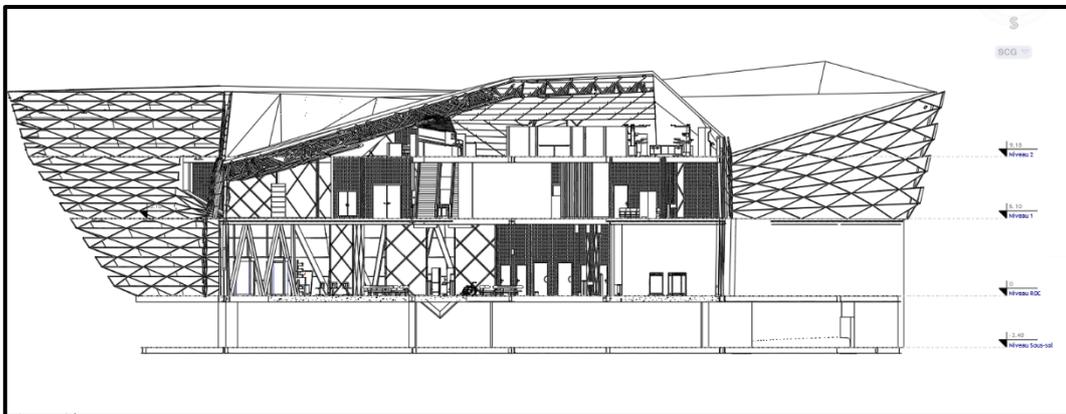


Figure 10: Coupe CC (Source : Auteur, 2023 par Revit 2023)

5. Façades

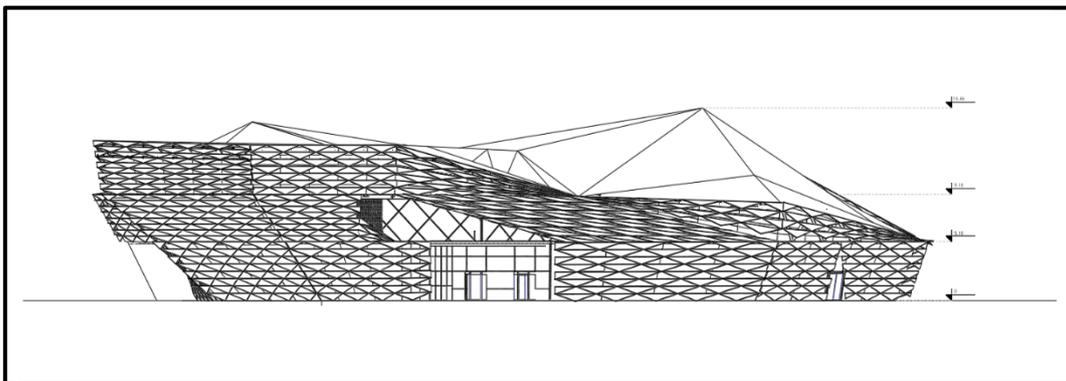


Figure 11: Façade Ouest (Source : Auteur, 2023 par Revit 2023)

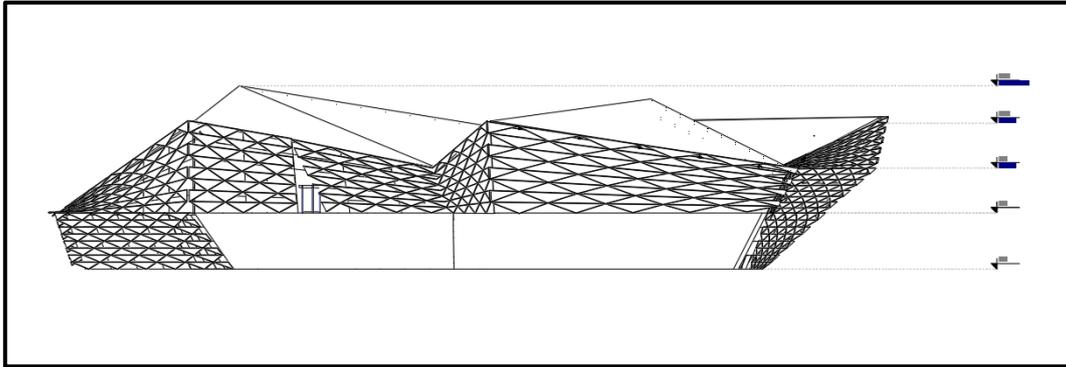


Figure 12: Façade Est (Source : Auteur,2023 par Revit 2023)

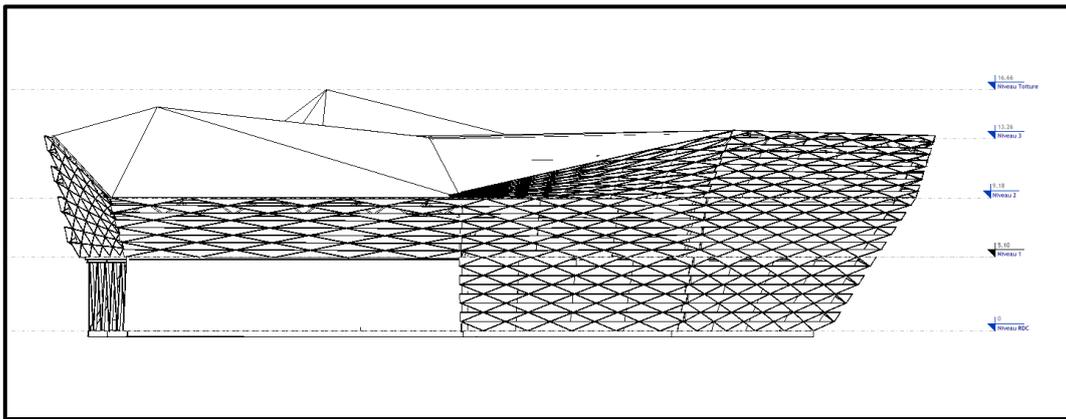


Figure 13: Façade Nord (Source : Auteur,2023 par Revit 2023)

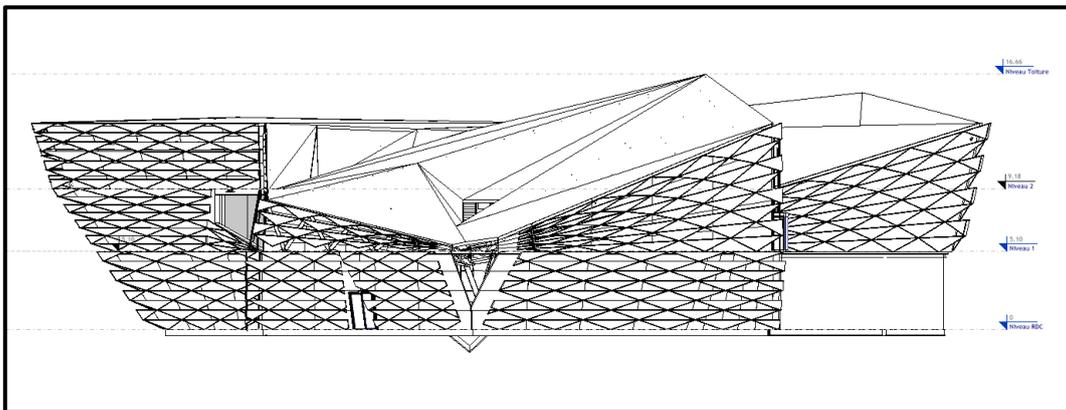


Figure 14: Façade Sud (Source : Auteur,2023 par Revit 2023)

6. La maquette numérique (BIM)

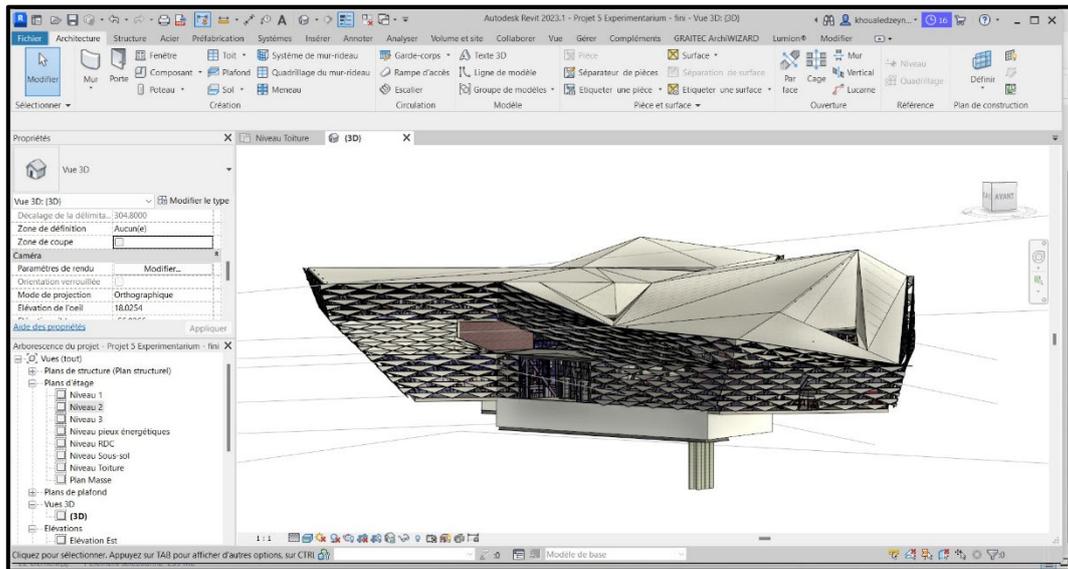


Figure 15: Maquette numérique du projet (Source : Auteur, 2023 par Revit 2023)

7. La structure

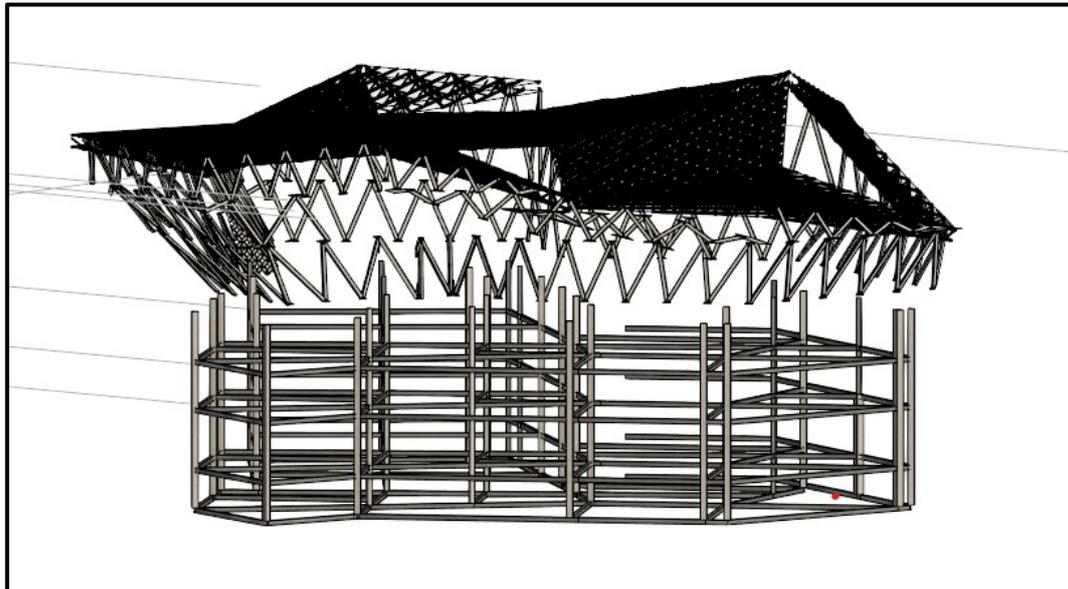


Figure 16: Maquette éclatée de la structure du projet
(Source : Auteur, 2023 par Revit 2023)

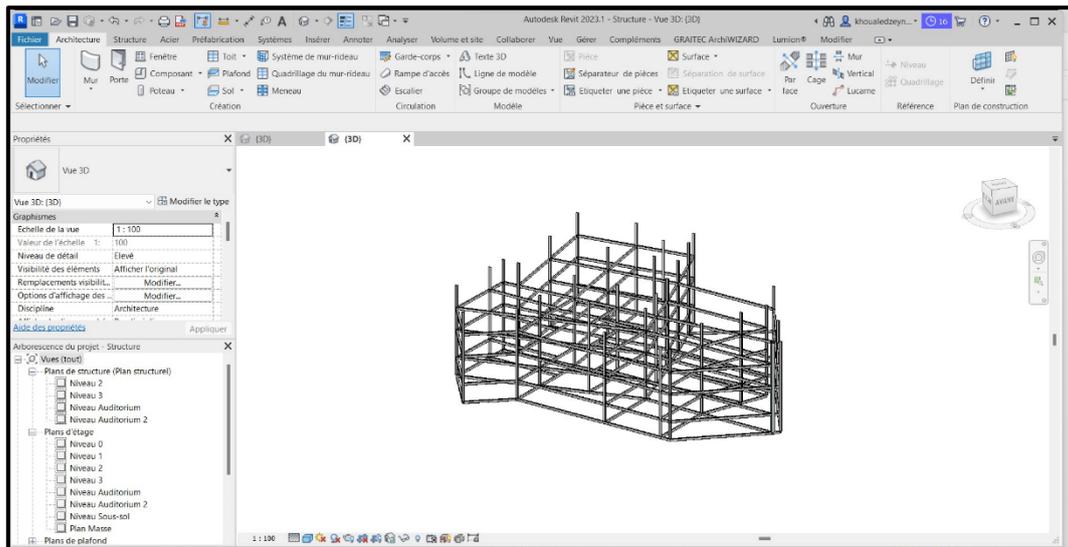


Figure 17: Maquette numérique de la charpente métallique du projet (type HEA 400)
(Source : Auteur, 2023 par Revit 2023)

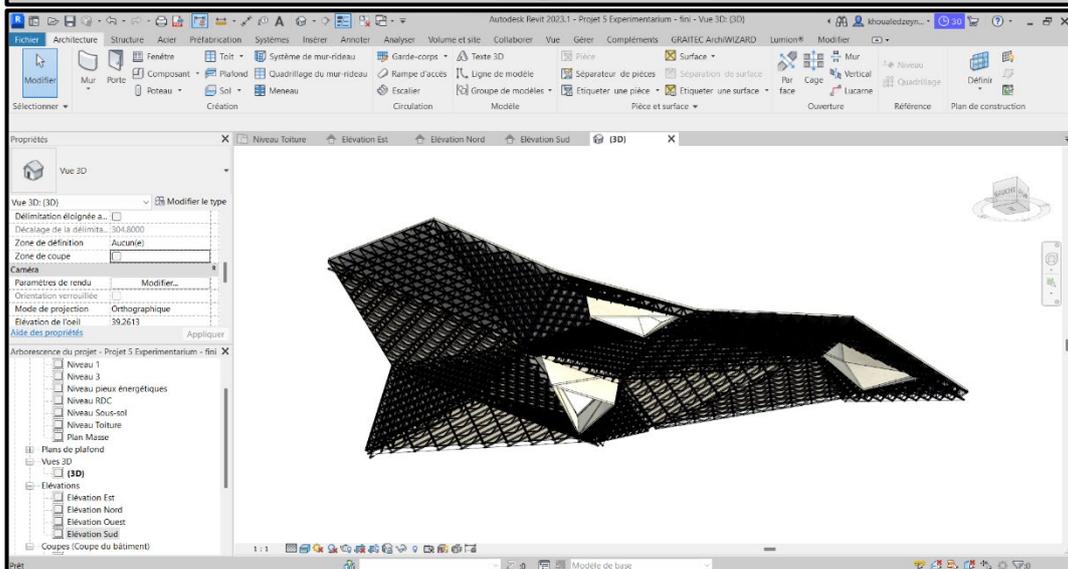
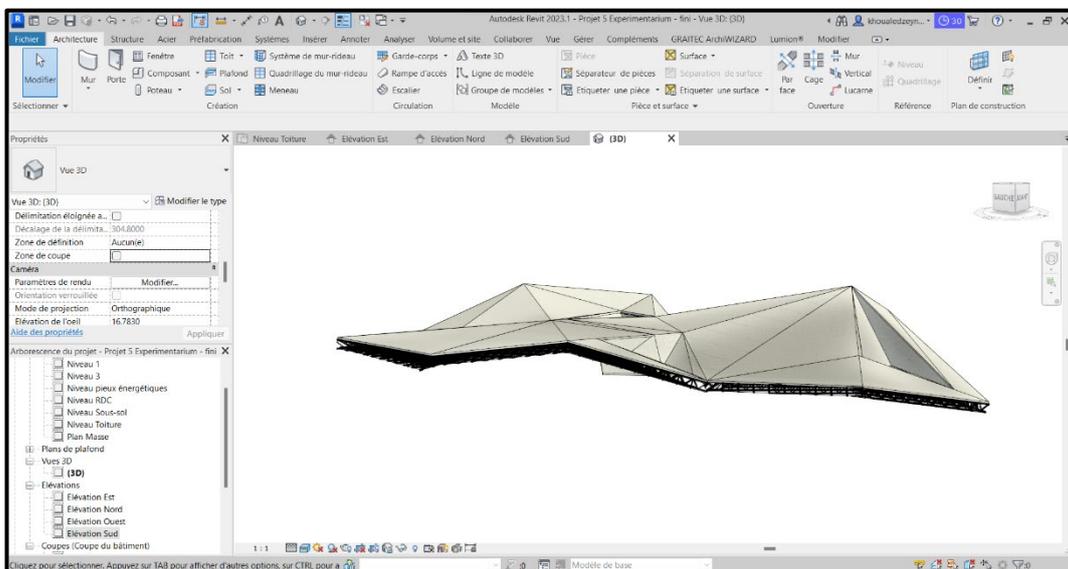
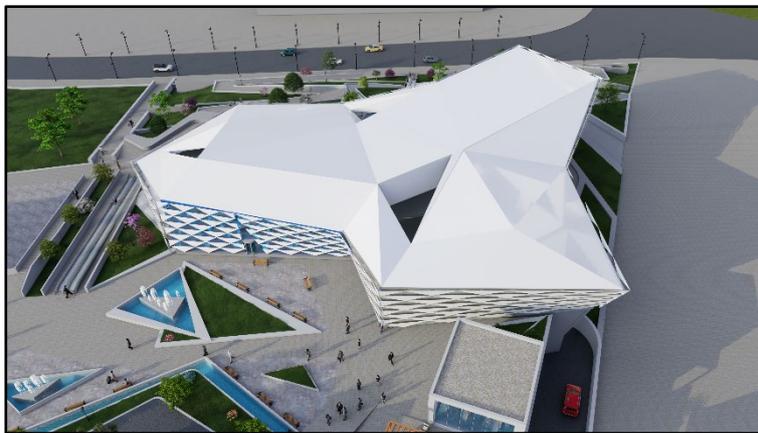
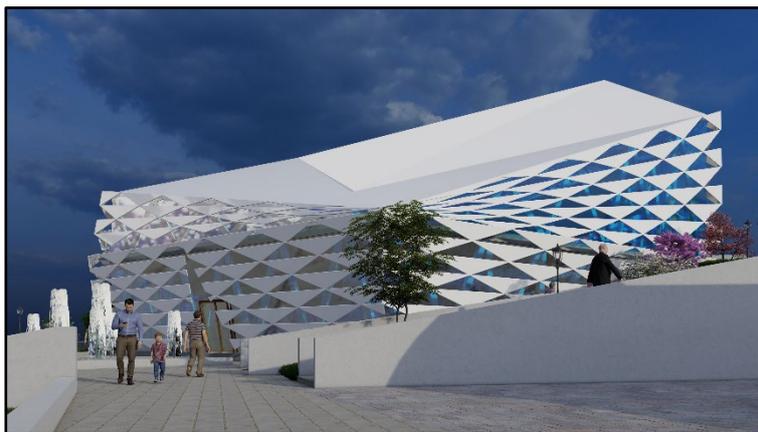
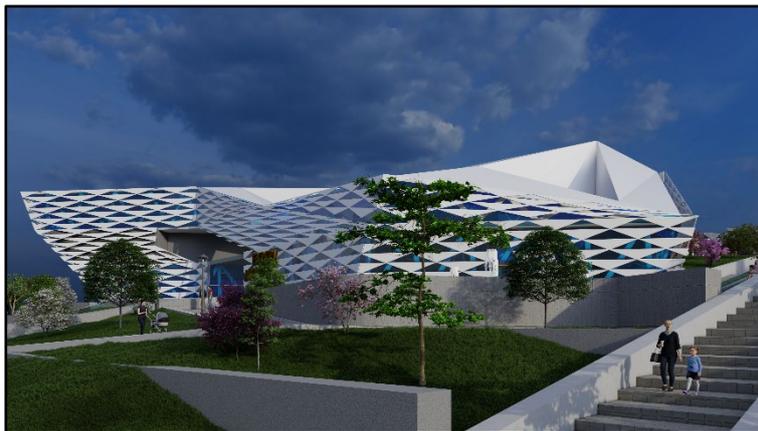
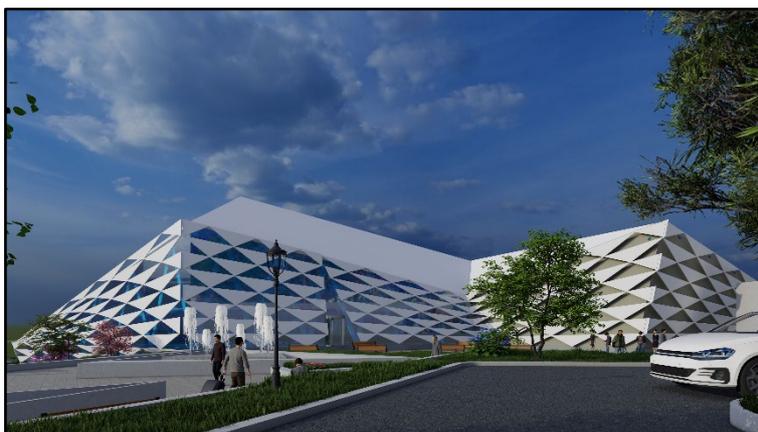
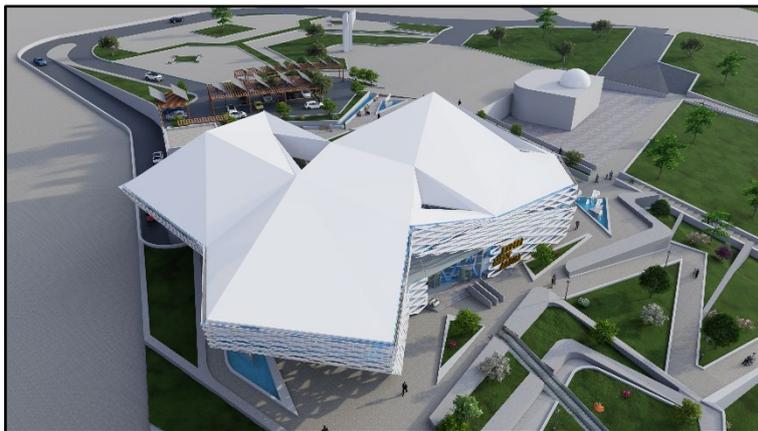


Figure 18: Toiture tridimensionnelle du projet (Source : Auteur, 2023 par Revit 2023)

8. Rendu 3D







ANNEXE 5 : SIMULATION THERMO-ÉNERGÉTIQUE PAR LE LOGICIEL ARCHIWIZARD 2023

Le logiciel ArchiWIZARD est intégré directement dans le logiciel Autodesk Revit® et sa connexion optimisée à tous les types de maquettes numériques (IFC) facilite les workflows BIM et une prise en main rapide pour obtenir un modèle énergétique selon les normes RE2020 et RT 2012.

A. Le choix de la pièce à simuler

Notre projet est un bâtiment énergivore intègre des différents espaces qui comprend des installations et des utilisations des systèmes technologiques avancés et intégrés qui constituent une part significative de la consommation énergétique, ce qui les rend énergivores. Dans ce sens, on a opté pour la simulation la pièce (Planétarium), c'est une pièce d'animation dans le 1^{er} étage orienté vers le nord.

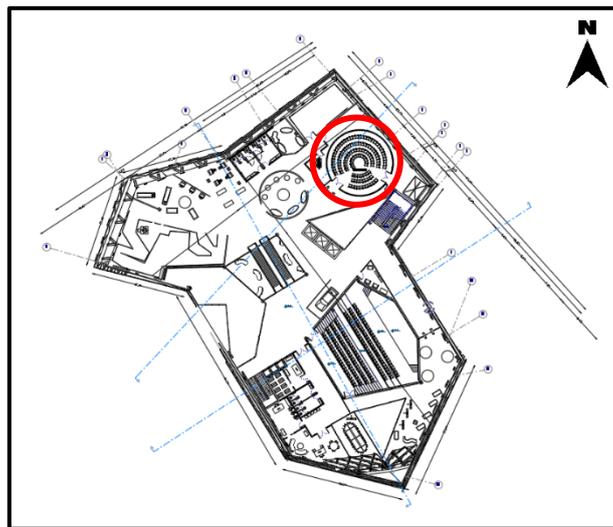


Figure 1: la pièce de la Planétarium dans le plan de 1^{er} étage (niveau +9.18m) (Source : Auteur, 2023 par Revit 2023)

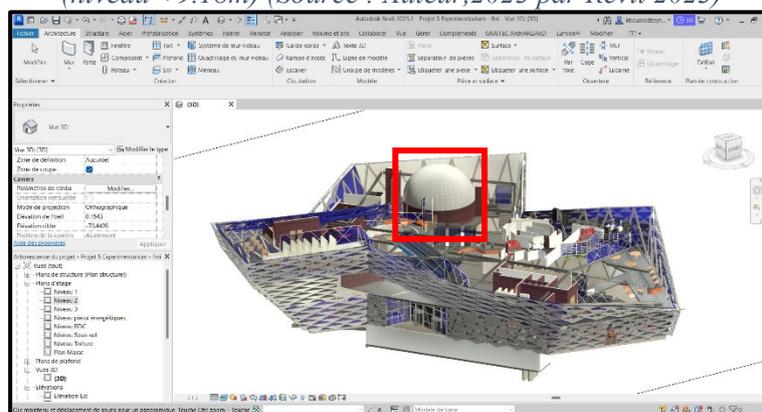


Figure 2: la pièce de la Planétarium dans la maquette numérique du projet (Source : Auteur, 2023 par Revit 2023)

B. Les étapes de la simulation thermo-énergétique du projet

a. L'import depuis la maquette numérique BIM

1. Import par analyse géométrique d'une maquette IFC à travers la maquette numérique de Revit 2023.

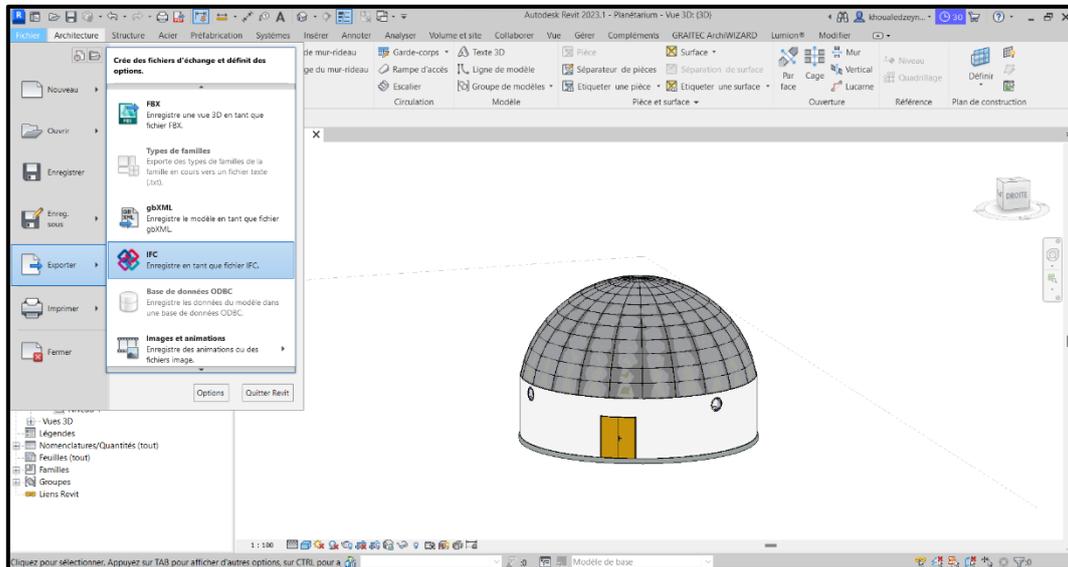


Figure 3: Exporter la maquette numérique en IFC (Source : Auteur,2023 par Revit 2023)

2. Lancement d'**ArchiWIZARD** en cliquant sur l'icône (**Fig.4**).



Figure 4: Icône d'ArchiWIZARD
(Source : Capture réalisée par Auteur,2023)

3. Après le lancement d'ArchiWIZARD, en cliquant sur **Ouvrir**, pour procéder à l'ouverture du fichier (modèle 3D) (**Fig.5**).

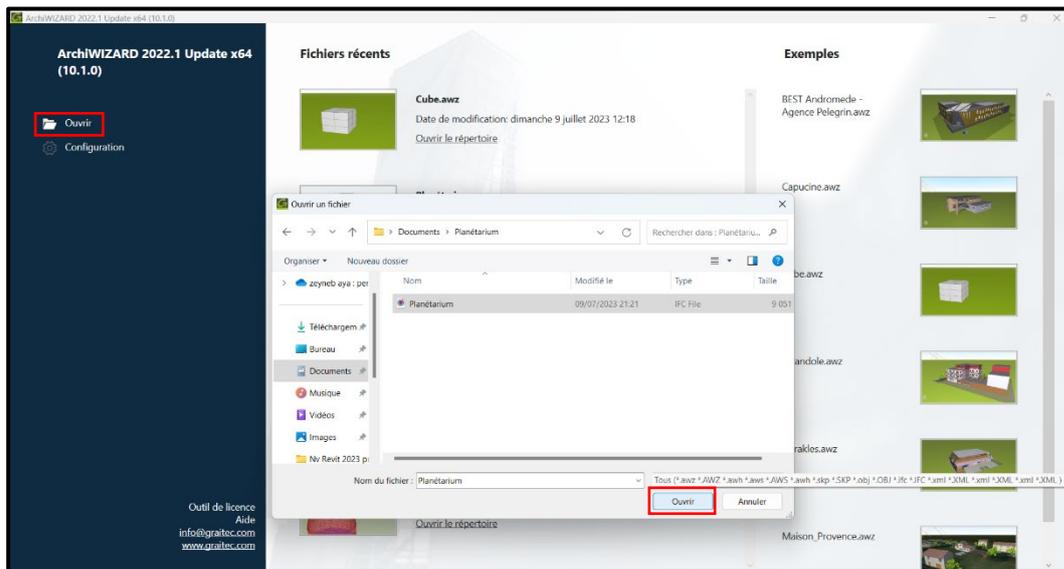


Figure 5: Importation de modèle
(Source : Capture de logiciel ArchiWIZARD réalisée par Auteur, 2023)

4. Lors du premier import du fichier IFC, on a renseigné la localisation de notre projet par le fichier climatique de la ville de Guelma (**Fig.6**).

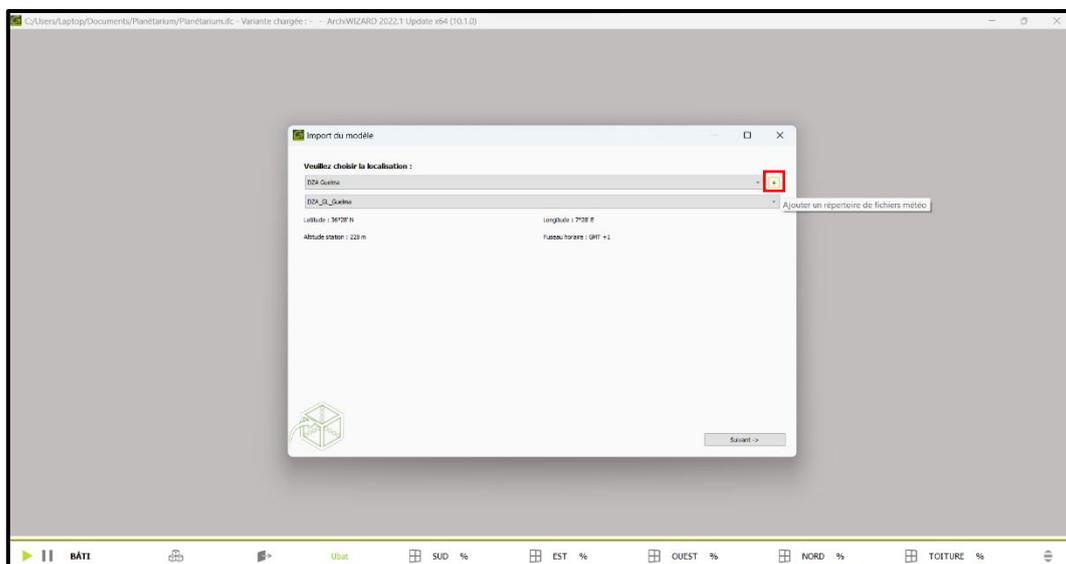


Figure 6: Renseignement de la localisation du projet dans ArchiWIZARD
(Source : Capture de logiciel ArchiWIZARD réalisée par Auteur, 2023)

5. En sélectionnant une date de construction et l'usage du bâtiment, le logiciel affecte automatiquement les paramètres d'usages, des bâtis types, et l'ensemble des paramètres techniques du bâtiments (**Fig.7**).

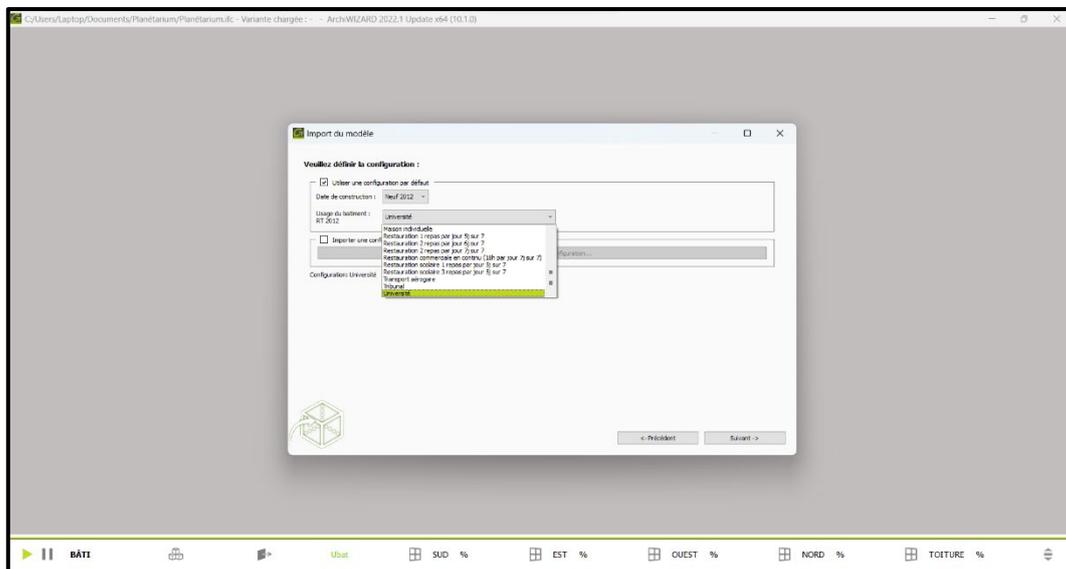


Figure 7: Définir la configuration du projet dans ArchiWZARD
(Source : Capture de logiciel ArchiWZARD réalisée par Auteur, 2023)

6. A cette interface on a préparé la maquette pour l'analyse énergétique et à base de la modélisation du logiciel Revit, le logiciel ArchiWZARD sélectionne automatiquement les différents éléments du projet, selon les catégories : parois opaques, parois vitrées, éléments de cadre de baies ou éléments d'environnement du projet (**Fig.8**).

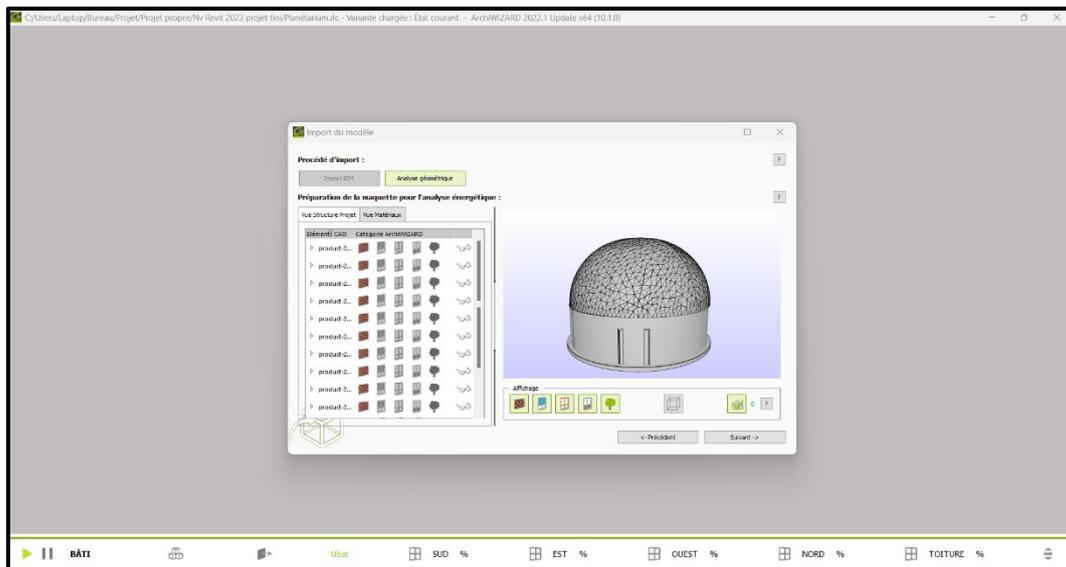


Figure 8: Préparation de la maquette pour l'analyse énergétique
(Source : Capture de logiciel ArchiWZARD réalisée par Auteur, 2023)

7. A cette étape on a défini l'échelle de la scène (**Fig.9**).

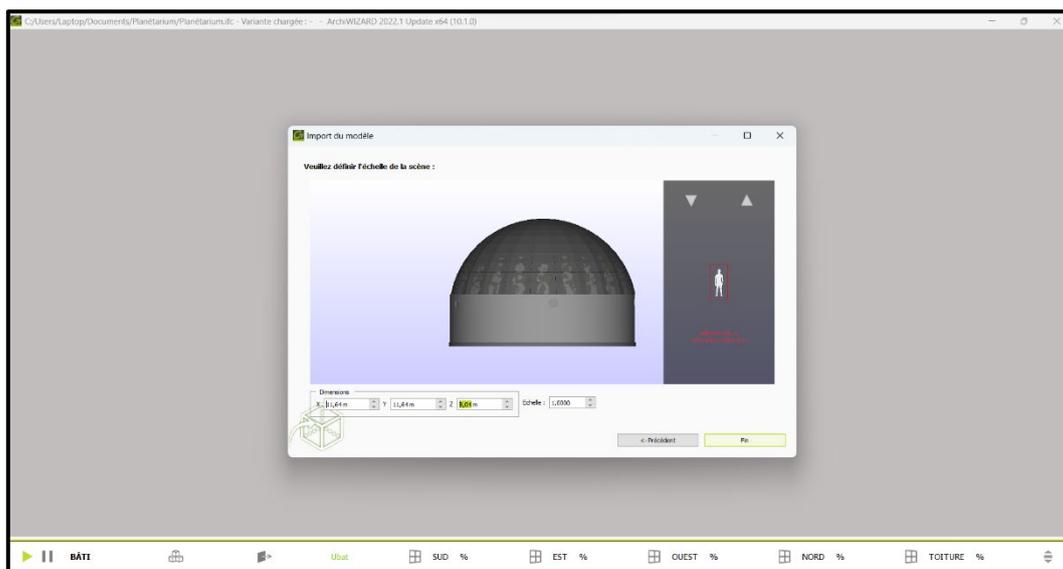


Figure 9: Définir l'échelle de la scène
(Source : Capture de logiciel ArchiWIZARD réalisée par Auteur, 2023)

8. La configuration des données thermiques/ Les parois opaques

Les caractéristiques des parois sont automatiquement saisies par la modélisation de la maquette numérique BIM de Revit 2023, et on peut les modifier en ArchiWIZARD à partir du **configurateur des parois** en sélectionnant la paroi dans l'arborescence. Les caractéristiques de la paroi peuvent être modifiées : l'épaisseur et les propriétés physiques (**Fig.13**), (**Fig.14**), (**Fig.15**).

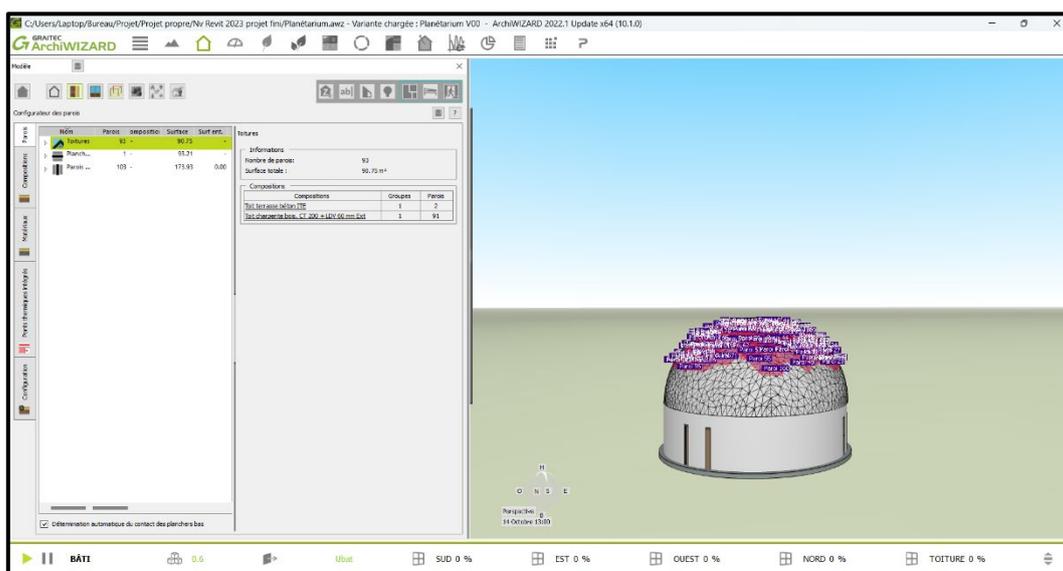


Figure 10: Les parois des toitures
(Source : Capture de logiciel ArchiWIZARD réalisée par Auteur, 2023)

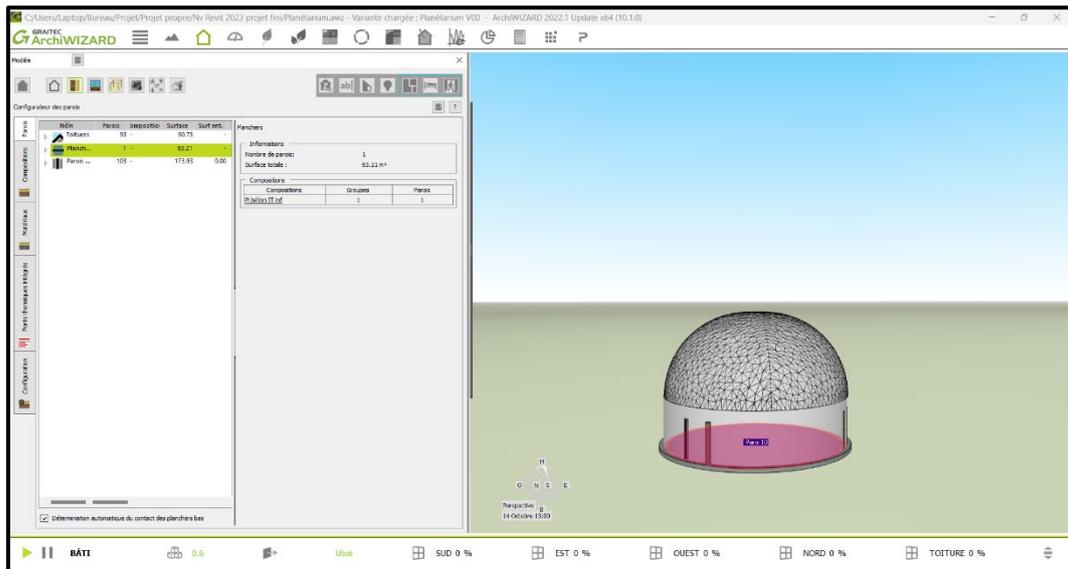


Figure 11: Les parois des planchers
(Source : Capture de logiciel ArchiWIZARD réalisée par Auteur, 2023)

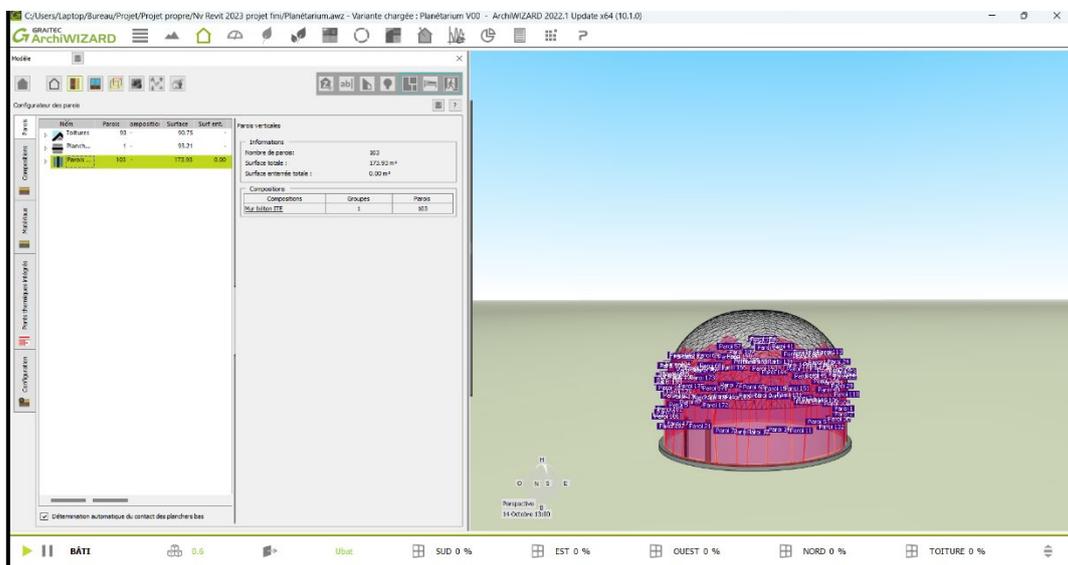


Figure 12: Les parois des planchers
(Source : Capture de logiciel ArchiWIZARD réalisée par Auteur, 2023)

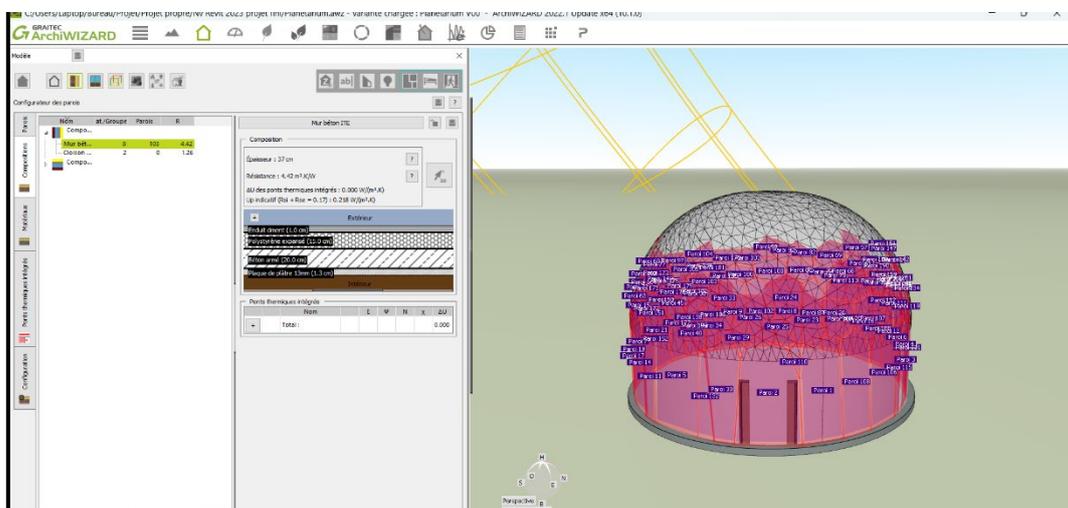


Figure 13: Composition des parois verticales
(Source : Capture de logiciel ArchiWIZARD réalisée par Auteur, 2023)

9. La configuration des données thermiques / Les parois transparentes

Les baies sont regroupées dans le « configurateur de baie ». Les propriétés thermiques sont accessibles par double clic sur la baie et modifiables sur les listes déroulantes (*Fig.16*), (*Fig.17*).

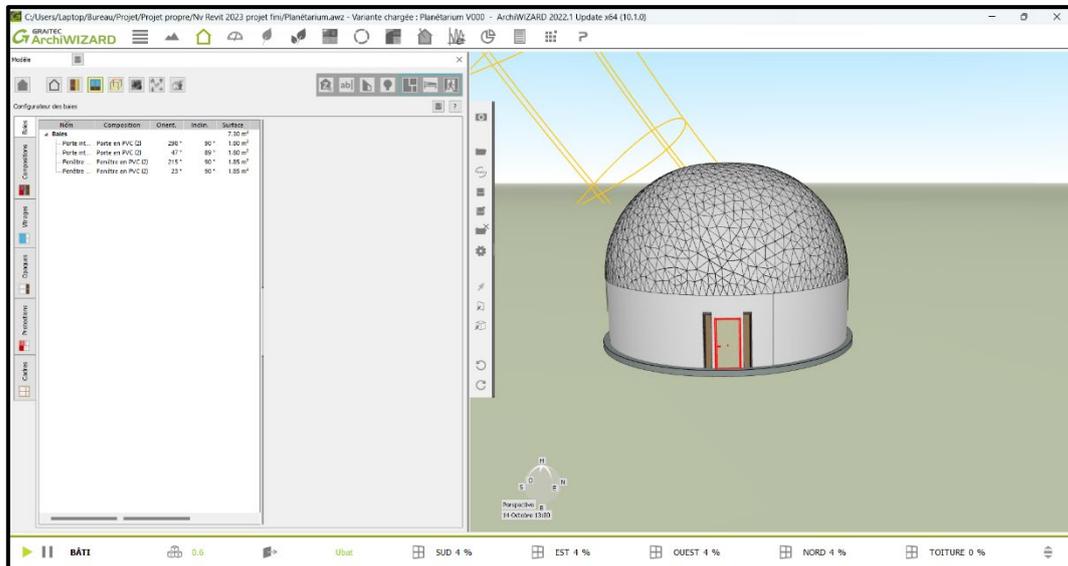


Figure 17: Les baies
(Source : Capture de logiciel ArchiWIZARD réalisée par Auteur, 2023)

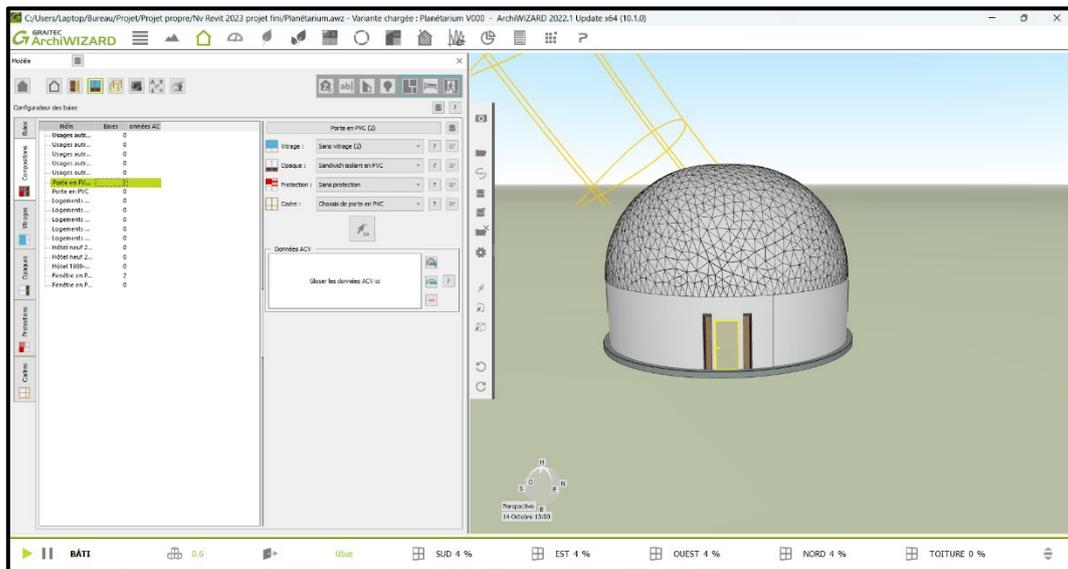


Figure 18: La composition des baies
(Source : Capture de logiciel ArchiWIZARD réalisée par Auteur, 2023)

10. La configuration des ponts thermiques

Les ponts thermiques sont déterminés automatiquement par ArchiWIZARD en fonction des compositions de parois et de connexions reconnues dans la géométrie.

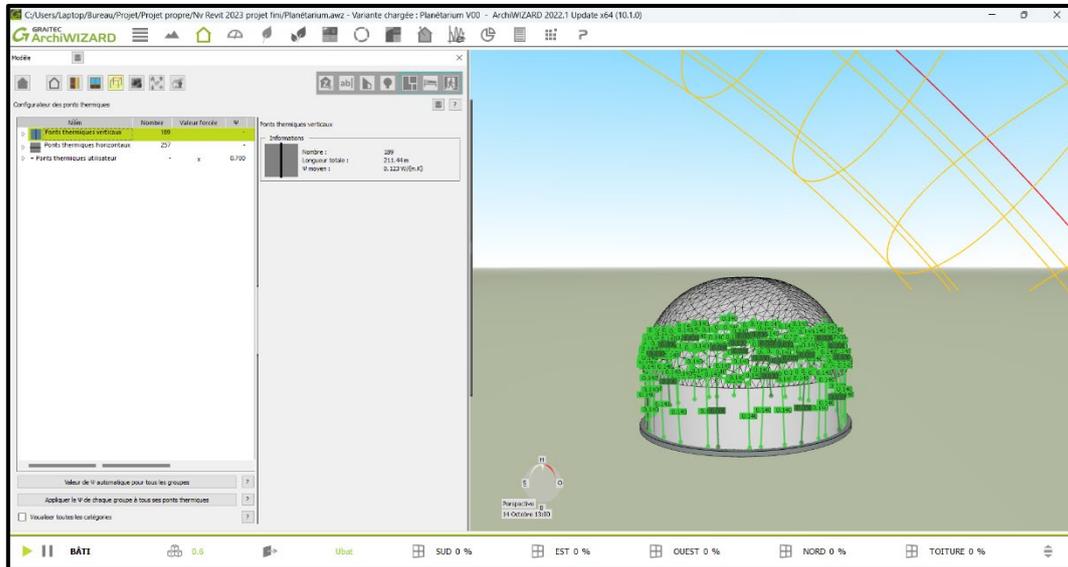


Figure 19: Les ponts thermiques verticaux
(Source : Capture de logiciel ArchiWIZARD réalisée par Auteur, 2023)

Ponts thermiques verticaux	
Informations	
Nombre :	189
Longueur totale :	211.44 m
Ψ moyen :	0.123 W/(m.K)

Figure 20: Les valeurs des ponts thermiques verticaux
(Source : Capture de logiciel ArchiWIZARD réalisée par Auteur, 2023)

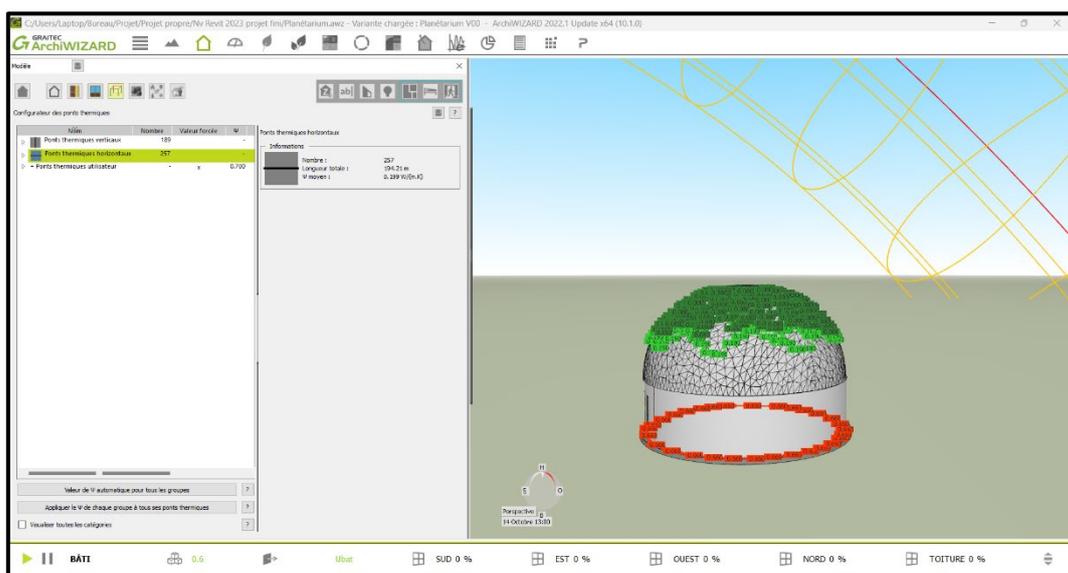


Figure 21: Les ponts thermiques horizontaux
(Source : Capture de logiciel ArchiWIZARD réalisée par Auteur, 2023)

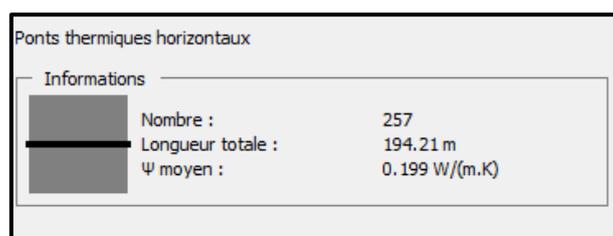


Figure 22: Les valeurs des ponts thermiques horizontaux
(Source : Capture de logiciel ArchiWIZARD réalisée par Auteur, 2023)

11. Le calcul et les résultats de la simulation

A. Caractéristiques générales du bâti



Figure 23: Les caractéristiques du bâti
(Source : Capture de logiciel ArchiWIZARD réalisée par Auteur, 2023)

Tableau 1 : Les caractéristiques du bâti (Source : ArchiWIZARD réadapté par Auteur, 2023)

	Indicateur	Résultat	Commentaire
BATI	Compacité de l'enveloppe	 0.6	= S/V S étant la surface déperditive et V le volume du bâtiment. On considère que ce critère est performant s'il est inférieur à 0,8.
	Indicateur de performance thermique de l'enveloppe	Ubat	Le Ubat du bâtiment est comparé à un Ubat calculé avec des performances de parois et de baies de référence proposées par l'observatoire BBC L'indicateur passe au vert si la performance de

			l'enveloppe est supérieure ou égale à la performance de référence.
	Surface de baies au Sud, Est, Ouest, Nord, Toiture / Surface de parois déperditives verticales au Sud	 SUD 4 %  EST 4 %  OUEST 4 %  NORD 4 %  TOITURE 0 %	Le ratio d'orientation s'applique aux baies et aux parois des locaux chauffés donnant sur l'extérieur ou sur un espace tampon solarisé.
EXIGENCE S RT2012	Ratio de transmission thermique linéique moyen global	Ratio Ψ 0.58 W/(m ² SRT.K)	Ratio = $(\sum L_i) / SRT$. La RT 2012 exige qu'il soit inférieur à 0,28 W/(m ² SRT.K). Si cette valeur est supérieure, il faut modifier le mode constructif (isolation par l'extérieur, par exemple) ou utiliser des rupteurs de ponts thermiques.
	Valeur du pont thermique moyen de la jonction plancher intermédiaire - façade	 0.00 W/mK	La RT 2012 exige qu'il soit inférieur à 0,6 W/(m.K). Si cette valeur est supérieure, il faut modifier le mode constructif (isolation par l'extérieur, par exemple) ou utiliser des rupteurs de ponts thermiques.

BESOINS (KWh/m ²)	Besoin annuel de (chauffage, refroidissement, éclairage, eau chaude sanitaire, ventilation) de la pièce	 1  0  5  0  11	
CONFORT	Taux d'inconfort	Taux d'inconfort 47 %	Pourcentage de temps avec occupants où la température dépasse la température dite d'inconfort. La présence d'occupants est définie d'après le scénario d'apports internes de la zone.
	Nombre d'heures d'occupation	Nombre d'heures > 28 °C 920 h	Nombre d'heures d'occupation pendant lesquelles la température du bâtiment ou de la zone sélectionnée est supérieure à la température affichée, Cette température dite d'inconfort est modifiable dans les scénarios de chauffage et refroidissement des zones.

B. Le calcul réglementaire RE2020

a. Les étapes

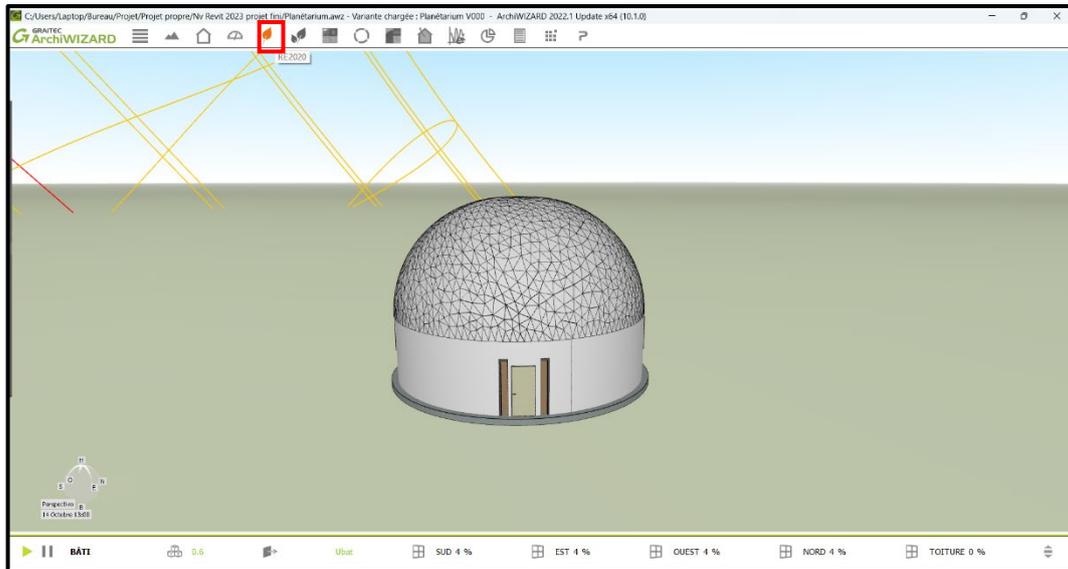


Figure 23: Choix de calcul RE2020 dans ArchiWIZARD
(Source : Capture de logiciel ArchiWIZARD réalisée par Auteur, 2023)

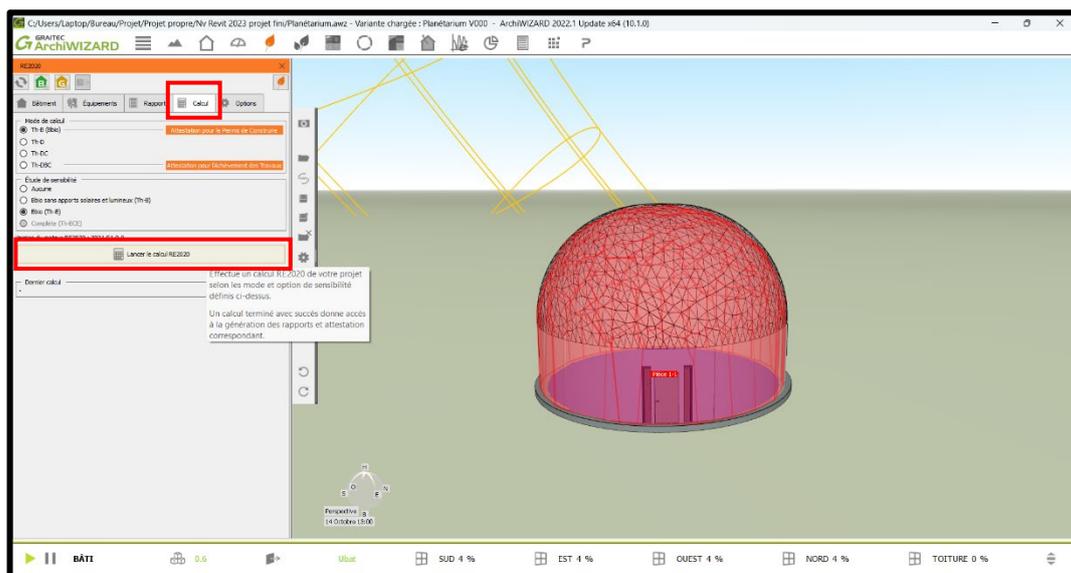


Figure 24: Lancement de calcul RE2020 dans ArchiWIZARD
(Source : Capture de logiciel ArchiWIZARD réalisée par Auteur, 2023)

C. La simulation thermique dynamique STD

a. Les étapes

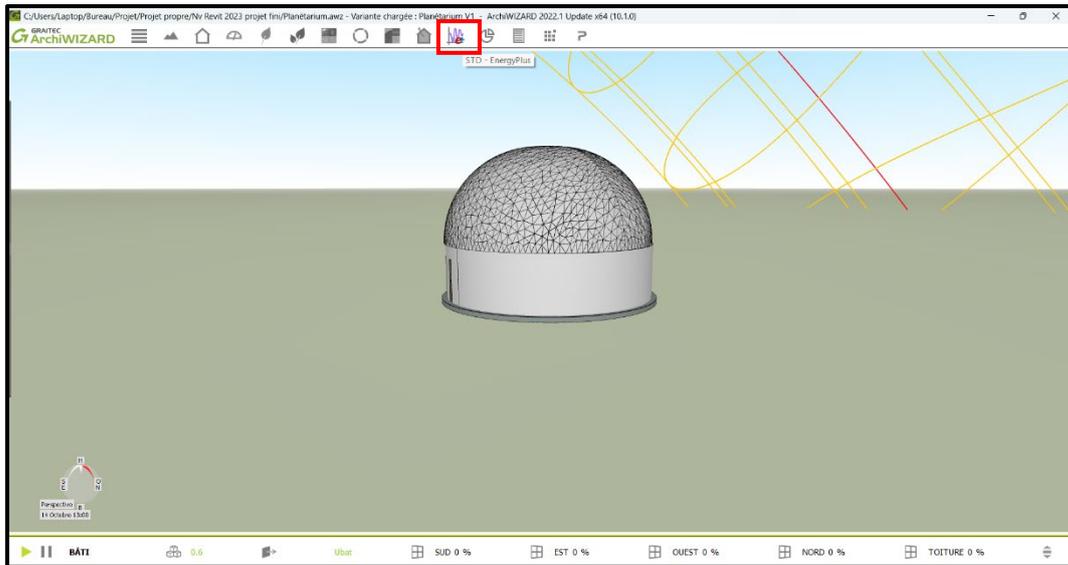


Figure 25: Choix de la STD dans ArchiWIZARD
(Source : Capture de logiciel ArchiWIZARD réalisée par Auteur, 2023)

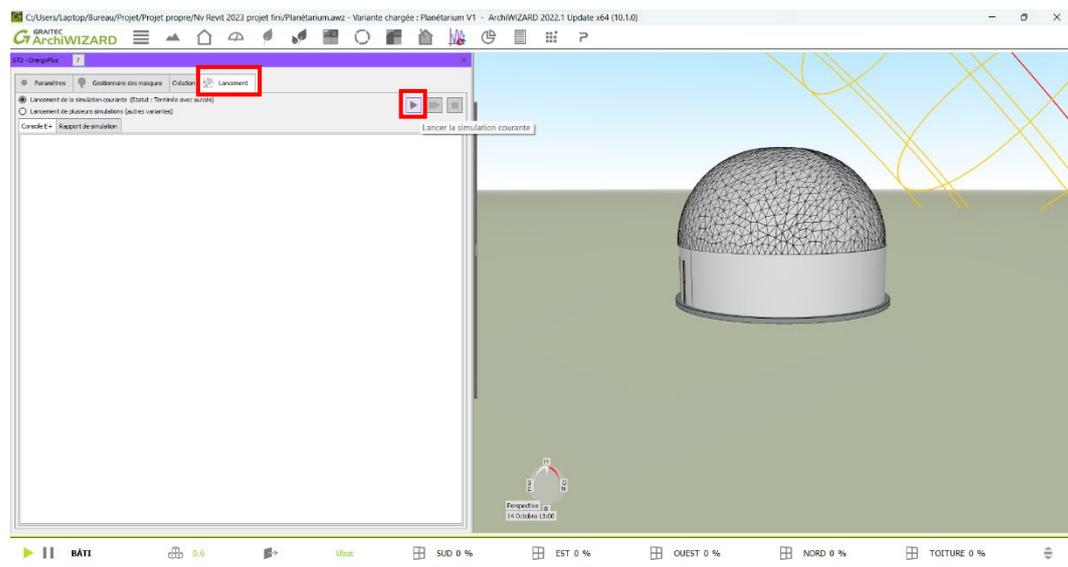


Figure 26: Lancement de la STD dans ArchiWIZARD
(Source : Capture de logiciel ArchiWIZARD réalisée par Auteur, 2023)

**ANNEXE 6 : RÉSULTATS SIMULATION THERMO-
ÉNERGÉTIQUE PAR LE LOGICIEL ARCHIWIZARD 2023**

Informations générales	
Nom	Bâtiment
Nombre de zones	1
Nombre de pièces	1
SRT	111.8 m ²
Surface utile (SU)	93.2 m ²
Volume	576.1 m ³
Coefficient de déperdition global de l'enveloppe	
Ubat	0.389 W/(m ² .K)
Besoins énergétiques	
Chauffage	108 kWh
Refroidissement	0 kWh
Eclairage	1087 kWh
Ventilation	1252 kWh
Eau chaude sanitaire (besoin brut)	19 kWh
Eau chaude sanitaire (besoin final)	19 kWh
Taux de couverture solaire	0 %

Bâtiment - Chiffres clés

Bâtiment - Rapport de synchronisation

Cumuls (kWh)	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout	Sep	Oct	Nov	Déc	Annuel
Contribution solaire	148	151	279	208	233	216	228	231	174	158	94	119	2240
Apports internes	1168	1004	1720	854	1783	1645	0	0	1557	1394	1708	1180	14012
Transmission par l'enveloppe	-867	-751	-1189	-619	-1149	-1107	-133	-142	-1011	-798	-1005	-751	-9523
Pertes par renouvellement d'air	-518	-454	-857	-449	-939	-823	-46	-31	-782	-805	-881	-586	-7171
Rayonnement vers la voûte celeste	-77	-62	-82	-59	-59	-52	-57	-60	-51	-65	-55	-67	-745
Contribution de l'éclairage	91	77	134	66	138	129	0	0	121	107	132	93	1087
Besoin de chauffage	65	43	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	108
Besoin de refroidissement	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Bâtiment - Balance énergétique

Besoins mensuels (kWh)	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout	Sep	Oct	Nov	Déc	Annuel
Chauffage	65	43	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	108
Refroidissement	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Eclairage	91	77	134	66	138	129	0	0	121	107	132	93	1087
Eau chaude sanitaire	2	1	2	1	2	2	0	0	2	2	2	2	19
Ventilation	104	89	155	76	158	148	0	0	139	124	152	107	1252

Bâtiment - Besoins énergétiques

Locaux chauffés/refroidis					
Zone	Etage	Pièce	Surface m ²	Volume m ³	Participe à la SRT
Planétarium	Etage 1	Pièce 1-1	93.2	576.1	X
TOTAL			93.2	576.1	-

Espaces tampons					
Zone	Etage	Pièce	Surface m ²	Volume m ³	Participe à la SRT
TOTAL			0.0	0.0	-

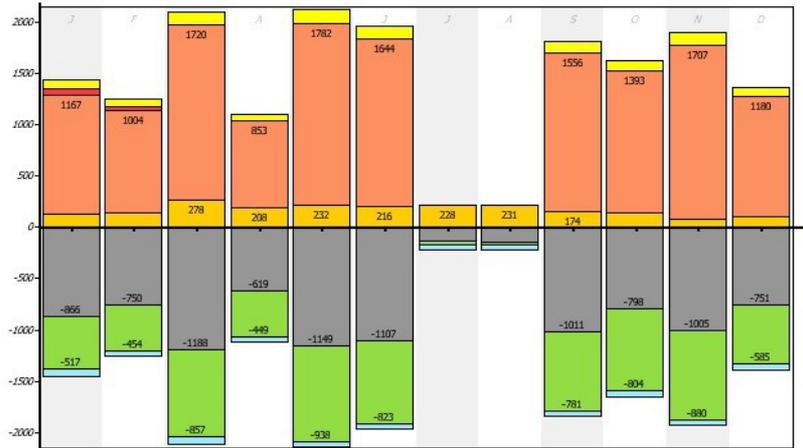
Bâtiment : Liste des pièces

Zone	Etage	Pièce	SU / SHAB m ²	Surface d'ouverture (m ²)											IOUV %
				N	NE	E	SE	S	SO	O	NO	Toiture	TOTAL		
Université	Etage 1	Pièce 1-1	93.21												0.0

Bâtiment : Pièces - Surfaces et indice d'ouverture

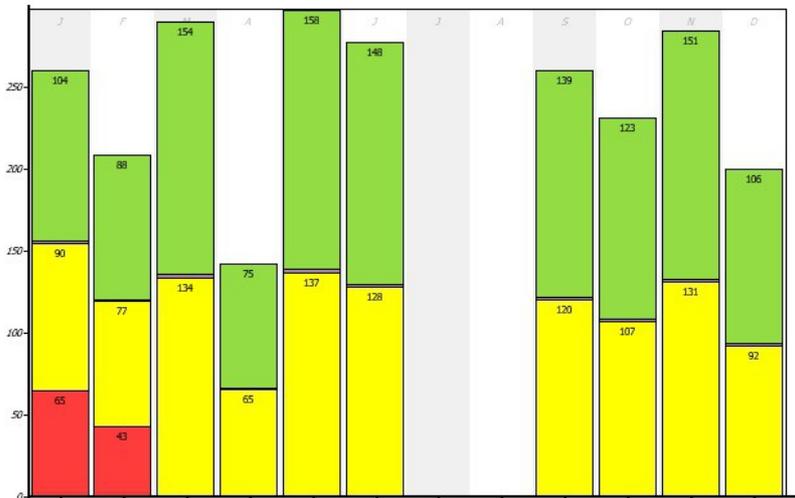
Bâtiment - Balance énergétique

- Contribution solaire : 2240 kWh
- Apports internes : 14012 kWh
- Transmission par l'enveloppe : -952
- Pertes par renouvellement d'air : -71
- Rayonnement vers la voûte celeste :
- Besoin de chauffage : 108 kWh

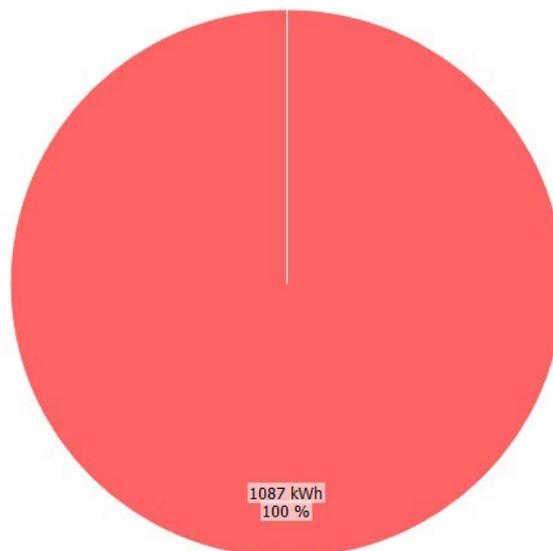


Bâtiment - Besoins énergétiques

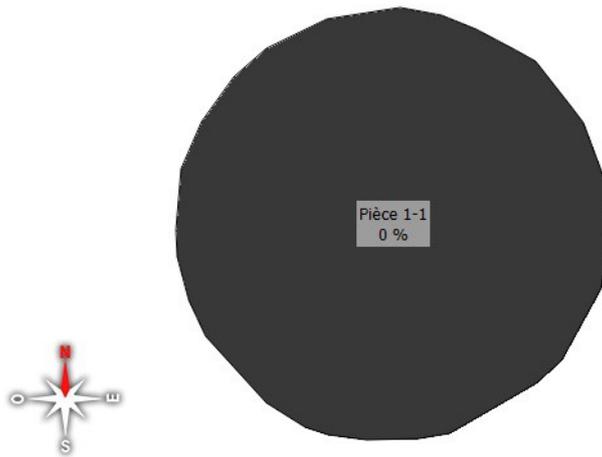
- Chauffage : 108 kWh
- Refroidissement : 0 kWh
- Eclairage : 1087 kWh



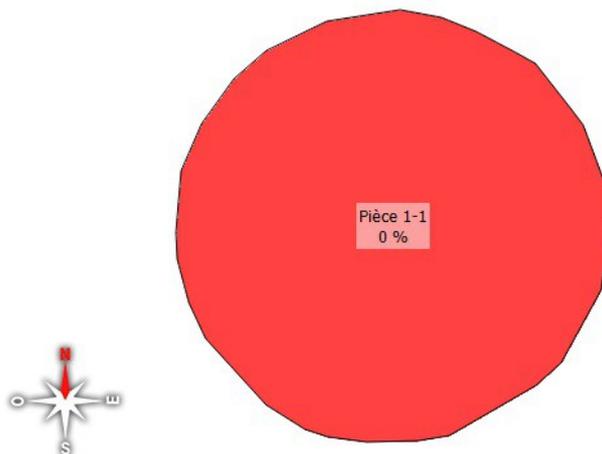
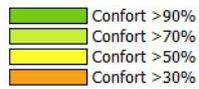
Bâtiment : Répartition du besoin d'éclairage



Bâtiment : Cartographie des pièces en autonomie lumineuse



Bâtiment : Cartographie des pièces en confort lumineux



Etage	Nombre de pièces	Classe d'inertie de l'étage	Capacité thermique Cm _q surfacique (kJ/m ² .K)	Surface d'échange équivalente Am _q surfacique (m ² /m ²)
Etage 1	1	Lourde	656	3.0

Zone : *Planétarium* - Inertie

Consigne(s)	Consigne(s)	
	Chauffage	Refroidissement
Consigne réduite plus de 48h	7 °C	-
Consigne réduite moins de 48h	16 °C	-
Consigne nominale	19 °C	-

* - = Pas de régulation | R = Consigne réduite plus de 48h | r = Consigne réduite moins de 48h | N = Consigne nominale

janv. - févr.	mars - avr.	mai - juin	juil. - août	sept. - oct.	nov. - déc.
sem 1 - B 01/01 - 07/01	sem 10 - A 05/03 - 11/03	sem 19 - A 07/05 - 13/05	sem 27 - B 02/07 - 08/07	sem 36 - A 03/09 - 09/09	sem 45 - A 05/11 - 11/11
sem 2 - A 08/01 - 14/01	sem 11 - A 12/03 - 18/03	sem 20 - A 14/05 - 20/05	sem 28 - B 09/07 - 15/07	sem 37 - A 10/09 - 16/09	sem 46 - A 12/11 - 18/11
sem 3 - A 15/01 - 21/01	sem 12 - A 19/03 - 25/03	sem 21 - A 21/05 - 27/05	sem 29 - B 16/07 - 22/07	sem 38 - A 17/09 - 23/09	sem 47 - A 19/11 - 25/11
sem 4 - A 22/01 - 28/01	sem 13 - A 26/03 - 01/04	sem 22 - A 28/05 - 03/06	sem 30 - B 23/07 - 29/07	sem 39 - A 24/09 - 30/09	sem 48 - A 26/11 - 02/12
sem 5 - B 29/01 - 04/02	sem 14 - A 02/04 - 08/04	sem 23 - A 04/06 - 10/06	sem 31 - B 30/07 - 05/08	sem 40 - A 01/10 - 07/10	sem 49 - A 03/12 - 09/12
sem 6 - B 05/02 - 11/02	sem 15 - B 09/04 - 15/04	sem 24 - A 11/06 - 17/06	sem 32 - B 06/08 - 12/08	sem 41 - A 08/10 - 14/10	sem 50 - A 10/12 - 16/12
sem 7 - A 12/02 - 18/02	sem 16 - B 16/04 - 22/04	sem 25 - A 18/06 - 24/06	sem 33 - B 13/08 - 19/08	sem 42 - A 15/10 - 21/10	sem 51 - A 17/12 - 23/12
sem 8 - A 19/02 - 25/02	sem 17 - A 23/04 - 29/04	sem 26 - A 25/06 - 01/07	sem 34 - B 20/08 - 26/08	sem 43 - B 22/10 - 28/10	sem 52 - B 24/12 - 30/12
sem 9 - A 26/02 - 04/03	sem 18 - A 30/04 - 06/05		sem 35 - B 27/08 - 02/09	sem 44 - A 29/10 - 04/11	sem 53 - B 31/12 - 06/01

Scénario - Chauffage et refroidissement

Consigne(s)	
Base	0 m3/h
Autre	0 m3/h
Pointe	920 m3/h

Scénario - Ventilation Enseignement Planétarium

Semaine A							
	Lundi	Mardi	Mercredi	Jeudi	Vendredi	Samedi	Dimanche
	Jour A	Jour A	Jour A	Jour A	Jour A	Jour B	Jour C
0h	B	B	B	B	B	B	B
1h	B	B	B	B	B	B	B
2h	B	B	B	B	B	B	B
3h	B	B	B	B	B	B	B
4h	B	B	B	B	B	B	B
5h	B	B	B	B	B	B	B
6h	B	B	B	B	B	B	B
7h	B	B	B	B	B	B	B
8h	P	P	P	P	P	P	B
9h	P	P	P	P	P	P	B
10h	P	P	P	P	P	P	B
11h	P	P	P	P	P	P	B
12h	P	P	P	P	P	B	B
13h	P	P	P	P	P	B	B
14h	P	P	P	P	P	B	B
15h	P	P	P	P	P	B	B
16h	P	P	P	P	P	B	B
17h	P	P	P	P	P	B	B
18h	B	B	B	B	B	B	B
19h	B	B	B	B	B	B	B
20h	B	B	B	B	B	B	B
21h	B	B	B	B	B	B	B
22h	B	B	B	B	B	B	B
23h	B	B	B	B	B	B	B

* B = Base | A = Autre | P = Pointe

Semaine B							
	Lundi	Mardi	Mercredi	Jeudi	Vendredi	Samedi	Dimanche
	Jour C	Jour C	Jour C	Jour C	Jour C	Jour C	Jour C
0h	B	B	B	B	B	B	B
1h	B	B	B	B	B	B	B
2h	B	B	B	B	B	B	B
3h	B	B	B	B	B	B	B
4h	B	B	B	B	B	B	B
5h	B	B	B	B	B	B	B

6h	B	B	B	B	B	B	B
7h	B	B	B	B	B	B	B
8h	B	B	B	B	B	B	B
9h	B	B	B	B	B	B	B
10h	B	B	B	B	B	B	B
11h	B	B	B	B	B	B	B
12h	B	B	B	B	B	B	B
13h	B	B	B	B	B	B	B
14h	B	B	B	B	B	B	B
15h	B	B	B	B	B	B	B
16h	B	B	B	B	B	B	B
17h	B	B	B	B	B	B	B
18h	B	B	B	B	B	B	B
19h	B	B	B	B	B	B	B
20h	B	B	B	B	B	B	B
21h	B	B	B	B	B	B	B
22h	B	B	B	B	B	B	B
23h	B	B	B	B	B	B	B

* B = Base | A = Autre | P = Pointe

Janv. - févr.	mars - avr.	mai - juin	juil. - août	sept. - oct.	nov. - déc.
sem 1 - B 01/01 - 07/01	sem 10 - A 05/03 - 11/03	sem 19 - A 07/05 - 13/05	sem 27 - B 02/07 - 08/07	sem 36 - A 03/09 - 09/09	sem 45 - A 05/11 - 11/11
sem 2 - A 08/01 - 14/01	sem 11 - A 12/03 - 18/03	sem 20 - A 14/05 - 20/05	sem 28 - B 09/07 - 15/07	sem 37 - A 10/09 - 16/09	sem 46 - A 12/11 - 18/11
sem 3 - A 15/01 - 21/01	sem 12 - A 19/03 - 25/03	sem 21 - A 21/05 - 27/05	sem 29 - B 16/07 - 22/07	sem 38 - A 17/09 - 23/09	sem 47 - A 19/11 - 25/11
sem 4 - A 22/01 - 28/01	sem 13 - A 26/03 - 01/04	sem 22 - A 28/05 - 03/06	sem 30 - B 23/07 - 29/07	sem 39 - A 24/09 - 30/09	sem 48 - A 26/11 - 02/12
sem 5 - B 29/01 - 04/02	sem 14 - A 02/04 - 08/04	sem 23 - A 04/06 - 10/06	sem 31 - B 30/07 - 05/08	sem 40 - A 01/10 - 07/10	sem 49 - A 03/12 - 09/12
sem 6 - B 05/02 - 11/02	sem 15 - B 09/04 - 15/04	sem 24 - A 11/06 - 17/06	sem 32 - B 06/08 - 12/08	sem 41 - A 08/10 - 14/10	sem 50 - A 10/12 - 16/12
sem 7 - A 12/02 - 18/02	sem 16 - B 16/04 - 22/04	sem 25 - A 18/06 - 24/06	sem 33 - B 13/08 - 19/08	sem 42 - A 15/10 - 21/10	sem 51 - A 17/12 - 23/12
sem 8 - A 19/02 - 25/02	sem 17 - A 23/04 - 29/04	sem 26 - A 25/06 - 01/07	sem 34 - B 20/08 - 26/08	sem 43 - B 22/10 - 28/10	sem 52 - B 24/12 - 30/12
sem 9 - A 26/02 - 04/03	sem 18 - A 30/04 - 06/05		sem 35 - B 27/08 - 02/09	sem 44 - A 29/10 - 04/11	sem 53 - B 31/12 - 06/01

Scénario - Ventilation

Consigne(s)	
Volume hebdomadaire puisé	18.6l

Informations générales	
Nom	Planétarium
Usage	Planétarium
Nombre de pièces	1
Nombre de pièces chauffées / refroidies	1
SRT	111.8 m ²
Surface utile (SU)	93.2 m ²
Volume	576.1 m ³
Surface déperditive hors plancher	264.7 m ²
Surface déperditive totale	357.9 m ²
Ratio de surface de baies (S _{baies} /SU)	0.0 %
Classe d'inertie	Lourde
Capacité thermique surfacique	655.6 kJ/(K.m ²)
Perméabilité à l'air Q4	1.7 m ³ /h/m ²
Besoins énergétiques	
Chauffage	108 kWh [1er Janvier - 25 Février]
Refroidissement	-
Eclairage	1087 kWh
Ventilation	1252 kWh
Eau chaude sanitaire (besoin brut)	19 kWh
Eau chaude sanitaire (besoin final)	19 kWh

Taux de couverture solaire	0 %
Confort thermique	
Nombre d'heure d'occupation > à 28.0 °C	918
Taux d'inconfort	47 %
Bioclimatique	
Autonomie lumineuse	0 %

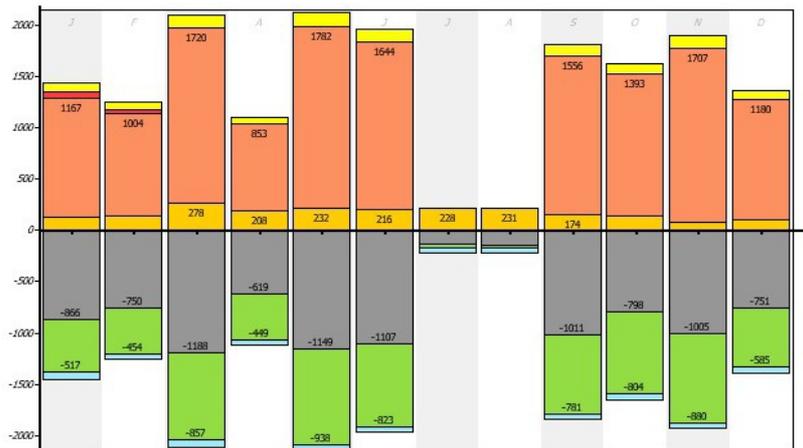
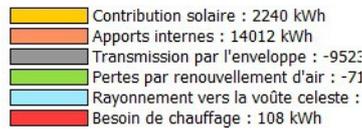
Zone : Planétarium - Chiffres clés

Cumuls (kWh)	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout	Sep	Oct	Nov	Déc	Annuel
Contribution solaire	148	151	279	208	233	216	228	231	174	158	94	119	2240
Apports internes	1168	1004	1720	854	1783	1645	0	0	1557	1394	1708	1180	14012
Transmission par l'enveloppe	-867	-751	-1189	-619	-1149	-1107	-133	-142	-1011	-798	-1005	-751	-9523
Pertes par renouvellement d'air	-518	-454	-857	-449	-939	-823	-46	-31	-782	-805	-881	-586	-7171
Rayonnement vers la voûte céleste	-77	-62	-82	-59	-59	-52	-57	-60	-51	-65	-55	-67	-745
Contribution de l'éclairage	91	77	134	66	138	129	0	0	121	107	132	93	1087
Besoin de chauffage	65	43	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	108
Besoin de refroidissement	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Zone : Planétarium - Balance

énergétique

énergétique



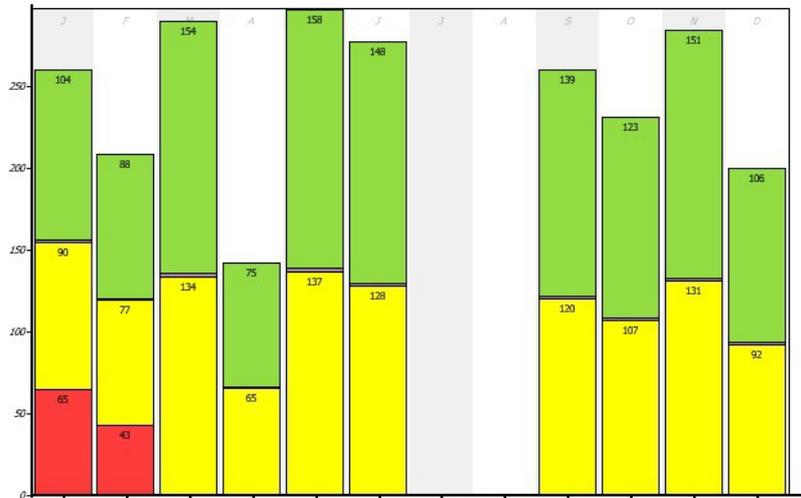
Besoins mensuels (kWh)	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout	Sep	Oct	Nov	Déc	Annuel
Chauffage	65	43	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	108
Refroidissement	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Eclairage	91	77	134	66	138	129	0	0	121	107	132	93	1087
Eau chaude sanitaire	2	1	2	1	2	2	0	0	2	2	2	2	19
Ventilation	104	89	155	76	158	148	0	0	139	124	152	107	1252

Zone : Planétarium - Besoins

énergétiques

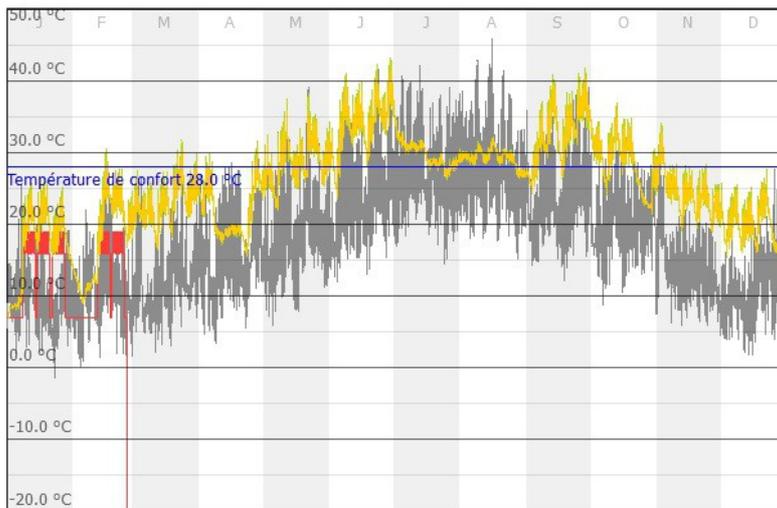
Zone : Planétarium - Besoins
énergétiques

■ Chauffage : 108 kWh
■ Refroidissement : 0 kWh
■ Eclairage : 1087 kWh



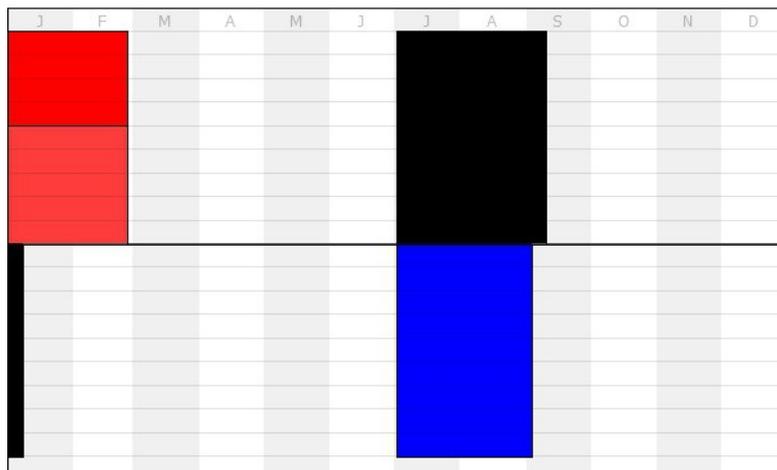
Zone : Planétarium - Température intérieure

■ Température extérieure
■ Température de consigne de c
■ Température d'air intérieure

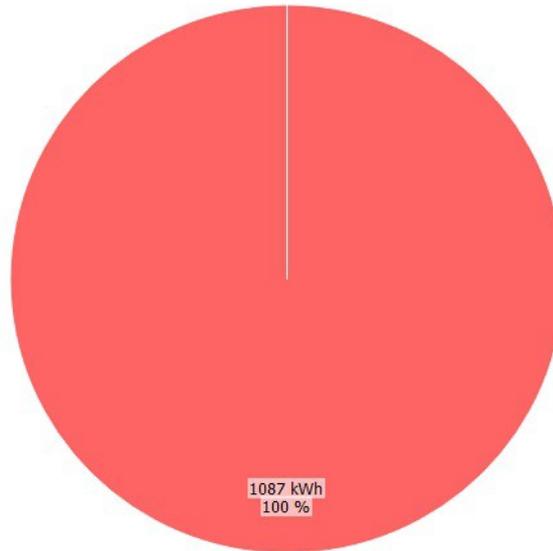


Zone : Planétarium - Saisons de chauffage et refroidissement

■ Chauffage autorisé [1er Janvier - 25 Févrie
■ Saison de chauffage [1er Janvier - 25 Févrie
■ Interdiction de chauffage [2 Juillet - 9 Sept
■ Refroidissement autorisé [2 Juillet - 2 Sept



Zone : Planétarium - Répartition du besoin d'éclairage par pièce

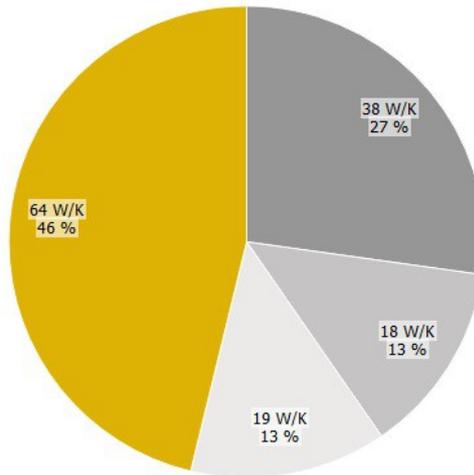


Pièce	Surface (m²)	Consigne d'éclairage (Lux)	Eclairage artificiel moyen (Lux)	Puissance électrique totale (W)	Puissance installée (W/(100 lux.m²))	Durée de présence (h)	Durée d'éclairage (h)	Autonomie lumineuse (%)	Durée de confort (h)	Taux de confort (%)	Consommation annuelle (kWh/an)	Consommation annuelle (EP) (kWhép/(m².an))
Pièce 1-1	93.2	300	186	559	2.00	1944	1944	0	0	0	1087	30.1

Zone : Planétarium - Eclairage - Synthèse par pièce

Bâti : Déperdition thermique de l'enveloppe

- Déperditions par les baies
- Déperditions par les parois verticales
- Déperditions par la toiture
- Déperditions par le plancher bas



Murs déperditifs / Ext (Murs déperditifs / Ext) - Mur béton ITE							173.93 m²
	Conductivité W/(m.K)	Masse volumique kg/m³	Chaleur spécifique J/(kg.K)	Épaisseur cm	Poids/m² kg/m²	R m².K/W	
Plaque de plâtre 13mm	0.325	850	800	1.3	11.1	0.04	
Béton armé	2.300	2350	1000	20.0	470.0	0.09	
Polystyrène expansé	0.035	30	1400	15.0	4.5	4.29	
Enduit ciment	0.950	2000	1000	1.0	20.0	0.01	
Total	-	-	-	37.3	505.5	4.42	

Planchers bas / Ext (Planchers bas / Ext) - Pl béton IT inf							93.21 m²
	Conductivité W/(m.K)	Masse volumique kg/m³	Chaleur spécifique J/(kg.K)	Épaisseur cm	Poids/m² kg/m²	R m².K/W	
Polystyrène extrudé	0.032	40	1400	15.0	6.0	4.69	

Béton		2.299	2350	1000	15.0	352.5	0.07
Chape traditionnelle		1.200	2000	1000	5.0	100.0	0.04
Total		-	-	-	35.0	458.5	4.79

Toitures terrasse (Toitures terrasse) - Toit terrasse béton ITE							5.26 m ²
	Conductivité W/(m.K)	Masse volumique kg/m ³	Chaleur spécifique J/(kg.K)	Épaisseur cm	Poids/m ² kg/m ²	R m ² .K/W	
Plaque de plâtre 13mm	0.325	850	800	1.3	11.1	0.04	
Béton armé	2.300	2350	1000	20.0	470.0	0.09	
Polystyrène expansé	0.035	30	1400	15.0	4.5	4.29	
Total	-	-	-	36.3	485.5	4.41	

Toitures inclinées (Toitures inclinées) - Toit charpente bois, CT 200 + LDV 60 mm Ext							85.49 m ²
	Conductivité W/(m.K)	Masse volumique kg/m ³	Chaleur spécifique J/(kg.K)	Épaisseur cm	Poids/m ² kg/m ²	R m ² .K/W	
Plaque de plâtre 13mm	0.325	850	800	1.3	11.1	0.04	
Charpente traditionnelle, 200 mm de LDV - CT 200	0.065	120	1100	24.0	28.8	3.70	
Complement isolation laine de verre Fermette	0.055	30	1030	6.0	1.8	1.10	
Total	-	-	-	31.3	41.6	4.84	

Bâti : Catalogue des compositions de parois

Bâti : Catalogue des compositions de baies

Catégorie	Groupe	Surface m ²	Composition	R m ² .K/W	U _{eq} W/(m ² .K)	U _{ref} W/(m ² .K)	Déperdition W/K
Murs déperditifs / Ext	Murs déperditifs / Ext	173.9	Mur béton ITE	4.42	0.218	0.230	37.9
Planchers bas / Ext	Planchers bas / Ext	93.2	Pl béton IT inf	4.79	0.200	0.240	18.6
Toitures terrasse	Toitures terrasse	5.3	Toit terrasse béton ITE	4.41	0.220	0.160	1.2
Toitures inclinées	Toitures inclinées	85.5	Toit charpente bois, CT 200 + LDV 60 mm Ext	4.84	0.201	0.160	17.2

Bâti : Groupes de parois

Catégorie	Groupe	Longueur totale m	Ψ moyen W/(m.K)	Déperdition W/K
Plancher bas élevé / Façade	Plancher bas élevé / Façade	32.79	0.66	21.6
Toiture / mur	Toiture / mur	6.95	0.18	1.3
Toiture / pignon	Toiture / pignon	30.56	0.19	5.8
Toiture / toiture	Toiture / toiture	123.90	0.08	9.9
Murs angle sortant	Murs angle sortant	176.26	0.14	24.7
Murs angle rentrant	Murs angle rentrant	35.17	0.03	1.1

Informations générales	
Surface utile (SU)	93.2 m ²
SRT	111.8 m ²
Volume	576.1 m ³
Surface déperditive totale	357.9 m ²
Surface déperditive hors plancher	264.7 m ²
Surface d'échange	357.9 m ²
Indicateurs	
Compacité de l'enveloppe (S/V)	0.6
Ratio de surface de baies (S _{baies} /SHAB) :	0.0 %
Surface de baies des logements / surface de façade disponible	0.0 %
Ratio ψ (ψ /SRT) :	0.58 W/(m ² .K)
Ubat	0.389 W/(m ² .K)
Ubat de référence	0.782 W/(m ² .K)

Parois	Surface m ²	Coeff. de transmission thermique W/(m ² .K)	Coeff. de déperdition W/K
Planchers bas	93.2	0.200	18.6
Toitures	90.8	0.202	18.3
Parois verticales	173.9	0.218	37.9
Baies	0.0	0.000	0.0

Ponts thermiques	Longueur m	Coeff. de transmission thermique W/(m.K)	Coeff. de déperdition W/K
Jonctions parois opaques / parois opaques	405.6	0.159	64.3
Jonctions baies / parois opaques	0.0	0.000	0.0

Classe d'inertie des zones	
Université	Lourde

Bâti - Chiffres clés

Bâtiments	Bâtiment
Département	59 - Nord H1a (59)
Sref (m ²)	0.0
SHAB(m ²)	0.0
SURT (m ²)	0.0
Bbio (pts)	234.9
Bbiomax (pts)	-214748368.0
Cep (kWh _{EP} /(m ² .an))	N/A
Cepmax (kWh _{EP} /(m ² .an))	N/A
Cep, nr (kWh _{EP} /(m ² .an))	N/A
Cep, nr max (kWh _{EP} /(m ² .an))	N/A

Résultats globaux des bâtiments

Bâtiments	Bâtiment
Zones	Planétarium
Usage	Planétarium
Sref (m ²)	N/A
SHAB(m ²)	N/A
SURT (m ²)	N/A
Bbio (pts)	234.9
Bbiomax (pts)	-214748368.0
Cep (kWh _{EP} /(m ² .an))	N/A
Cepmax (kWh _{EP} /(m ² .an))	N/A
Cep, nr (kWh _{EP} /(m ² .an))	N/A
Cep, nr max (kWh _{EP} /(m ² .an))	N/A

Résultats globaux des zones

Bâtiments	Bâtiment
Zones	Planétarium
Groupes	Groupe
Catégorie	Catégorie 1 non climatisé
Sref (m²)	N/A
SHAB(m²)	N/A
SURT (m²)	N/A
Bbio (pts)	234.9
Bbiomax (pts)	-214748368.0
DH(°C.h)	N/A
DHmax (°C.h)	N/A
Cep (kWhEP/(m².an))	N/A
Cepmax (kWhEP/(m².an))	N/A

Résultats globaux des groupes

Bâtiments	Bâtiment
Chauffage (pts)	84.4
Refroidissement (pts)	1.4
Eclairage (pts)	12.7

Besoin des bâtiments par poste

Bâtiments	Bâtiment
Zones	Planétarium
Chauffage (pts)	84.4
Refroidissement (pts)	1.4
Eclairage en (pts)	12.7

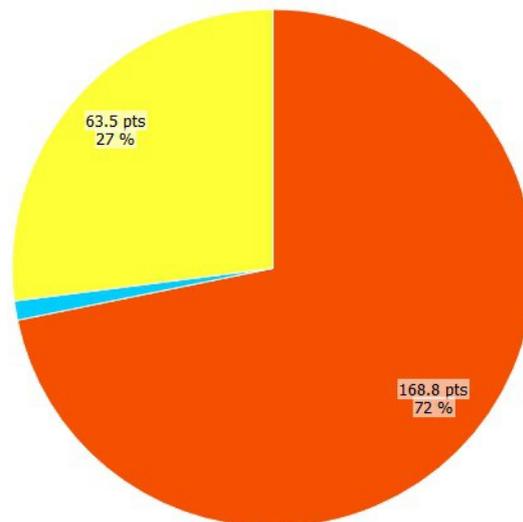
Besoin des zones par poste

Bâtiments	Bâtiment
Zones	Planétarium
Groupes	Groupe
Chauffage (pts)	84.4
Refroidissement (pts)	1.4
Eclairage (pts)	12.7

Exigences de performance énergétique

Bbio par poste

■ Chauffage : 168.8
■ Refroidissement : 63.5



Informations générales :

Surface : **93.2 m²**
 Volume : **576.1 m³**

Confort :

Température opérative minimale : **10 °C** : **5 Janvier à 6h**
 Température opérative minimale en occupation : **16 °C** : **8 Janvier à 8h**
 Température opérative maximale : **43 °C** : **28 Juin à 15h**
 Température opérative maximale en occupation : **43 °C** : **28 Juin à 15h**

Besoins énergétiques :

Besoin total de chauffage : **97 kWh** : **1 kWh/m²**
 Pic de besoin de chauffage : **4354 W** : **47 W/m²**
 Besoin total de refroidissement : **0 kWh** : **0 kWh/m²**
 Pic de besoin de refroidissement : **0 W** : **0 W/m²**

État courant - Chiffres clés

	Murs	Baies	Planchers	Toitures
Sur autre zone	0.0	0.0	0.0	0.0
Sur extérieur	194.7	0.0	99.4	100.1
Sur sol	0.0	0.0	0.0	0.0
Adiabatique	0.0	0.0	0.0	0.0
Total	194.7	0.0	99.4	100.1

État courant - Surfaces

	Surface m ²	Besoin de chauffage		Pic de besoin de chauffage		Besoin de refroidissement		Pic de besoin de refroidissement	
		kWh	kWh/m ²	W	W/m ²	kWh	kWh/m ²	W	W/m ²
EXPERIMENTARIUM	93.2	97	1	4354	47	0	0	0	0
Bâtiment	93.2	97	1	4354	47	0	0	0	0

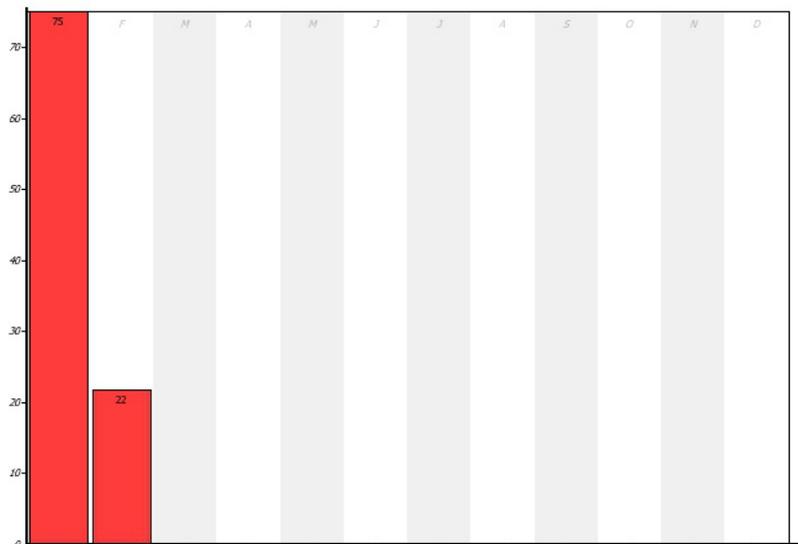
État courant - Synthèse des besoins énergétiques par zone

	Température opérative minimale	Température opérative minimale en occupation	Température opérative maximale	Température opérative maximale en occupation	Température critique de confort	Nombre d'heures > température critique de confort	Taux d'inconfort
	°C	°C	°C	°C	°C	h	%
EXPERIMENTARIUM	10	16	43	43	28	1045	54

État courant - Synthèse du confort par zone

État courant - Besoins de chauffage et refroidissement

■ Besoins de chauffage : 97 k



Informations générales :

Surface : **93.2 m²**
 Volume : **576.1 m³**

Confort :

Température opérative minimale : **10 °C** : **5 Janvier à 6h**
 Température opérative minimale en occupation : **16 °C** : **8 Janvier à 8h**
 Température opérative maximale : **43 °C** : **28 Juin à 15h**
 Température opérative maximale en occupation : **43 °C** : **28 Juin à 15h**
 Nombre d'heures > 28°C : **1045**
 Taux d'inconfort : **54 %**

Besoins énergétiques :

Besoin total de chauffage : **97 kWh** : **1 kWh/m²**
 Pic de besoin de chauffage : **4354 W** : **47 W/m²**
 Besoin total de refroidissement : **0 kWh** : **0 kWh/m²**
 Pic de besoin de refroidissement : **0 W** : **0 W/m²**

État courant - EXPERIMENTARIUM : Chiffres clés

	Murs	Baies	Planchers	Toitures
Sur autre zone	0.0	0.0	0.0	0.0
Sur extérieur	194.7	0.0	99.4	100.1
Sur sol	0.0	0.0	0.0	0.0
Adiabatique	0.0	0.0	0.0	0.0
Total	194.7	0.0	99.4	100.1

État courant - EXPERIMENTARIUM : Surfaces

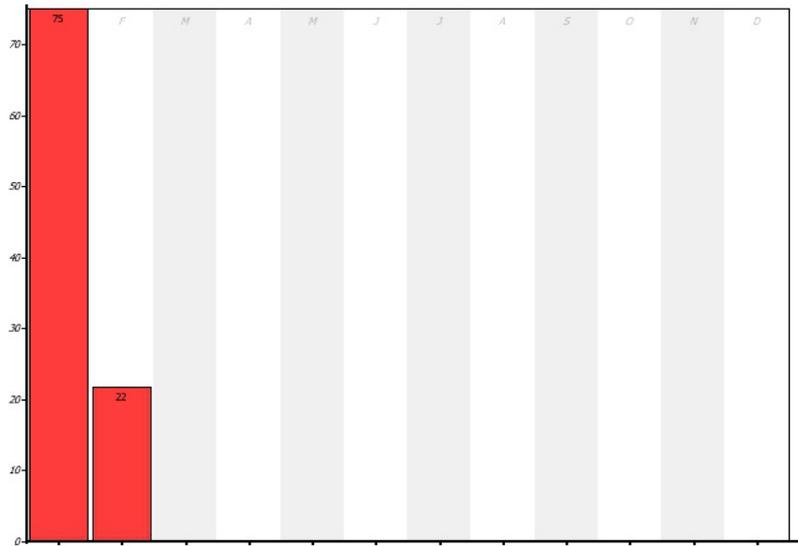
État courant - EXPERIMENTARIUM : Besoins de chauffage et refroidissement

■ Besoins de chauffage

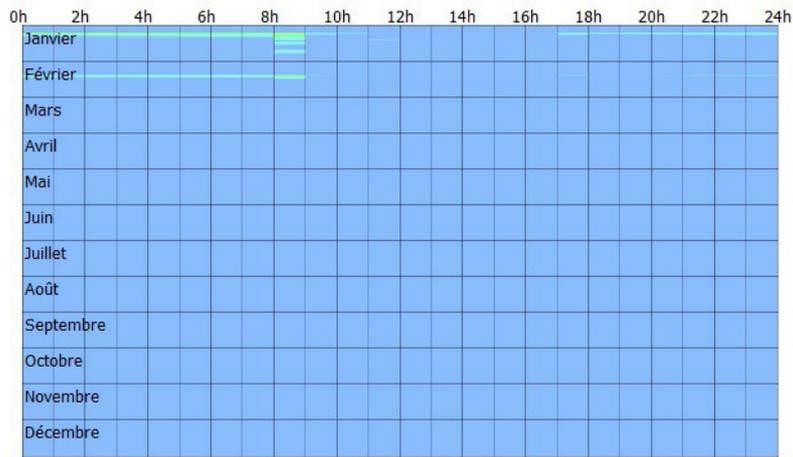


État courant - EXPERIMENTARIUM : Besoins de chauffage et refroidissement

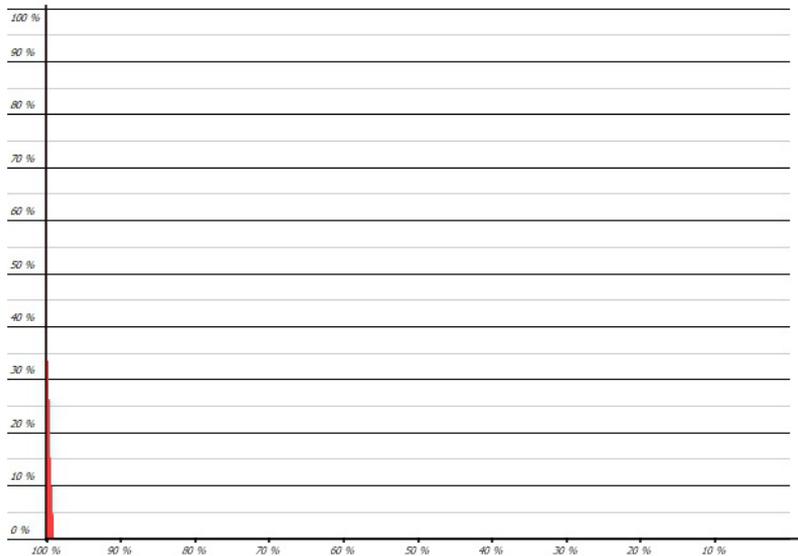
Besoins de chauffage : 97 k



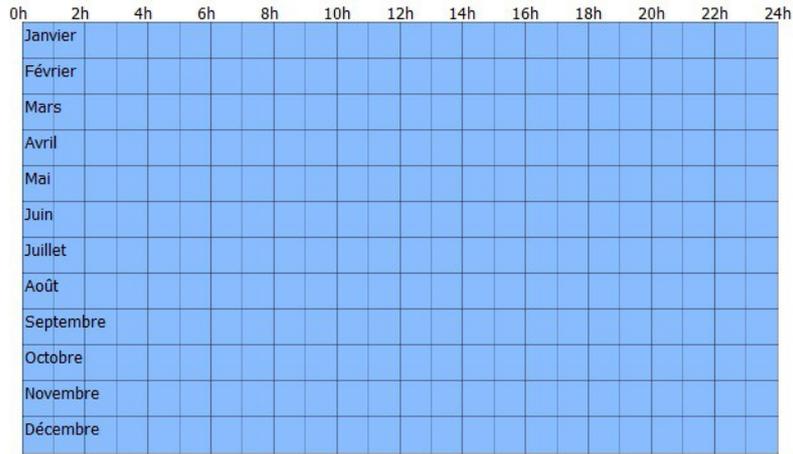
État courant - EXPERIMENTARIUM : Besoins de chauffage



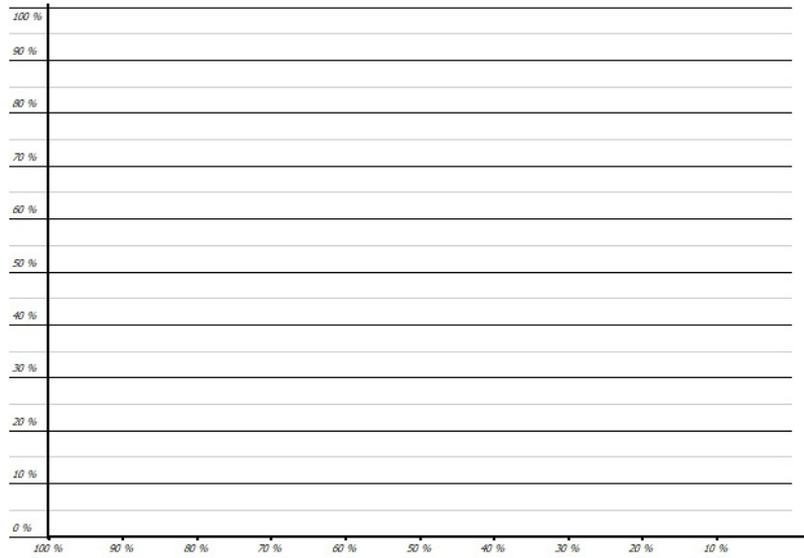
État courant - EXPERIMENTARIUM : Monotone des besoins de chauffage



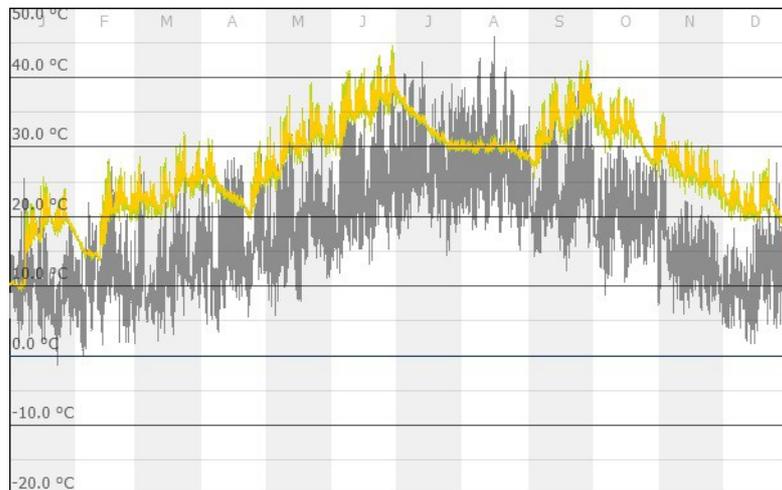
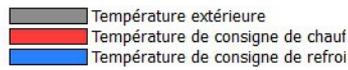
État courant - EXPERIMENTARIUM : Besoins de refroidissement



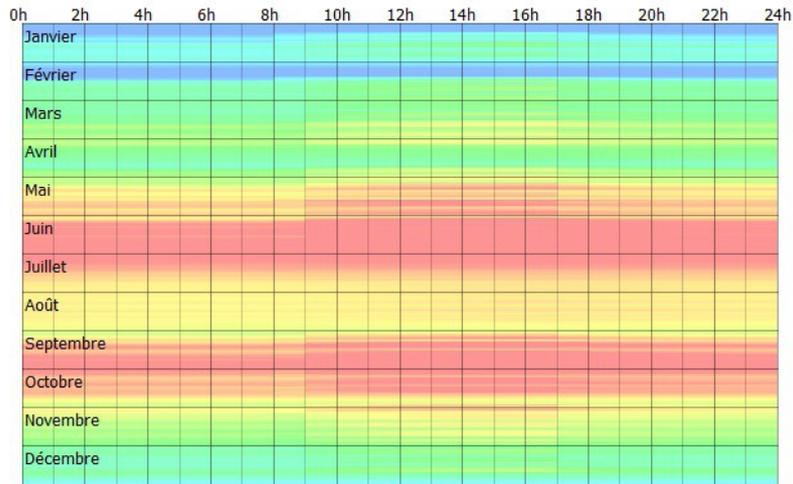
État courant - EXPERIMENTARIUM : Monotone des besoins de refroidissement



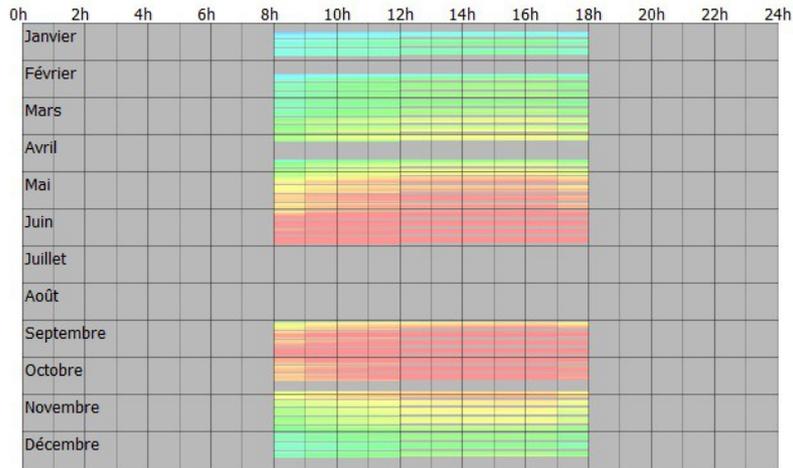
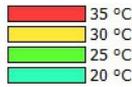
État courant - EXPERIMENTARIUM : Température intérieure



État courant - EXPERIMENTARIUM : Température opérative intérieure



État courant - EXPERIMENTARIUM : Température opérative intérieure en occupation



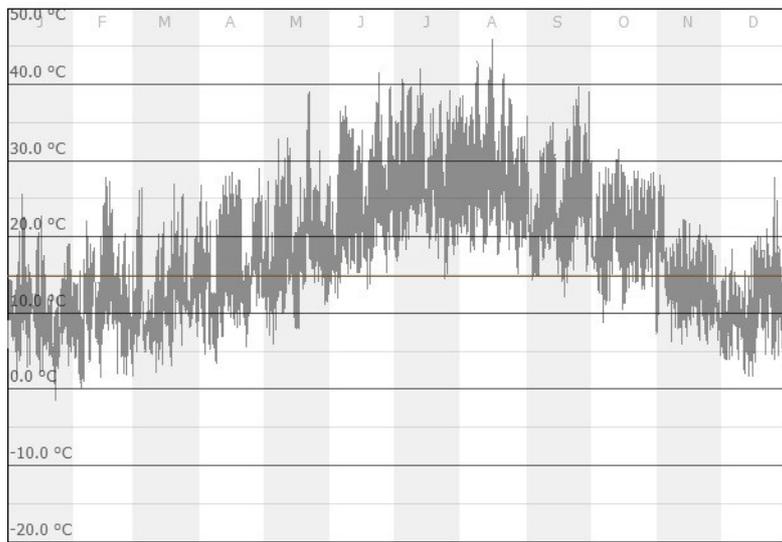
Température d'air	< 15 °C	≥ 15 °C	≥ 16 °C	≥ 17 °C	≥ 18 °C	≥ 19 °C	≥ 20 °C	≥ 21 °C	≥ 22 °C	≥ 23 °C	≥ 24 °C	≥ 25 °C	≥ 26 °C	≥ 27 °C	≥ 28 °C	≥ 29 °C	≥ 30 °C
Nb. d'heures en occupation	0	0	0	0	10	73	74	67	100	106	134	105	107	86	94	93	895
Nb. d'heures cumulées en occupation	0	1944	1944	1944	1944	1934	1861	1787	1720	1620	1514	1380	1275	1168	1082	988	895
Nb. d'heures	329	54	153	154	166	284	400	546	473	352	405	420	303	290	355	726	3349
Nb. d'heures cumulées	329	8430	8376	8223	8069	7903	7619	7219	6673	6200	5848	5443	5023	4720	4430	4075	3349

Température opérative	< 15 °C	≥ 15 °C	≥ 16 °C	≥ 17 °C	≥ 18 °C	≥ 19 °C	≥ 20 °C	≥ 21 °C	≥ 22 °C	≥ 23 °C	≥ 24 °C	≥ 25 °C	≥ 26 °C	≥ 27 °C	≥ 28 °C	≥ 29 °C	≥ 30 °C
Nb. d'heures en occupation	0	1	5	16	28	29	65	76	95	132	147	122	78	105	106	88	851
Nb. d'heures cumulées en occupation	0	1944	1943	1938	1922	1894	1865	1800	1724	1629	1497	1350	1228	1150	1045	939	851
Nb. d'heures	336	86	82	157	186	197	319	493	571	409	378	420	338	295	380	621	3491
Nb. d'heures cumulées	336	8423	8337	8255	8098	7912	7715	7396	6903	6332	5923	5545	5125	4787	4492	4112	3491

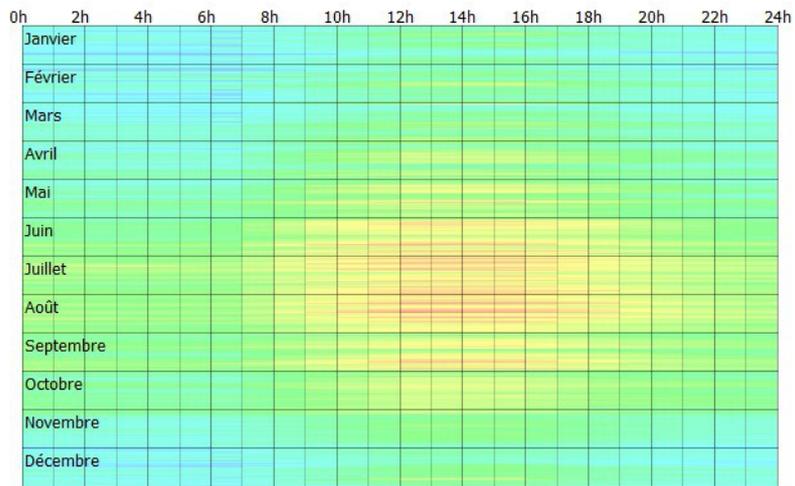
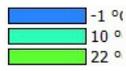
État courant - EXPERIMENTARIUM : Répartition des températures

État courant - Températures

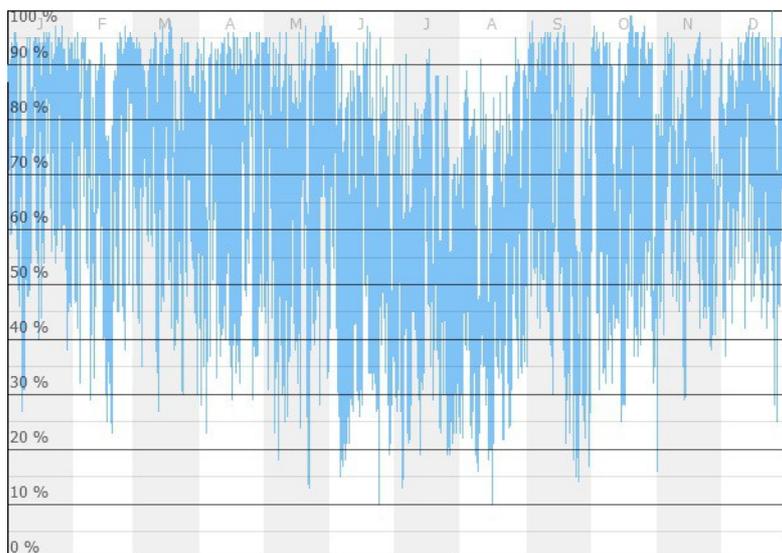
Température exté



État courant - Température de l'air

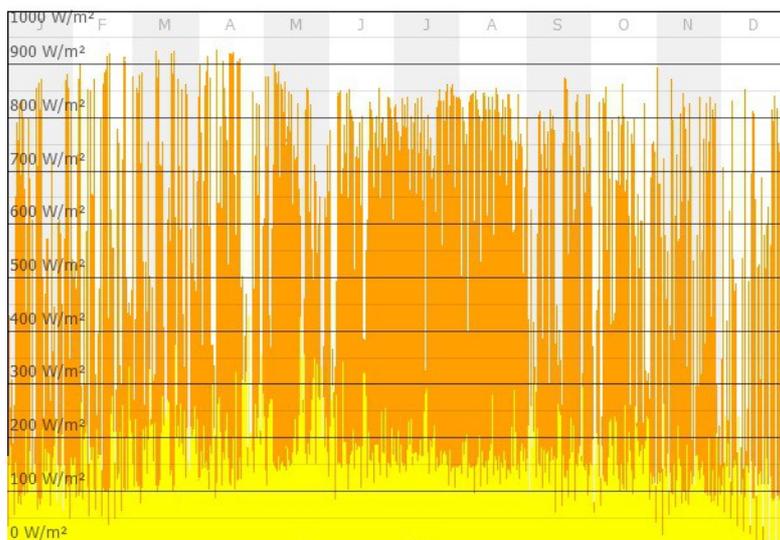


État courant - Humidité relative

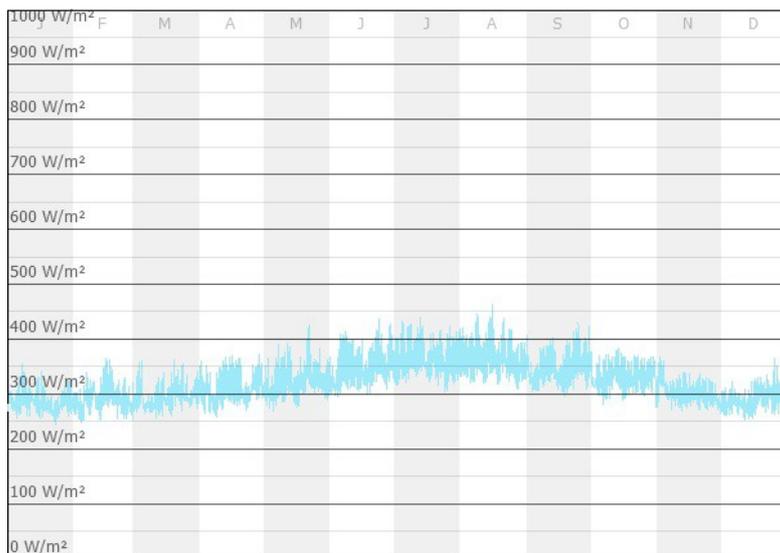


État courant - Flux solaires

Flux solaire di



État courant - Rayonnement infrarouge



ArchiWIZARD2022.1 Update est un logiciel édité par la société Graitec

Innopolis A - 1149 La Pyrénéenne - 31670 LABEGE- FRANCE

Site web : <http://www.graitec.com/fr/archiwizard.asp>