

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

République Algérienne Démocratique et Populaire

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique



Mémoire de Master

Présenté à l'Université 08 Mai 1945 de Guelma

Faculté des Sciences et de la Technologie

Département de : **Architecture**

Spécialité : **Architecture**

Option : **Architecture Environnement et technologie**

Présenté par : **Djeffal Med Iheb**

**Thème : L'INTEGRATION DES ECOSYSTEMES
MARINS DANS LA CONCEPTION D'UN
BATIMENT OCEANOGRAPHIQUE A CHETAIBI
(ANNABA)**

Sous la direction de : **Mr.Asoul**

Juillet 2021

Remercîment

Au terme de ce travail, Je remercie Dieu le tout puissant de m'avoir donné le courage et la volonté pour réaliser ce travail.

Je remercie infiniment mes encadreurs **Mr. DECHAICHA** Assoule et **Mr. LARBI MEDDOUR**. Pour avoir encadré mon travail, pour leur suivi, leur orientation, leurs conseils durant cette année et surtout leur encouragement.

Mes remerciements et mon respect vont également aux membres du jury pour l'intérêt qu'ils ont porté à ce travail en acceptant de l'évaluer. Ma reconnaissance et ma gratitude vont à l'égard de tous les enseignants de notre département qui nous ont enseigné durant nos années d'études.

Mes pensées affectueuses et reconnaissantes vont également à mes amis et aux personnes qui m'ont aidées, et à tous ceux qui ont contribués de près ou de loin à la réalisation de ce travail.

MERCI .à vous

Dédicace

Je souhaite dédié ce modeste travail en particulier a ma mère pour sa patience et son soutien tout au long de ces dernières années pour la réalisation de mon rêve qui est d'être architecte.

A mon père

A mes amis et en particulier Sharaf Riyadh Saidam, Ziada Med Amine, Daira Wassim, Kadi Oussama, qui ont vécu avec moi chaque minute de ce travail

RESUME

Il est aujourd'hui incontestable que les effets des changements climatiques sont clairement perceptibles dans les océans et particulièrement en mer méditerranée. C'est pour cela que la protection des écosystèmes marins est un cas de conscience générale qui doit être entamé à toutes les échelles, néanmoins l'architecture peut contribuer grandement à cette protection,

Le projet dans les milieux côtiers offre un double dialogue entre l'extension urbaine et l'évasion dans la méditerranée, tout en intégrant des principes bioclimatiques qui permettent une intégration du projet vis-à-vis de son site ainsi qu'une exploitation de ses potentiels naturels et une optimisation de ses fonctions.

La recherche entamée lors de cette étude nous a permis de mettre en évidence l'importance de l'architecture écologique et paysagère pour la protection de la biodiversité marine. Cette approche est principalement appuyée sur une compréhension globale des propriétés du site d'intervention et le développement de solutions conceptuelles répondant adéquatement aussi bien aux besoins fonctionnelles qu'aux contraintes environnementales et écosystémiques dictées par le milieu d'implantation. Cette approche fait également recours aux outils de la simulation architecturale qui permettent la visualisation et l'évaluation des dispositifs constructifs proposés lors de la conception architecturale.

Pour finir, le projet d'architecture demeure en soit en perpétuelles évolution, et ce n'est que la qu'une humble tentative de réponses à des exigences et directives concrètes posées en amont, auxquelles nous espérons avoir grandement répondu.

Mots clés : architecture écologique, environnement, écosystèmes marins, zones côtières, conception bioclimatique, aquarium océanographique

Abstract

It is today undeniable that the effects of climate change are clearly perceptible in the oceans and particularly in the Mediterranean Sea. This is why the protection of marine ecosystems is a case of general awareness that must be initiated at all scales, nevertheless architecture can contribute greatly to this protection,

The project in coastal environments offers a double dialogue between urban extension and escape into the Mediterranean, while integrating bioclimatic principles that allow an integration of the project vis-à-vis its site as well as an exploitation of its natural potentials and an optimization of its functions.

The research undertaken during this study has allowed us to highlight the importance of ecological and landscape architecture for the protection of marine biodiversity. This approach is mainly based on a global understanding of the properties of the intervention site and the development of conceptual solutions that adequately respond to functional needs as well as to environmental and exosystemic constraints dictated by the implantation environment. This approach also makes use of architectural simulation tools that allow the visualization and evaluation of the constructive devices proposed during the architectural design.

Finally, the architectural project remains in perpetual evolution, and this is only a humble attempt to answer to concrete requirements and directives posed upstream, to which we hope to have largely answered.

Keywords : ecological architecture, environment, marine ecosystems, coastal zones, bioclimatic design, oceanographic aquarium

ملخص

لا يمكن إنكار اليوم أن آثار تغير المناخ يمكن إدراكها بوضوح في المحيطات وخاصة في البحر الأبيض المتوسط. هذا هو السبب في أن حماية النظم البيئية البحرية هي حالة من الوعي العام يجب أن تبدأ على جميع المستويات ، ومع ذلك يمكن للهندسة المعمارية أن تساهم بشكل كبير في هذه الحماية.

يقدم المشروع في البيئات الساحلية حواً مزدوجاً بين الامتداد الحضري والهروب إلى البحر الأبيض المتوسط ، مع دمج مبادئ المناخ الحيوي التي تسمح بتكامل المشروع مع موقعه بالإضافة إلى استغلال إمكاناته الطبيعية وتحسينه. المهام. سمح لنا البحث الذي تم إجراؤه خلال هذه الدراسة بتسليط الضوء على أهمية العمارة البيئية والمناظر الطبيعية لحماية التنوع البيولوجي البحري. يعتمد هذا النهج بشكل أساسي على الفهم العالمي لخصائص موقع التدخل وتطوير الحلول المفاهيمية التي تستجيب بشكل مناسب للاحتياجات الوظيفية وكذلك القيود البيئية والنظم الإيكولوجية التي تملئها بيئة الزرع. يستخدم هذا النهج أيضاً أدوات المحاكاة المعمارية التي تسمح بتصوير وتقييم الأجهزة الإنشائية المقترحة أثناء التصميم المعماري.

هي مجرد محاولة متواضعة للرد على أخي رَا ، يظل المشروع المعماري في تطور دائم ، وهذه مجرد محاولة متواضعة المنبع ، والتي نأمل أن نجيب عليها إلى حد كبير. المتطلبات والتوجيهات الملموسة المطروحة الكلمات المفتاحية: العمارة البيئية ، البيئة ، النظم البيئية البحرية ، المناطق الساحلية ، تصميم المناخ الحيوي ، حوض الأسماك الأوقيانوغرافي

INTRODUCTION GENERALE

PROBLEMATIQUE

HYPOTHESE

I. L'Océanographie face aux enjeux environnementaux contemporains : changement climatiques et dégradation de la biodiversité marine 1

Introduction 1

I.1	Enjeux environnementaux	1
I.1.1	Typologie des enjeux environnementaux	1
I.2	Les changements climatiques	5
I.2.1	Les causes du changement climatique.....	6
I.2.1.1	L'augmentation des concentrations atmosphériques des gaz à effet de serre.....	6
I.2.1.2	La radiation du Soleil.....	6
I.2.2	Conséquences des changements climatiques.....	7
I.2.3	Le changement climatique en bassin Méditerranéen.....	8
I.2.3.1	Le bassin Méditerranéen.....	8
I.2.3.2	Les impacts du changement climatique sur la mer Méditerranée.....	9
I.3	La biodiversité marine	12
I.3.1	Définition.....	12
I.3.2	Typologie des biodiversités	13
I.3.3	Biodiversité écosystémique	14
I.3.3.1	Définition d'un écosystème	14
I.3.3.2	Les écosystèmes marins.....	15
I.3.4	Rôle de la biodiversité marine.....	16
I.3.4.1	Régulation de la température terrestre par les océans.....	16
I.3.4.2	Production d'oxygène par le plancton	19
I.3.5	La biodiversité marine en Méditerranée.....	20
I.3.6	La biodiversité marine en Algérie	21
I.4	Impacts du changement climatique sur la biodiversité marine.....	22
I.4.1.1.1	Acidification des océans	23

I.4.1.1.2	Déstabilisation de l'abondance des espèces.....	23
I.4.1.1.3	Déstabilisation de la chaîne alimentaire	24
II.	ARCHITECTURE SOUTENABLE ET PROTECTIONS DES ECOSYSTEMES	
MARINS.....	26
II.1	Développement durable	26
II.1.1	Définition.....	26
II.1.2	Historique du développement durable.....	27
II.1.3	Les piliers du développement durable	27
II.1.4	Les disciplines du développement durable.....	28
II.1.4.1	L'architecture écologique.....	28
II.1.4.2	L'architecture organique	29
II.1.4.3	L'architecture bioclimatique	30
II.1.5	Les principes du développement durable	30
II.1.6	Les objectifs du développement durable :.....	31
II.1.7	L'architecture et le développement durable	32
II.2	L'Architecture bioclimatique :.....	32
II.2.1	Définition :	32
II.2.2	Le but de l'architecture bioclimatique :.....	32
II.2.3	Les principes de l'architecture bioclimatique :	33
II.2.4	Les énergies renouvelables :.....	37
II.2.4.1	L'énergie solaire photovoltaïque :	38
II.2.4.2	L'énergie hydraulique :.....	39
II.3	L'architecture face à la biodiversité marine	41
II.3.1	L'impacte de l'architecture sur la biodiversité :.....	41
II.3.2	Les échelles d'interventions :.....	43
II.3.3	Le béton comme matériau sauveur de la biodiversité marine :.....	43
II.3.4	Exemples d'utilisation du béton dans la protection des écosystèmes marins :	45
III.	CHAPITRE 03 : CHAPITRE ANALYTIQUE	51
Introduction	51

III.1	Définition de la simulation :	51
III.2	La simulation informatique (numérique) :	51
III.3	Objectif de la simulation informatique :	52
III.4	La simulation thermique :	52
III.4.1	Définition :	52
III.4.2	Les types de la simulation thermique	53
III.4.3	La simulation thermique dynamique (STD)	54
III.4.3.1	Définition	54
III.4.3.2	L'apparition de la simulation thermique dynamique	55
III.4.3.3	L'intérêt de la simulation thermique dynamique	55
III.4.3.4	La méthode de la simulation thermique dynamique	56
III.4.3.5	Quand faire une simulation thermique dynamique ?	56
III.4.4	La simulation thermique dynamique dans le processus de la conception architecturale	57
III.4.5	Les étapes d'un calcul de simulation thermique dynamique	58
III.4.5.1	Une collecte de données	58
III.4.5.2	Une modélisation du projet	59
III.4.5.3	Lancer les calculs (Simuler)	60
III.4.5.4	Une synthèse des résultats	60
III.4.6	Les atouts de la simulation thermique dynamique	60
III.4.7	Les limites de simulation thermique dynamique	61
III.4.8	Les logiciels utilisés pour faire une simulation thermique	62
III.5	Simulation du cas d'étude	66
III.5.1	Présentation du cas d'étude	66
III.5.2	Les données et matériel utilisé :	66
III.5.2.1	Les données climatiques :	66
III.5.2.2	Données de projet :	71
III.5.2.3	Les logiciels utilisés	74
III.5.2.3.1	Autodesk Revit Architecture 2020	74

III.5.2.3.2	Graitec Archiwizard 2020	76
III.5.2.3.3	Intégration Revit Archiwizard.....	77
III.5.3	Méthodologie de travail.....	78
III.5.3.1	Modélisation et paramétrage du modèle énergétique.....	78
III.5.3.2	Interprétation des Résultats	82
IV.	APPROCHE CONCEPTUELLE	90
IV.1	Introduction.....	90
IV.2	Etude et analyse des exemples :	90
IV.2.1	EXEMPLE 01 : THE BLU PLANET AQUARIUM	90
IV.2.1.1	Présentation du projet :	91
IV.2.1.2	Situation du projet :.....	91
IV.2.1.3	Etude du plan de masse :.....	92
IV.2.1.4	Distribution intérieur :.....	92
IV.2.1.5	Etude de la circulation :	93
IV.2.1.6	Les techniques utilisés :	94
IV.2.1.7	Synthèse :	97
IV.2.2	EXEMPLE 02 : ANTALYA AQUARIUM	98
IV.2.2.1	Présentation du projet :	98
IV.2.2.2	Situation du projet :.....	99
IV.2.2.3	Etude du plan de masse :.....	100
IV.2.2.4	Organisation des niveaux :.....	101
IV.2.2.5	Organisation des espaces techniques :	103
IV.2.2.6	La circulation :	104
IV.2.2.7	Les façades :.....	105
IV.2.2.8	Synthèse :	106
IV.2.3	EXEMPLE 03: KARLOVAC FRESH WATER AQUARIUM.....	107
IV.2.3.1	Présentation du projet :	107
IV.2.3.2	Situation du projet :.....	108

IV.2.3.3	Etude de plan de masse :	109
IV.2.3.4	Etude de la distribution intérieure :	111
IV.2.3.5	Les coupes :	112
IV.2.3.6	Les façades :	113
IV.3	Programmation	114
IV.3.1	L'objectif de la programmation:.....	114
IV.3.2	Type d'utilisateurs.....	114
IV.3.3	Architecture et organisation des espaces	115
IV.3.3.1	Disciplines liées aux aquariums	115
IV.3.3.2	Normes de circulation	116
IV.3.3.3	Les différents espaces des aquariums publics	117
IV.3.3.3.1	Accueil, restauration et boutique	118
IV.3.3.3.2	Détente et loisir :	118
IV.3.3.3.3	Les types d'aquariums	118
IV.3.3.3.4	Océanarium	119
IV.3.3.3.5	Entité technique et administrative.....	120
IV.3.4	Programme retenue.....	120
IV.3.4.1	Tableau comparatif des exemples	120
IV.3.4.2	Programme retenue	122
IV.4	Analyse de site	125
IV.4.1	Présentation de la ville de ANNABA :	125
IV.4.2	Présentation de la commune de CHETAIBI :	126
IV.4.3	Aperçu historique :	128
IV.4.4	Le relief :	129
IV.4.5	Présentation du site d'intervention :	130
IV.4.6	Analyse climatique :	135
IV.4.6.1	Températures et précipitations moyennes :	136
IV.4.6.2	Distribution des jours ensoleillé, nuageux et les jours de précipitation :	137

IV.4.6.3	Les températures maximales :.....	138
IV.4.6.4	Quantité de précipitations :	138
IV.4.6.5	Vitesse du vent :	139
IV.4.6.6	Rose des vents :.....	140
IV.5	Démarche conceptuelle.....	144
IV.5.1	Sheema de principe.....	144
IV.5.1.1	La genèse d'idée.....	144
IV.6	La démarche écologique	148
IV.6.1	Les toitures végétalisées	148
IV.6.2	Utilisation de la végétation.....	149
IV.6.3	Oxygénation des aquariums	150
IV.6.4	Des toitures particulières	151
IV.6.4.1	Récupération des eaux pluviales	152
IV.6.4.2	Ventilation passive	153
IV.6.5	Utilisation des énergies renouvelables	154

Conclusion générale

Résumé

Liste des figures

Figure 1 Cartographie simplifiée des enjeux et interactions 3	
Figure 2 Les états riverains de la mer Méditerranée	8
Figure 3 Les variations du niveau marin calculées sur 4 ans (1992 à 1996).....	10
Figure 4 Augmentation de la température et la salinité au bassin méditerranéen	11
Figure 5 Exemple de biodiversité marine.....	12
Figure 6 Exemple d'un écosystème terrestre	14
Figure 7 Exemple d'écosystème marin	15
Figure 8 Schéma simplifié de la circulation océanique globale	17
Figure 9 Processus naturel de transmission de l'énergie solaire dans l'océan avant l'industrialisation	18
Figure 10 Perturbation du cycle de transmission de l'énergie solaire naturel par les activités humaines.....	18
Figure 11 Image d'un plancton au microscope	19
Figure 12 Cycle d'absorption du CO2 atmosphérique par le plancton.....	20
Figure 13 Conséquences de l'augmentation du CO2 sur les écosystèmes marins	23
Figure 14 Une chaîne alimentaire marine de bassin Méditerranéen	24
Figure 15 Les piliers du développement durable	27
Figure 16 La maison passive standard.....	28
Figure 17 La maison de la cascade de Frank Lloyd	29
Figure 18 Les principes de bases d'une conception bioclimatique	30
Figure 19 Effet de la topographie.....	33
Figure 20 Effet d'un obstacle sur le potentiel de ventilation	33
Figure 21 Ventilation naturelle.....	35
Figure 22 Panneaux photovoltaïque	38
Figure 23 Habitat naturel sans infrastructures artificielles.....	42
Figure 24 Perturbation de l'habitat naturel a cause des infrastructures côtières	42
Figure 25 Béton biosourcé	44
Figure 26 Les casiers Panal pour des récifs alvéolés	45
Figure 27 Le projet REXCOR avec du béton Biogène (LES CALANQUES)	46
Figure 28 Le récif Fractal	47
Figure 29 Récif à Ragues , source	48
Figure 30 Récif Connectivité , source	49
Figure 31 Une simulation thermique statique	53

Figure 32 Simulation thermique dynamique (ArchiWizard).....	54
Figure 33 Schéma montre le rôle de la simulation thermique dynamique dans le processus de la conception architecturale.....	58
Figure 34 Illustration d'une modélisation 3D d'un bâtiment a l'aide d'un logiciel de CAO...	59
Figure 35 Carte de la classification de Köppen.....	67
Figure 36 Graphe des températures enregistrés de la zone de Chetaibi	68
Figure 37 Graphe de l'irradiation solaire enregistrés de la zone de Chetaibi	69
Figure 38 Graphe de l'éclairement enregistrés de la zone de Chetaibi	69
Figure 39 Graphe de l'humidité relative enregistrés de la zone de Chetaibi.....	70
Figure 40 Vue 3D du projet.....	71
Figure 41 Plan de masse du projet.....	71
Figure 42 Plan Niveau 0 du projet.....	72
Figure 43 Plan Niveau -01 du projet	72
Figure 44 Plan Niveau +01 du projet	73
Figure 45 Logo Revit.....	74
Figure 46 Interface Revit 2020.....	75
Figure 47 Logo Archiwizard	76
Figure 48 Interface Archiwizard	76
Figure 49 Illustration de l'intégration du logiciel Archiwizard dans Revit	77
Figure 50 Modelisation du modèle 3D dans Revit.....	78
Figure 51 Paramétrage des matériaux dans Revit.....	79
Figure 52 Exportation du modèle analytique via l'extention Archiwizard.....	79
Figure 53 Insertion fichier climatique et des caractéristiques du projet dans Archiwizard	80
Figure 54 Synchronisation du modèle analytique dans Revit et Archiwizard	80
Figure 55 Imagerie solaire en temps réel dans Archiwizard	81
Figure 56 Génération des rapports d'analyse dans Archiwizard	81
Figure 57 Information globales sur le projet	82
Figure 58 Interface Archiwizard 2020	82
Figure 59 Interface Archiwizard 2020	83
Figure 60 Tableau des résultats RT 2012	84
Figure 61 Interface Archiwizard 2020	85
Figure 62 Imagerie solaire du projet	86
Figure 63 Imagerie du projet	87
Figure 64 Carte d'ensoleillement des espaces intérieurs niveau 00.....	87
Figure 65 Carte d'ensoleillement des espaces intérieurs Niveau +01	88

Figure 66 The blue planet aquarium.....	90
Figure 67 Situation du projet The blue planet Aquarium.....	91
Figure 68 Plan de masse The blue planet Aquarium.....	92
Figure 69 Plan intérieur The blue planet Aquarium.....	92
Figure 70 Plan de circulation The blue planet aquarium.....	93
Figure 71 Plan de circulation The blue planet aquarium.....	93
Figure 72 The blue planet aquarium.....	94
Figure 73 Intérieur The blue planet aquarium.....	95
Figure 74 Intérieur The blue Planet Aquarium.....	96
Figure 75 Intérieur The blue Planet Aquarium.....	96
Figure 76 Antalya Aquarium.....	98
Figure 77 Situation Antalya Aquarium	99
Figure 78 Plan de masse Antalya Aquarium	99
Figure 79 Plan de masse Antalya Aquarium	100
Figure 80 Antalya Aquarium plan d'étage niveau +1	101
Figure 81 Antalya Aquarium espaces intérieur niveau 00	102
Figure 82 Organisation des espaces techniques niveau +01, Antalya aquarium.....	103
Figure 83 Organisation des espaces techniques niveau 00, Antalya aquarium.....	103
Figure 84 Coupe A-A Antalya aquarium	104
Figure 85 Coupe B-B Antalya aquarium.....	104
Figure 86 Facade latérale Antalya aquarium.....	105
Figure 87 Façade principale Antalya aquarium.....	105
Figure 88 Antalya aquarium.....	105
Figure 89 Antalya aquarium.....	106
Figure 90 KARLOVAC FRESH WATER AQUARIUM.....	107
Figure 91 Situation KARLOVAC FRESH WATER AQUARIUM	108
Figure 92 Environnement immédiat KARLOVAC FRESH WATER AQUARIUM.....	108
Figure 93 Environnement immédiat KARLOVAC FRESH WATER AQUARIUM.....	109
Figure 94 Plan de masse KARLOVAC FRESH WATER AQUARIUM, source : Auteur ...	109
Figure 95 plan de masse KARLOVAC FRESH WATER AQUARIUM	110
Figure 96 Plein et vide au niveau du plan de masse KARLOVAC FRESH WATER AQUARIUM	110
Figure 97 Vue Aérienne KARLOVAC FRESH WATER AQUARIUM	111
Figure 98 Espaces intérieurs KARLOVAC FRESH WATER AQUARIUM niveau 00	111
Figure 99 Espaces intérieurs KARLOVAC FRESH WATER AQUARIUM niveau -01, ...	112

Figure 100 Coupe 1 KARLOVAC FRESH WATER AQUARIUM	112
Figure 101 Façade KARLOVAC FRESH WATER AQUARIUM.	113
Figure 102 Ferme aquacole à Kotor, Montenegro	115
Figure 103 Aquarium de recherche en laboratoire	115
Figure 104 Bassin aquatique	116
Figure 105 Dessin montrant les normes de circulation dans les aquariums.....	117
Figure 106 Schéma des entités d'aquariums	117
Figure 107 Vue aérienne Annaba.....	125
Figure 108 Vue aérienne de Chetaibi	126
Figure 109 Situation de la commune de Chetaibi	127
Figure 110 Ancienne photo de chetaibi.....	128
Figure 111 Carte topographique de la zone de chetaibi	129
Figure 112 Vue aérienne de la commune de Chétaibi.....	130
Figure 113 Vue aérienne du site.....	131
Figure 114 Vue aérienne du site avec environnement naturel	132
Figure 115 Photo du site.....	132
Figure 116 Photo du site.....	133
Figure 117 Photo du site.....	133
Figure 118 Photo du site.....	134
Figure 119 Photo du site.....	134
Figure 120 Le maillage naturel du site	135
Figure 121 les courbes de températures et précipitations moyennes	136
Figure 122 Distribution des jours ensoleillé, nuageux et les jours de précipitation.....	137
Figure 123 Les températures maximales	138
Figure 124 Les quantités de précipitations	138
Figure 125 Les vitesses du vent.....	139
Figure 126 La rose des vents	140

Liste des tableaux

Tableau 1 Nombre total des espèces marines recensées sur la côte algérienne	22
Tableau 2 Interopérabilité des quelques logicielles de simulation thermique dynamique.....	65

L'intégration des écosystèmes marins dans la conception des projets océanographiques

Introduction générale

La méditerranée occupe environ de 0.7% de la surface maritime de la planète, mais regroupe 7.5% de la faune et 18% la flore marine mondiale avec 28% d'espèces endémiques. Cette concentration d'espèces est due aux caractéristiques climatiques et biologiques du bassin méditerranéen qui en font une aire majeure d'hivernage, de reproduction et de migration.

Les côtes Algériennes donnant sur le bassin sud de la méditerranée s'allongent sur plus de 1600 Km offrant ainsi des potentialités importantes qui constituent une fortune marine économique. Mais ces opportunités restent en dehors des préoccupations des services concernés.

La réflexion sur des activités maritimes extraordinaires est l'une des actions franchissant l'exploitation classique de ces potentialités touristiques.

Le domaine d'exposition, de formation et de reproduction Et l'océanographie, sachant que l'océanographie est une science qui permet la constatation des phénomènes s'accomplissant au sein de l'océan¹, cette immense masse d'eau qui recouvre plus de trois quarts de notre globe, cette science implique l'investissement des nations côtière afin de la faire progresser et accroître son efficacité surtout en matière de sensibilisation et de vulgarisation vis-à-vis de l'homme et la mer.

La prise en compte des particularités locales distinguant les côtes méditerranéennes dans les projets maritimes constitue une nécessité conceptuelle pour se conformer aux impératives de l'architecture écologique et paysagère. Cette approche offre la possibilité d'intégrer les écosystèmes marins dans la conception des projets implantés dans les environnements marins. La présente étude cherche d'une part à comprendre les spécificités écosystémiques et géomorphologiques caractérisant les côtes de la région de Chetaibi (Annaba), et d'autre part à étudier les approches architecturales les plus appropriées pour la conception des projets d'aquariums Océanographiques.

¹ L'Océanographie (Français) Broché – 14 mai 2017

Problématique

Il est important de souligner que les informations détenues par l'homme au sujet des phénomènes marins est bien en deçà du niveau souhaité. Cependant, l'évolution scientifique et technologique actuelle permet la compréhension d'un certain nombre de phénomènes et mode de vie des animaux marins aux seins des aires d'exposition et de prolifération des espèces.

Quant à notre cas, le village de Châtaï est doté d'un patrimoine poissonnier conséquent et diversifier d'une part, et être un lieu touristique prisé d'autre part, ce patrimoine est bien évidemment soumis à l'excès et ne figure pas dans la ligne de conscience des habitants, bien qu'une AMP (aire marine protégée) a été créer dans cette zone elle se trouve être insuffisante et ne dispose pas de toute l'attention requise.

A la suite de l'introduction du concept du développement soutenable, les projets de construction et d'aménagements marins devront être inscrits dans une démarche de protection des écosystèmes marins. La question qui découle dans cette optique est la suivante :

Comment assurer une meilleure valorisation des écosystèmes marins locaux dans la conception océanographique ; par ceci comment renforcer le rendement économique des régions côtière par la valorisation des écosystèmes marins ?

Hypothèse

Une conception écologique prenant en compte l'ensemble des particularités naturelles locales permet de matérialiser une meilleure valorisation des écosystèmes avoisinant.

I. L'Océanographie face aux enjeux environnementaux contemporains : changement climatiques et dégradation de la biodiversité marine

Introduction

Le climat terrestre subit divers changements depuis sa création, néanmoins ces changements se projetaient sur une durée si longue qu'elle n'était pas perceptible par les êtres vivants qui s'en accommodaient naturellement du fait de leur nature adaptative. Cependant, ces changements suivent un ordre croissant qui va avec l'industrialisation mondiale et l'expansion humaine, ces deux facteurs sont les raisons essentielles de l'accentuation des changements climatiques qui sont de plus en plus perceptibles à l'échelle de notre génération. Ces dégradations climatiques constituent une menace réelle à l'encontre des espèces naturelles notamment littorales et marines, qui voient leur habitat dégradé, et leurs équilibres perturbés.

I.1 Enjeux environnementaux

L'environnement occupe une place de plus en plus importante dans le débat international du fait de sa relation directe avec l'être humain. Il est donc impératif de comprendre la notion « Préservation de l'environnement » qui est généralement perçue comme un tout alors que les enjeux qui lui sont associés sont extrêmement variables et hétérogènes (respect de la biodiversité, effet de serre, déforestation, qualité de l'eau, qualité de l'air, destruction de la couche d'ozone ... ect). Il est donc important de savoir ce qu'est un enjeu environnemental.

Enjeu environnemental : préoccupations écologiques et/ou sociologiques de qualité de vie et de santé.

I.1.1 Typologie des enjeux environnementaux

Alors que ces enjeux occupent une place de plus en plus importante dans le débat international, ils ne sont pas toujours facilement identifiables car il n'existe pas de cartographie

unique et mondialement reconnue regroupant l'ensemble des enjeux, cette absence de cartographie à l'échelle mondiale traduit le caractère géographique de ces enjeux¹.

Les enjeux environnementaux sont difficiles à appréhender car ils peuvent être exprimés sous différentes formes :

- **Flux élémentaires** : émissions de CO₂ dans l'air, émission de nitrates dans l'eau ;
- **Activités humaines ou procédés** : agriculture, incinération de déchets ;
- **Impacts (ou effet intermédiaire)** : changements climatiques, eutrophisation de l'eau ;
- **Pressions** : pollution, prélèvement de ressources ;
- **Domages (ou effets finaux)** : santé humaine, écosystèmes ;
- **Enjeux sociaux** : alimentation, accès à l'énergie, mobilité.

Douze enjeux environnementaux principaux ont pu être identifiés à travers l'étude de publications au niveau international, notamment :

- Le rapport annuel de l'UNEP (UNEP, 2015) ;
- Le bilan établi par l'Agence Européenne de l'Environnement (European Environment Agency, 2015b) ;
- Le rapport sur les différentes composantes de l'environnement en France (Ministère de l'Ecologie, 2014).

Ces 12 enjeux peuvent être compris et représentés comme à la Figure 4 ci-dessous :

• ¹ Typologie des enjeux environnementaux et usage des différentes méthodes d'évaluation environnementale B.DE CAEVEL, M. OOMS – RDC- ENVIRONNEMENT – BRUXELLES synthèse d'étude

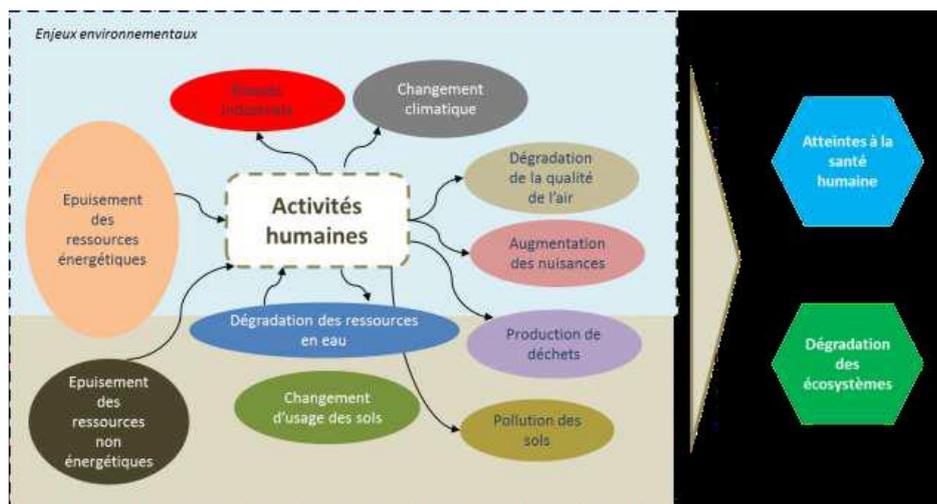


Figure 1 Cartographie simplifiée des enjeux et interactions

- 10 enjeux environnementaux en lien avec l'impact des activités humaines sur les différents milieux (air, eau, sol) ;
- 2 enjeux de « dommages ultimes » que sont l'atteinte à la santé humaine et la dégradation des écosystèmes.
- **Le changement climatique** : A toutes les échelles géographiques considérées, les émissions de Gaz à Effet de Serre (GES) et les conséquences sur le climat représentent, sans conteste, l'enjeu environnemental principal intégré dans toutes les politiques publiques. Les principaux GES sont le dioxyde de carbone (CO₂), le méthane (CH₄), le protoxyde d'azote (N₂O) et l'hexafluorure de soufre (SF₆).
- **Dégradation de la qualité de l'air** : La pollution de l'air représente l'ensemble des contaminations de l'air (intérieur ou extérieur) par un agent chimique, physique ou biologique qui dégradent les caractéristiques de l'environnement, et donc la qualité et la pureté de l'air.
- **Dégradation des ressources en eau** : L'eau est une ressource essentielle pour l'Homme et les écosystèmes car elle relie l'atmosphère, les terres et les océans à travers son cycle global. Elle est aussi une composante socio-économique prépondérante de par son rôle dans le développement des sociétés. L'eau sert également de système de transport pour les substances biochimiques, incluant les substances toxiques, qui voyagent depuis leur source sur les continents jusqu'aux océans.

- **Pollutions des sols :** Le sol est un des trois médias environnementaux, avec l'eau et l'air. Il est à l'origine de nombreuses ressources (cultures, foresterie) et de nombreux cycles importants pour le fonctionnement des écosystèmes (cycle de l'azote, cycle du carbone).
- **Changement d'occupation des sols :** les sols occupent une place importante dans le fonctionnement des écosystèmes car ils sont le support à la vie émergée. L'occupation du sol représente donc la couverture biophysique de la surface de la terre et l'usage que l'Homme en fait. A ce titre, l'occupation des sols (ou utilisation des sols) peut être transformée par l'Homme en un environnement plus ou moins artificialisé (imperméabilisation, restructuration).
- **Epuisement des ressources énergétiques :** L'énergie est un secteur d'activité essentiel au fonctionnement des sociétés et un facteur de production pour toutes les autres activités économiques. Les ressources énergétiques de la planète sont présentes sous deux formes différentes : les énergies non-renouvelables (énergie de stock) et les énergies renouvelables (énergie de flux). Deux autres aspects sont aussi à différencier : l'énergie primaire, forme sous laquelle la nature nous livre un potentiel énergétique brut (charbon, pétrole, gaz naturel, uranium, rayonnement solaire, etc.) et l'énergie secondaire, forme sous laquelle une énergie primaire est consommée (électricité).
- **Epuisement des ressources non-énergétiques :** Dans un contexte de forte croissance mondiale de la demande en matières premières, l'exploitation et la transformation des matières premières non-énergétiques représentent une source importante de développement économique. Les ressources non-énergétiques couvrent à la fois le sujet des ressources minérales (ou abiotiques), des ressources biotiques (issues du vivant) et des ressources agricoles (non-énergétiques).
- **Déchets :** De manière usuelle, un déchet désigne un élément qui n'a plus de valeur après un usage et qui est considéré comme un résidu.
- **Risques industriels :** Les risques industriels représentent tous les événements accidentels se produisant sur un site industriel, mettant en jeu des produits et/ou des

procédés dangereux et entraînant des conséquences immédiates graves pour le personnel, les populations riveraines, les biens et l'environnement.

- **Augmentation des nuisances** : Les nuisances caractérisent tout facteur qui constitue un désagrément subi, provoqué par une source, et qui affecte la santé, le bien-être ou l'environnement.
- **Atteintes à la santé humaine** : Les développements technologiques conduisent à la mise sur le marché de produits, biens ou services pouvant diffuser de nouvelles substances dans l'environnement. Les activités et les modes de vie participent également à la dissémination de polluants dans les milieux et certaines de ces émissions peuvent affecter la santé.
- **Dégradation des écosystèmes** : La biodiversité forme le tissu vivant des écosystèmes dans lequel les sociétés et l'économie se sont développées. Ce tissu vivant forme un équilibre dynamique.

I.2 Les changements climatiques

Les changements climatiques sont causés par les modifications de l'atmosphère qui résultent de sa transformation chimique par les gaz à effet de serre (GES). Cette perturbation de l'équilibre atmosphérique s'exprime par une augmentation des températures moyennes sur Terre, modifiant ses caractéristiques physiques, chimiques et biologiques¹.

¹ Agriculture et climat, cers des fermes zéro Carbone, par Jeanne Camirand et Christine Gingras

I.2.1 Les causes du changement climatique

I.2.1.1 L'augmentation des concentrations atmosphériques des gaz à effet de serre

Autres que la vapeur d'eau qui se recycle rapidement et en permanence, est un élément très important, qui doit être observé avec précision sur plusieurs décennies pour donner lieu à une interprétation fiable.

- **Le dioxyde de carbone (CO₂)**

Sa concentration augmente continûment depuis le milieu du XIX^e siècle, en raison principalement des activités industrielles, passant de 280 ppm vers 1870 à 388 ppm en 2009. Le taux de croissance mesuré depuis 1970 est environ 500 fois plus élevé que celui observé en moyenne sur les 5 000 dernières années.

- **Le méthane (CH₄)**

Dû notamment aux fermentations diverses (zones humides, ruminants, déchets domestiques, biomasse, ...), aux fuites de gaz naturels et à la fonte du pergélisol, sa concentration s'est accrue de 140 % sur la même période. Elle semble cependant stabilisée depuis 2000

- **Le protoxyde d'azote (N₂O)**

Dû en grande partie aux activités agricoles (dont la biodégradation des nitrates agricoles dans les milieux souterrains anoxiques), sa concentration a augmenté de 20 % sur la même période.

L'augmentation de l'effet de serre induit pour l'ensemble de ces trois composants est de 2,3 W/m².

I.2.1.2 La radiation du Soleil

Reçue par la Terre hors de l'atmosphère à une latitude donnée en été ou en hiver dépend de la luminosité du Soleil et de la distance de la Terre au Soleil, et de l'orientation de l'axe de rotation de la Terre. Ces derniers paramètres varient à l'échelle de dizaines de milliers d'années en raison de perturbations gravitationnelles exercées par la Lune et les autres planètes.

I.2.2 Conséquences des changements climatiques

- **L'augmentation de la température de surface sur la Terre**

Elle est de $0,8 \pm 0,2$ °C depuis 1870. Elle reste notablement différente pour les deux hémisphères : plus forte au Nord et plus forte aux hautes latitudes. Une variabilité entre continents est également observée.

- **L'augmentation de la température des océans**

Mesurée depuis les années 1950 par les bateaux de commerce ou les navires océanographiques (jusque vers 700 m de profondeur) et plus récemment par le système de bouées profilantes.

- **La réduction de la surface des glaces océaniques arctiques**

La banquise, dont la fonte ne contribue pas à l'élévation du niveau des océans, est un autre indicateur fort de l'accélération de l'évolution du climat : de 8,5 millions de km² stable dans la période 1950-1975, la surface des glaces de mer a connu une décroissance très rapide jusqu'à 5,5 millions de km² en 2010.

- **Le recul des glaciers continentaux**

Il est observé de façon quasi généralisée depuis 3 à 4 décennies, avec une nette augmentation au cours des 20 dernières années.

- **Les calottes polaires de l'Antarctique et du Groenland**

Ils ont un bilan total de masse négatif depuis une dizaine d'années. Si quelques régions élevées de l'intérieur des calottes, en particulier Antarctique, s'épaississent un peu par suite de précipitations neigeuses accrues, la perte de masse domine.

- **Le niveau moyen des océans**

C'est un autre indicateur qui intègre les effets de plusieurs composantes du système climatique (océan, glaces continentales, eaux continentales).

- **Les indicateurs biologiques,**

Tels que les déplacements de populations animales terrestres ou marines et l'évolution des dates d'activités agricoles saisonnières.

I.2.3 Le changement climatique en bassin Méditerranéen

I.2.3.1 Le bassin Méditerranéen

La région méditerranéenne est bordée par 21 états riverains aux caractéristiques géopolitiques, démographiques et socio-économiques différentes. La mer Méditerranée a une superficie de 2,51 millions de km² et un linéaire côtier de 46 000 km sans compter les 19 000 km de côtes des îles. Du point de vue hydrologique, la mer Méditerranée se divise en deux bassins profonds, celui de l'ouest et celui de l'est, séparés par le seuil siculo-tunisien, avec un déficit hydrique compensé par des flux importants venant de l'Atlantique et de mer Noire. Le canal de Suez la relie à la mer Rouge¹.

Le climat de la région est de type méditerranéen, sous-tropical et tempéré, avec des différences significatives entre les côtes nord et sud, des micros - climats, et de grandes différences dans les précipitations et les caractéristiques et les conséquences qui en résultent. Ces influences s'exercent sur les masses d'eau, un gradient croissant de températures est perceptible du nord au sud et d'ouest en est, marqué par les apports atlantiques².

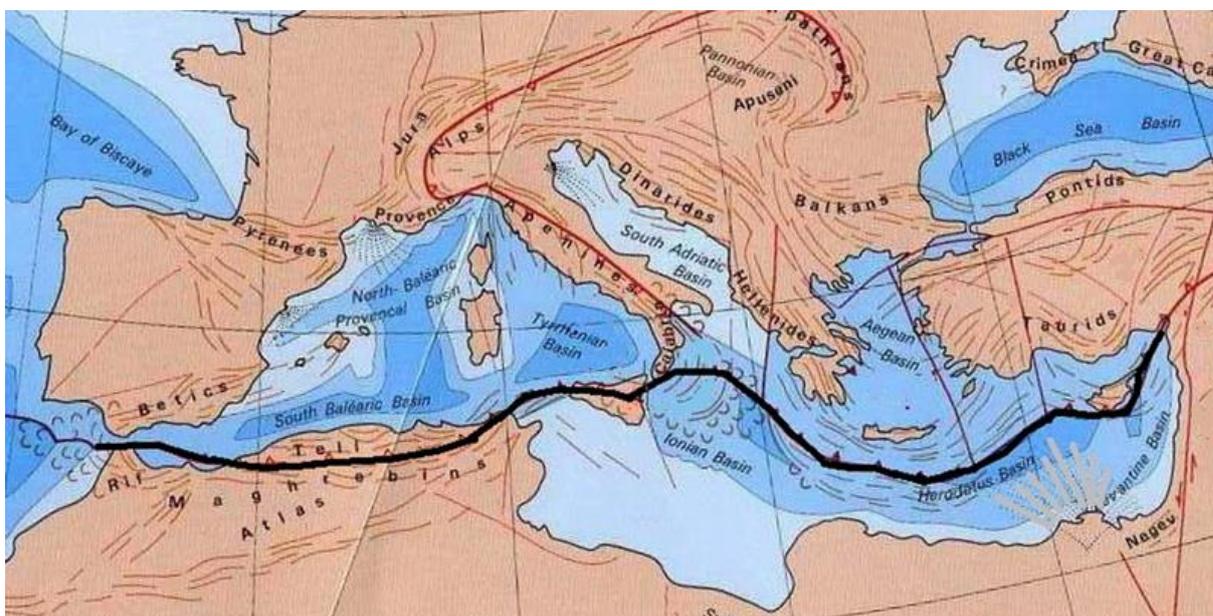


Figure 2 Les états riverains de la mer Méditerranée

¹ Impacts du Changement Climatique sur la Biodiversité marine dans la zone littorale de Mostaganem, Algérie nord occidentale

² UNEP-MAP RAC/SPA. 2009. *Identification of important ecosystem properties and assessment of ecological status and pressures to Mediterranean marine and coastal biodiversity*. By Bazairi, H., Ben Haj, S., Torchia, G., Limam, A., Rais, C., and Cebrian, D., Ed. RAC/SPA, Tunis; 100 page.

I.2.3.2 Les impacts du changement climatique sur la mer Méditerranée

La Méditerranée est une des régions du monde qui accuse l'augmentation de la température la plus importante. Cette augmentation est accompagnée d'une variabilité plus marquée à savoir une fréquence plus accrue de vagues de chaleur.

a- Une hausse du niveau de la mer Méditerranée

Même si depuis la nuit des temps les changements climatiques font partie de l'ordre naturel de la planète, il est prouvé que l'accroissement très perceptible des gaz à effet de serre qui s'est accentué depuis le début du 20^{ème} siècle contribue à l'amplification de ces changements et les rend perceptibles à l'échelle de notre génération. Ce phénomène constitue une menace réelle à l'encontre des espaces naturels, notamment littoraux et marins, de leurs paysages, de la biodiversité qu'ils abritent et des ressources naturelles qu'ils prodiguent¹.

L'élévation du niveau de la mer, estimée à environ 1 cm par an². La hausse du niveau de la mer demeure encore difficile à prévoir dans le bassin Méditerranéen. Elle pourrait atteindre 23 à 47 cm d'ici la fin du vingtième siècle selon le cinquième rapport du GIEC.

Les conséquences à craindre sont principalement les suivantes :

- Aggravation des submersions sur les côtes basses, en particulier les espaces deltaïques, les littoraux à lagunes, les marais maritimes et certaines îles.
- Accélération de l'érosion des falaises et des plages.
- Renforcement de la salinisation dans les estuaires.
- Réduction du volume d'eau douce des nappes phréatiques³.

La figure suivante est portée les variations du niveau marin calculées sur 4 ans, de 1992 à 1996, fait apparaître la forte variabilité saisonnière qui peut atteindre 20 cm, avec des pics en automne et des minima au printemps⁴.

¹ Impact des changements climatiques sur la biodiversité marine et côtière en Mer Méditerranée *Etat actuel des connaissances*.

² PNUE-PAM-CAR/ASP, 2008. *Impact des changements climatiques sur la biodiversité en Mer Méditerranée*. Tunis, CAR/ASP. pp.: 1-62.

³ GIEC, 2007. **Bilan 2007 des changements climatiques**. Contribution des groupes I, II et III au quatrième Rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat. GIEC, Genève, Suisse. 103 p.

⁴ <http://www.oceanographyconference.com>.

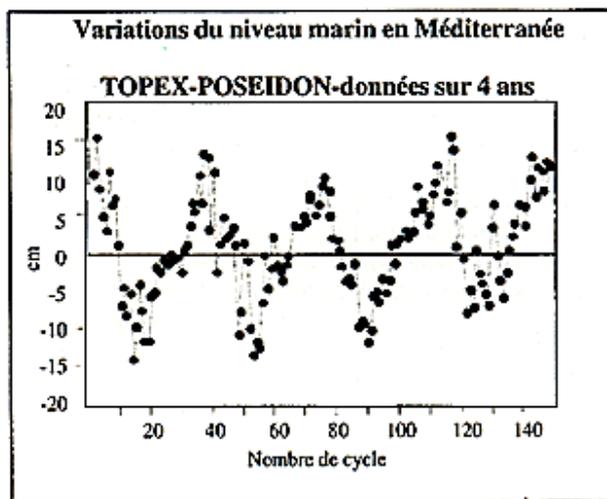


Figure 3 Les variations du niveau marin calculées sur 4 ans (1992 à 1996), source www.oceanographyconference.com

b- Augmentation de la température et de la salinité de la mer méditerranée

BETHOUX et GENTILI (1996) montrent par des observations effectuées dans les eaux profondes (800 à 2700 m) du bassin Algéro-Provençal que la température et la salinité augmentent régulièrement depuis 1959. Ce phénomène est maintenant plus clairement attribué à l'effet de serre et exprime donc un effet global.

En conséquence, l'augmentation de température observée en méditerranée constitue le premier effet mesuré de l'effet de serre (Figure 06). L'augmentation de la salinité dû à la diminution des précipitations (changement global et effet de serre), aux aménagements des fleuves, mais également à l'ingression des eaux de mer Rouge depuis l'ouverture du canal de Suez et à son agrandissement en 1981¹.

¹ <http://www.oceanographyconference.com>.

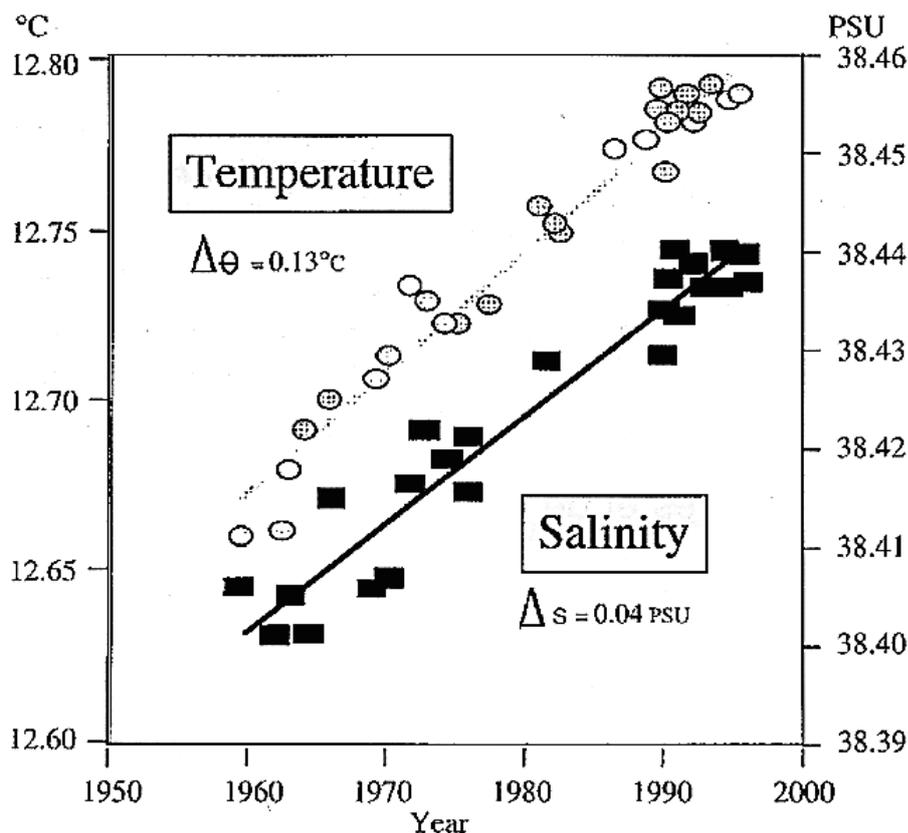


Figure 4 Augmentation de la température et la salinité au bassin méditerranéen, source : www.oceanographyconference.com

c- Augmentation des sels nutritifs

La variation du contenu en sels nutritifs, effectués de 1965 à 1995, montrent que les eaux de la Méditerranée occidentale se sont enrichies en nitrates et en phosphates. Cet accroissement est attribué à l'activité industrielle, urbaine et agricole. Il s'en suit une tendance, quoiqu'irrégulière, à l'eutrophisation du bassin, avec une conséquence inattendue qui est une augmentation de la production halieutique, surtout de petits poissons pélagiques (sardines et anchois et quelques espèces). Le calcul des bilans des échanges de chaleur et d'eau suffit à expliquer ce changement de la circulation dans cette partie de la Méditerranée¹.

d- Augmentation de la pollution en mer Méditerranée

La Méditerranée est une des zones au monde qui subit la plus forte pression humaine avec, une population totale des nations qui la borde atteignant 380 millions de personnes, un tourisme de 158 millions d'individus, et une circulation extrêmement dense qui fait que 23% de la quantité mondiale de pétrole est transportée dans ce bassin dont la superficie ne représente que 1% de

¹ <http://www.oceanographyconference.com>.

l’océan mondial. Il y a deux exemples de pollution : un par les métaux lourds, et l’autre par les déchets non-dégradables.

I.3 La biodiversité marine



Figure 5 Exemple de biodiversité marine, source www.30millionsdamis.fr

Les océans couvrent près de 72% de la surface de la planète et représentent plus de 90% du volume habitable pour le monde vivant. Pourtant, à ce jour, seulement 240 000 espèces marines ont été décrites alors que les scientifiques estiment leur nombre entre 500 000 et plus de 10 millions (estimations qui n’englobent pas le monde microbien, dont le nombre d’espèces approcherait la dizaine de milliards)¹.

I.3.1 Définition

La biodiversité : Le concept de biodiversité est récent. En 1984, Edward O. Wilson publie « *Biological diversity* » qui met en avant pour la première fois l’idée de **diversité biologique**. Mais ce concept nouveau n’a vraiment pris son essor qu’avec la signature de la *Convention sur la diversité biologique* lors du *Sommet de la Terre* de Rio en 1992. Dans son Article 2, cette convention définit la biodiversité comme étant la « *variabilité des organismes vivants de toute origine, y compris, entre autres, les écosystèmes terrestres, marins et autres*

¹ wwz.ifremer.fr

écosystèmes aquatiques et les complexes écologiques dont ils font partie ; cela comprend la diversité au sein des espèces, et entre les espèces et ainsi que celle des écosystèmes »¹.

I.3.2 Typologie des biodiversités

Traditionnellement, on distingue trois niveaux de biodiversité² :

- **La biodiversité génétique** : Il s'agit de la diversité des gènes existants au sein du monde vivant. Entre les différentes espèces et au sein de ces espèces, il existe différents gènes et différentes expressions de gènes qui contribuent à la multiplicité des formes de vie, des phénotypes, des caractères physiques et biologiques.
- **La biodiversité spécifique** : On parle de biodiversité spécifique pour décrire la diversité des espèces vivantes. Il existe sur Terre des millions d'espèces vivantes, toutes différentes, réparties en groupes disposant de leurs spécificités (insectes, animaux, végétaux, champignons...).
- **La biodiversité écosystémique** : La biodiversité écosystémique désigne la variété des écosystèmes, par leur nature et leur nombre, où les espèces vivantes interagissent avec leur environnement et entre elles. Par exemple, sur Terre il existe différents écosystèmes avec leurs spécificités : les déserts, les marécages, les plaines, les forêts et au sein de ces écosystèmes des particularités : désert froid, désert chaud, forêts boréales, forêts tropicales. Chacun de ces écosystèmes a ses particularités, ses spécificités, ses espèces, ses fonctionnements.

Dans les études d'écologie marine, la biodiversité spécifique est la plus utilisée à cause de la nature des données disponibles à l'échelle mondiale, la commodité des approches spécifiques et l'importance des résultats se référant à l'unité élémentaire des biocénoses qui est l'espèce.

La biodiversité marine : La biodiversité marine est l'ensemble de la diversité biologique propre aux océans ou en dépendant très directement.

¹ www.encyclopedie-environnement.org

² www.youmatter.world

I.3.3 Biodiversité écosystémique

I.3.3.1 Définition d'un écosystème

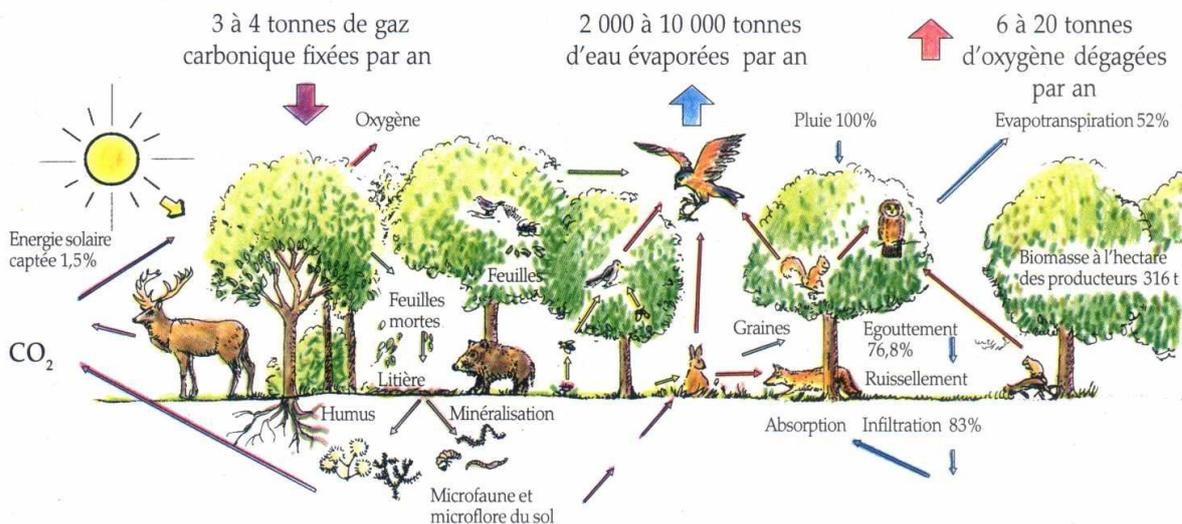


Figure 6 Exemple d'un écosystème terrestre, source : www.lamaisondalzaz.wordpress.com

L'écosystème est l'unité de base du champ d'étude scientifique de la nature (l'écologie scientifique). Selon cette discipline, l'écosystème est un milieu physiquement délimité, constitué de ses deux composantes indissociables :

- Le biotope : c'est-à-dire un environnement physique particulier avec des caractéristiques physiques spécifiques (température, humidité, climat)
- La biocénose : c'est-à-dire un ensemble d'êtres vivants (animaux, végétaux, micro-organismes) en interaction, et donc en interdépendance.

La biocénose (les êtres vivants) évoluent sur un biotope particulier et constituent un écosystème. Le concept d'écosystème se décline à toutes les échelles de grandeur (simple mare, forêt, chaîne de montagnes, planète Terre dans son ensemble). Une entité vivante, ou une partie de cette entité, constitue elle-même un écosystème en soi (exemple : le biotope intestinal et son microbiote)¹.

¹ www.youmatter.com

I.3.3.2 Les écosystèmes marins

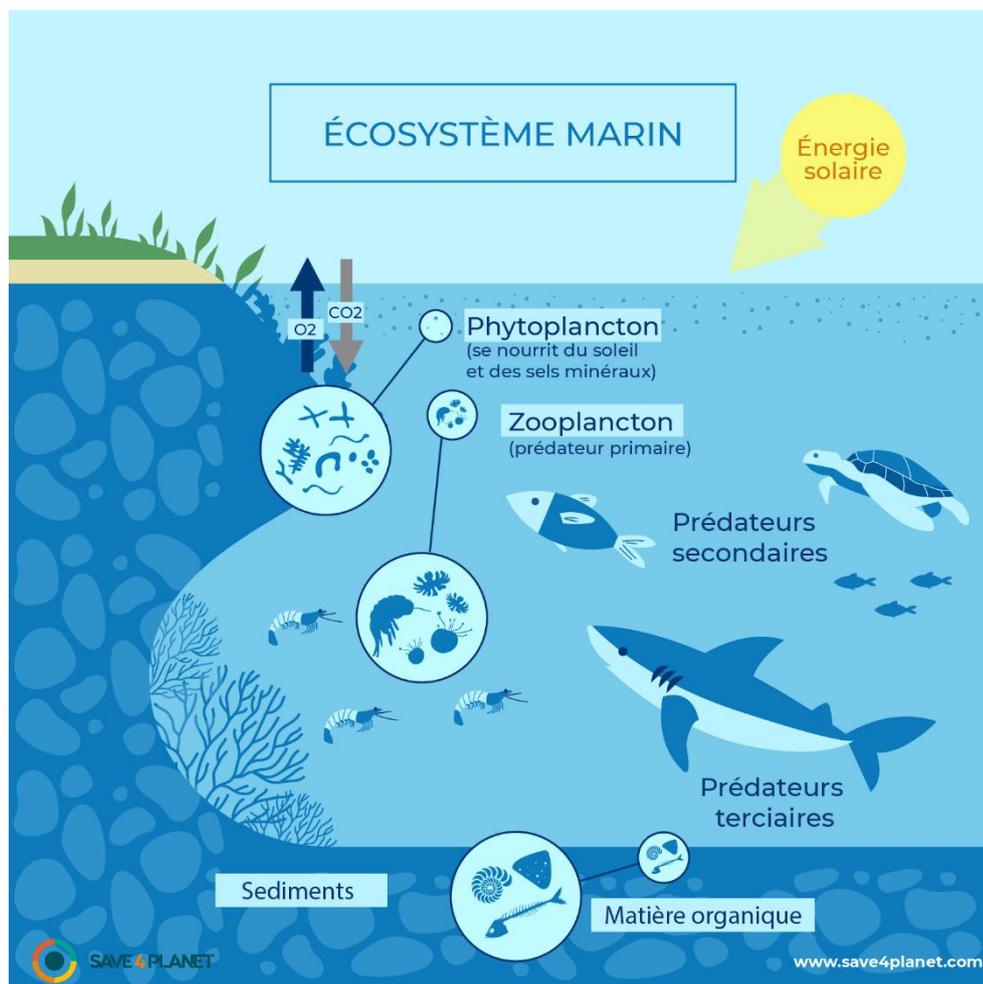


Figure 7 Exemple d'écosystème marin, source : www.save4planet.com

On appelle « écosystème marin » un ensemble écologique formé d'une biocénose, composée d'organismes marins, et d'un biotope, constitué par l'eau salée et les rivages des mers et des océans. Les organismes marins interagissent constamment entre eux (reproduction, chaîne alimentaire...) et avec le biotope.

Les mers et les océans sont grands et situés à différents endroits de la planète (latitude et longitude variables) : il existe donc de nombreux écosystèmes marins aux caractéristiques différentes (température, salinité...).

I.3.4 Rôle de la biodiversité marine

Les océans sont l'un des principaux réservoirs de la biodiversité dans le monde. Ils constituent plus de 90 % de l'espace habitable sur la planète et abrite quelque 250 000 espèces connues ainsi que beaucoup d'autres qui ne sont pas encore répertoriées¹.

Les océans et la vie marine sont essentiels au bon fonctionnement de la planète, fournissant la moitié de l'oxygène que nous respirons² et absorbant environ 26 % des émissions de dioxyde de carbone anthropique dans l'atmosphère par an³.

I.3.4.1 Régulation de la température terrestre par les océans

Les courants marins redistribuent l'énergie thermique absorbée. La circulation océanique est contrôlée par les vents de surface, par la rotation de la terre et par certaines propriétés de l'océan telles que la température et la salinité. Des masses d'eaux chaudes transportent en surface la chaleur accumulée dans les tropiques, vers les pôles, en réduisant ainsi les écarts de température. C'est par exemple le rôle du Gulf Stream. Des courants froids circulant en profondeur font le trajet inverse. Cette circulation globale contribue, à la manière d'un « tapis roulant », à la redistribution de la chaleur à l'échelle de la planète, en échange permanent avec l'atmosphère⁴.

¹ <http://coml.org/>

² The First Global Integrated Marine Assessment (World Ocean Assessment I) (United Nations, 2016). Disponible sur le site http://www.un.org/Depts/los/global_reporting/WOA_RegProcess.htm.

³ Corinne Le Quéré et al., « Global carbon budget 2015 », Earth System Science Data, vol. 7, n° 2 (décembre 2015), 349-396 (371).

⁴ www.ocean-climate.org

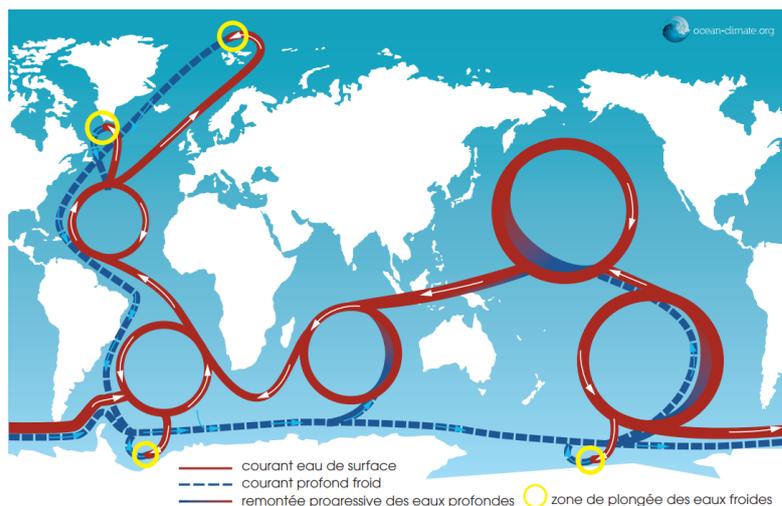


Figure 8 Schéma simplifié de la circulation océanique globale, source : www.ocean-climate.org

L'excès de chaleur généré par les activités humaines, via l'effet de serre, est absorbé à 93 % par l'océan, qui atténue l'augmentation de la température dans l'atmosphère. Cette absorption de chaleur induit un léger réchauffement de l'océan. Celui-ci est sensible au moins jusqu'à sept cents mètres de profondeur. Ce réchauffement atteint désormais les grands fonds dans les régions polaires et se propage vers tous les bassins océaniques. Etant donné le volume de l'océan, cela représente une gigantesque quantité de chaleur! Et même si les émissions de gaz à effet de serre s'interrompaient aujourd'hui, les effets liés à cette augmentation de température de l'océan se poursuivraient pendant des décennies¹.

¹ www.ocean-climate.org

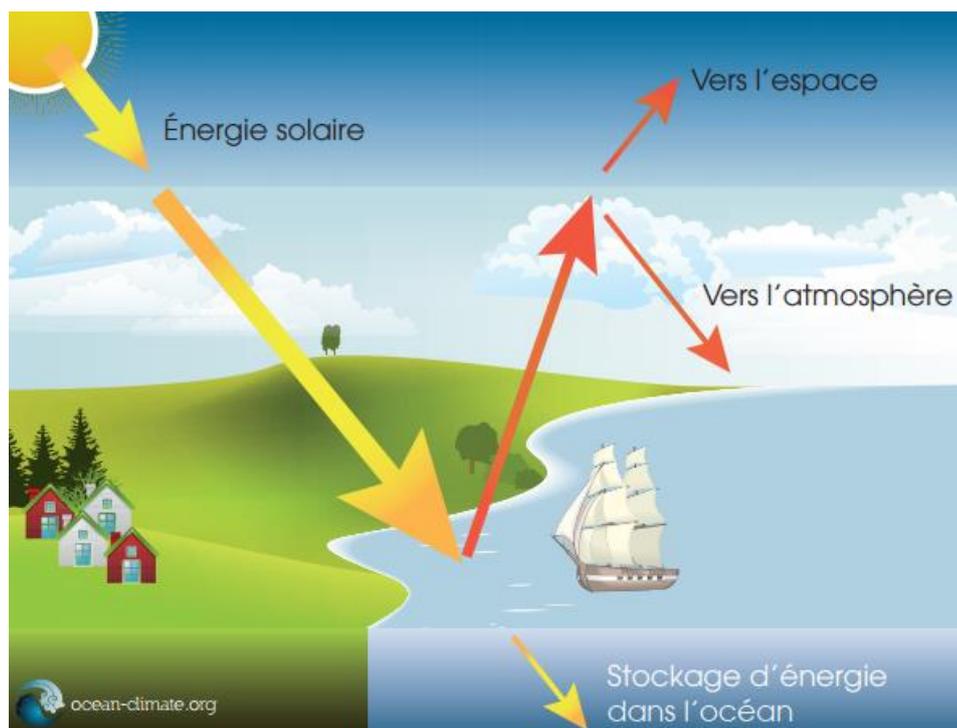


Figure 9 Processus naturel de transmission de l'énergie solaire dans l'océan avant l'industrialisation, source : www.ocean-climate.org

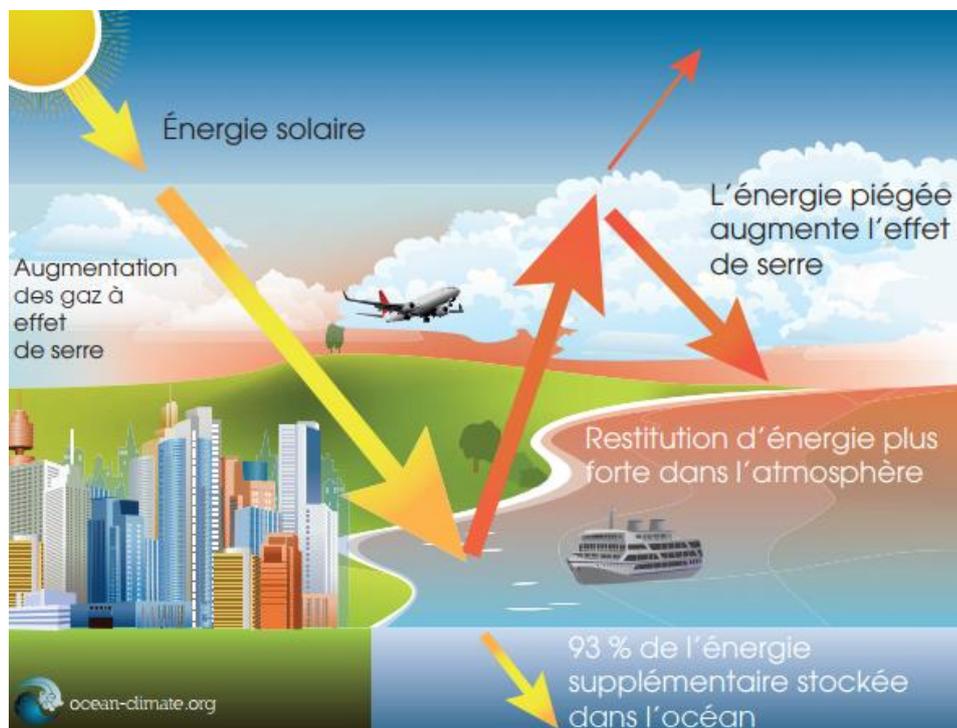


Figure 10 Perturbation du cycle de transmission de l'énergie solaire naturel par les activités humaines, source : www.ocean-climate.org

I.3.4.2 Production d'oxygène par le plancton



Figure 11 Image d'un plancton au microscope, source : www.ocean-climate.org

L'océan abrite un peuple invisible à l'œil nu : il s'agit du plancton, composé d'organismes microscopiques qui dérivent dans l'océan au gré des courants. Il représente plus de 95 % de la biomasse marine et comprend une diversité remarquable : virus, bactéries, micro-algues, cellules reproductrices, larves de poissons, micro-crustacés, etc¹.

Si les organismes phytoplanctoniques représentent seulement 1% de la biomasse des organismes photosynthétiques sur Terre, ils assurent 45% de la production primaire². Ils sont ainsi à la base de la chaîne trophique pélagique³ et sont donc responsables d'une part essentielle de la production primaire dans les milieux aquatiques. Le phytoplancton a une fonction essentielle dans l'océan qui est identique à celle des plantes dans le milieu terrestre qui est la production d'Oxygène et l'absorption du Dioxyde de Carbone.

¹ www.ocean-climate.org

² Chisholm 1995; Behrenfeld *et al.* 2001

³ Azam et Malfatti 2007

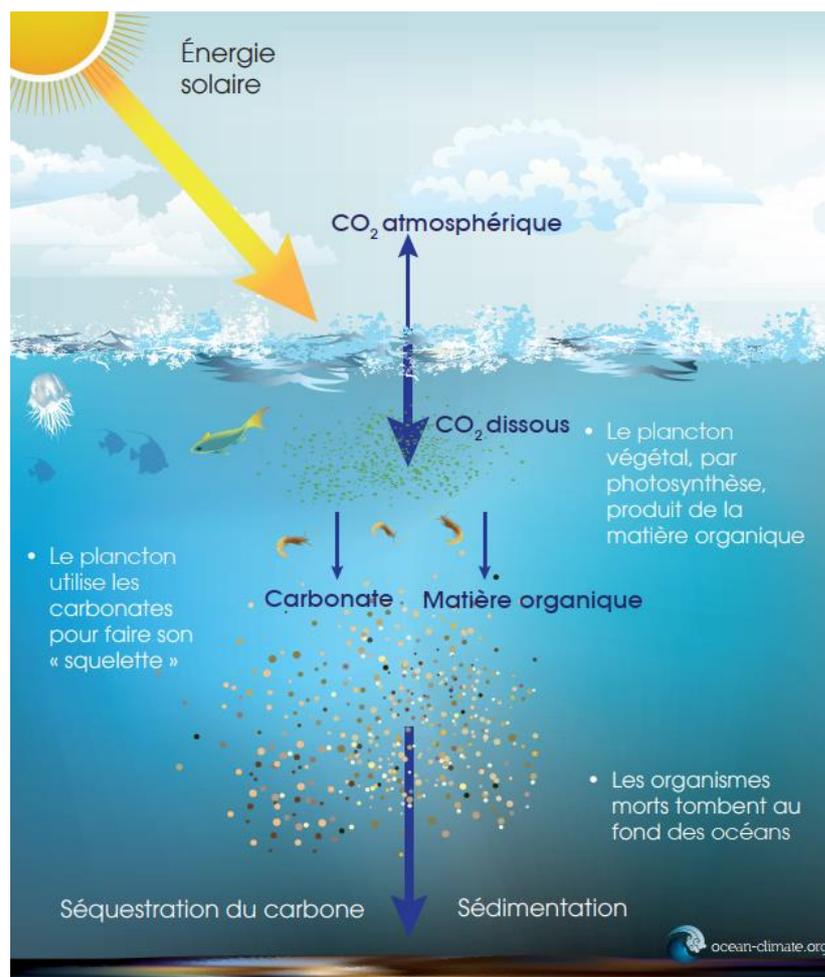


Figure 12 Cycle d'absorption du CO₂ atmosphérique par le plancton, source : www.ocean-climate.org

L'océan joue donc un rôle majeur dans la régulation du climat par sa fonction de pompe à carbone et de producteur d'oxygène grâce au plancton.

I.3.5 La biodiversité marine en Méditerranée

En Méditerranée, on a recensé 10.000 à 12.000 espèces marines (flore et faune), hors la Méditerranée ne représente que 0,8 % de la surface et 0,3 % du volume de l'océan mondial et elle héberge 8 à 9 % de sa biodiversité¹. Actuellement la mer Méditerranée présente les caractéristiques d'une mer tempérée chaude ou subtropicale. De par son histoire, elle n'a jamais eu une faune homogène au niveau spécifique. La mer Méditerranée est caractérisée par la présence de faunes boréo-arctiques, tempérés, subtropicales et tropicales. Sa faune a des affinités

¹ Boudouresque C.F., 1996. *Impact de l'homme et conservation du milieu marin en Méditerranée*. 2ème édition GIS Posidonie Publications (Marseille-France), 243p

avec des espèces de l'atlantique orientale et de l'indopacifique, ainsi que la faune paléo-méditerranéenne¹.

La faune et la flore marine méditerranéenne comportent environ 20 à 30 % d'espèces endémiques (espèces n'existant pas hors de la Méditerranée), 3 à 10 % d'espèces pantropicales (espèces présentes dans toutes les mers chaudes du globe), 55 à 70 % d'espèces atlantiques (espèces présentes dans l'Atlantique et en Méditerranée) et 5 % d'espèces lessepsiennes (espèces entrées en Méditerranée depuis la mer Rouge par le canal de Suez) La faune marine méditerranéenne n'est pas répartie d'une manière équitable entre les différents bassins, où 87 % des espèces recensées sont présentes dans la Méditerranée occidentale, 49 % en adriatique et 43 % en Méditerranée orientale².

I.3.6 La biodiversité marine en Algérie

La côte algérienne abrite une remarquable richesse spécifique en termes de végétaux, d'invertébrés et de poissons (DGE/ISMAL, 2000 ; PNT/ISMAL, 2003 ; PNG/ISMAL, 2003), dont les inventaires systématiques de la faune et de la flore sous-marines ne sont pas encore achevés. Elle présente comme pour l'ensemble du pourtour méditerranéen « un point chaud » de la biodiversité marine³.

On recense 6.488 espèces marines sur la base de travaux réalisés depuis 1893 à nos jours (tableau 1.6.) sur l'ensemble de la côte algérienne. Cette valeur de la diversité spécifique en milieu marin algérien est supérieure aux compilations bibliographiques réalisées par PNUDAlgérie (2005), qui confirme la présence seulement de 3.793 espèces marines sur la côte algérienne⁴.

¹ Contribution à la connaissance de la biodiversité des fonds chalutables de la côte algérienne : les peuplements ichtyologiques des fonds chalutables du secteur oriental de la côte algérienne

² Fredj G., Bellan-Santini D., Meinardi M., 1992. *Etat des connaissances sur la faune marine méditerranéenne. Bulletin Institut Océanographique, Monaco, n.s., 9 : 133-145.*

³ Contribution à la connaissance de la biodiversité des fonds chalutables de la côte algérienne : les peuplements ichtyologiques des fonds chalutables du secteur oriental de la côte algérienne

⁴ DGE/ISMAL, 2000. *Etude de classement des îles Habibas en réserve naturelle. Marché DGE/ISMAL/001/97, 215 p.*

Groupes taxonomiques	Nombre d'espèces
Algues	1297
Phanérogames	4
Invertébrés	4753
Poissons	422
Tortues	3
Mammifères	9

Tableau 1 Nombre total des espèces marines recensées sur la côte algérienne, source : mémoire doctorat, Contribution à la connaissance de la biodiversité des fonds

I.4 Impacts du changement climatique sur la biodiversité marine

Les changements climatiques menacent la diversité biologique, ils ont une incidence sur les périodes de reproduction et la migration par un déplacement des habitats (migration vers le pôle ou en altitude pour les espèces à affinités froides), et sur la durée des phases de croissance, la fréquence des infestations parasitaires et l'apparition de nouvelles maladies, et aussi d'engendrer des modifications de la répartition des espèces et des densités de populations, ainsi un changement de la composition de la majorité des écosystèmes actuels est probable, de même les risques d'extinction d'espèces¹.

Les impacts possibles du changement climatique qui peuvent se produire à l'échelle de l'individu, d'une population, d'une espèce, des communautés, des écosystèmes et des biomes, montrent notamment que les espèces peuvent répondre aux défis du changement climatique.

- **Impacts directs** : par des changements dans le cycle de vie, de reproduction, de croissance, et changement dans la chaîne alimentaire (trophique).

¹ Hughes L., 2000. *Biological consequences of global warming: is the signal already apparent?* **Trends in Ecology and Evolution** 15 : 56-61. Troisième édition. Lausanne, Presse polytechniques et universitaires romandes.

- **Impacts indirects** : par des changements dans l'abondance et de la compétitivité de l'espèce, et changement dans la structure et les fonctions des écosystèmes¹.

I.4.1.1.1 Acidification des océans

Une partie du CO₂ atmosphérique se dissout au contact de l'océan. On le retrouve ensuite dans l'eau sous différentes formes, dont l'acide carbonique. Cette réaction chimique est à l'origine des changements dans les équilibres chimiques de l'eau de mer. Il en résulte, d'une part, une augmentation en ions hydrogène, responsables de l'acidification et, d'autre part, une diminution d'ions carbonates, des éléments essentiels aux végétaux et animaux marins pour fabriquer leurs squelettes et autres structures calcaires².

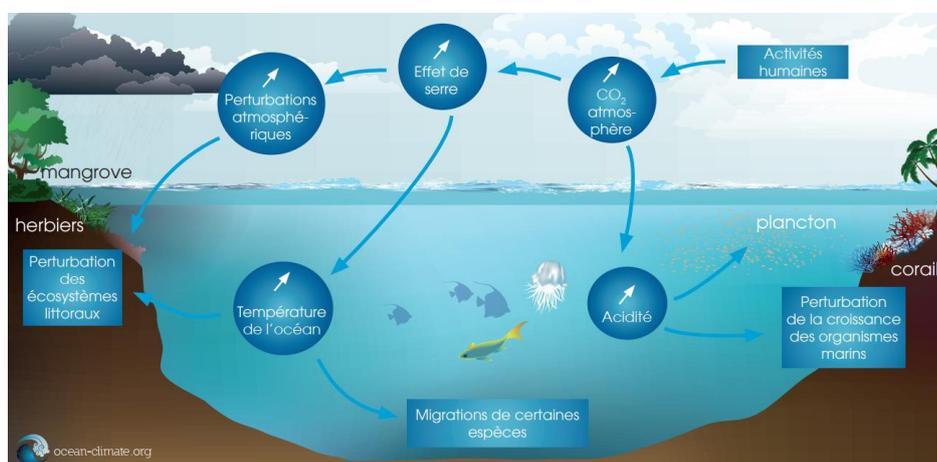


Figure 13 Conséquences de l'augmentation du CO₂ sur les écosystèmes marins, source : www.ocean-climate.com

I.4.1.1.2 Déstabilisation de l'abondance des espèces

La hausse des températures induit des comportements variables selon les espèces. Certaines s'adaptent aux changements de température, d'autres migrent vers les pôles ou vers de nouvelles zones. D'autres encore disparaissent, comme certains coraux qui peuvent blanchir et mourir rapidement par rupture de la symbiose avec les algues unicellulaires qu'ils abritent et qui contribuent à leur nourriture³.

¹ Projet MATE-PNUD-FEM, Février 2015. *Projet MATE-PNUD-FEM, rapport final, Etude diagnostique sur la biodiversité et les changements climatiques en Algérie.*

² www.ocean-climate.org

³ www.ocean-climate.org

I.4.1.1.3 Déstabilisation de la chaîne alimentaire

Les espèces marines ne sont pas affectées de la même façon par le réchauffement climatique et l'augmentation de l'acidité des océans, certaines espèces vont augmenter d'autres diminuer, et cela va perturber les chaînes alimentaires.

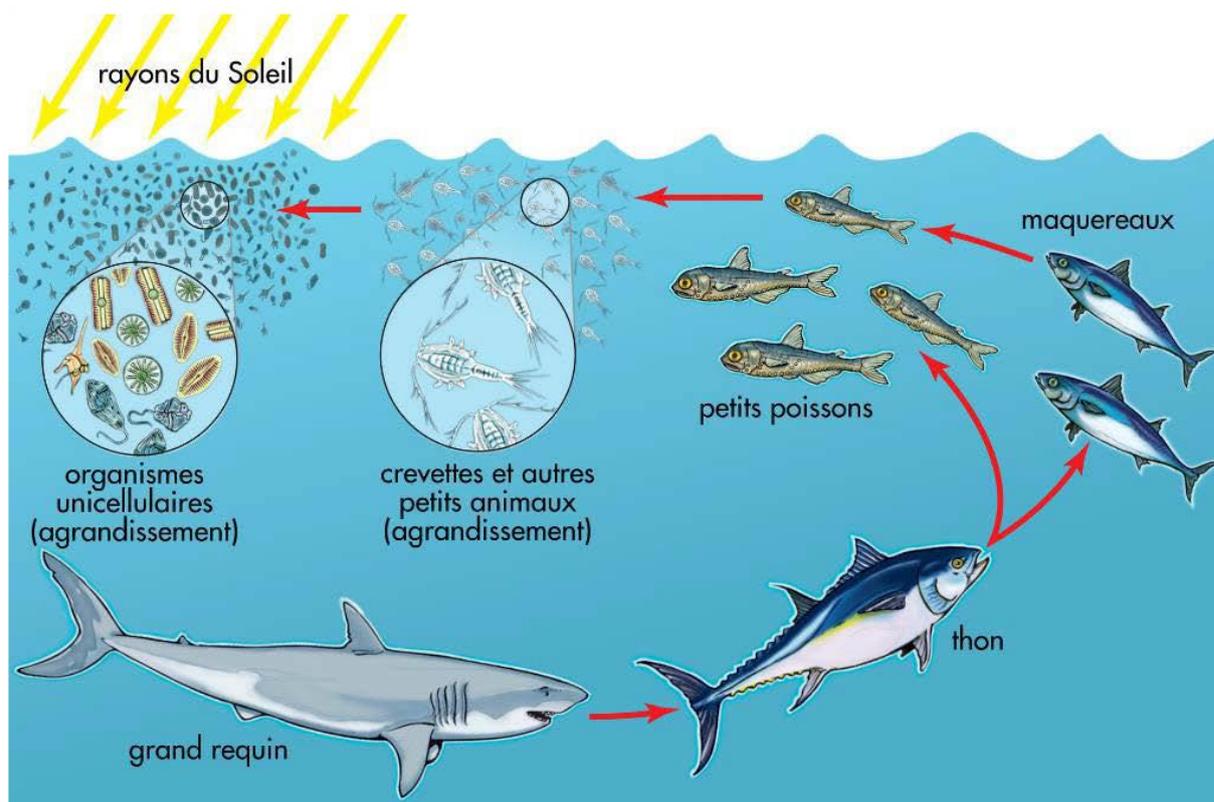


Figure 14 Une chaîne alimentaire marine de bassin Méditerranéen, source : www.lililamouette.com

La surpêche affecte également l'abondance des poissons, et cela combiné aux effets de l'acidification et du réchauffement des océans, à cause de l'augmentation d'acidité des océans, la plupart des organismes qui ont un squelette calcaire, comme les coraux, ou une coquille calcaire comme les moules ou les huîtres ont plus de mal à fabriquer leur squelette ou leur coquille. Les changements de température entraînent des phénomènes de mortalité massive. Le plus connu c'est la mortalité massive des coraux; ces coraux blanchissent et meurent lors de changement de température. On a pu observer ce phénomène en méditerranée en 2003 et 2007, des réchauffements anormaux ont entraîné la mortalité de nombreux coraux¹.

¹ www.atlantico.fr

Conclusion

L'utilisation humaine des énergies fossiles et les modes de production et de consommation qui y sont associées conduisent inévitablement à l'augmentation de la concentration de gaz à effet de serre dans l'atmosphère.

Il est aujourd'hui incontestable que les changements climatiques que subit l'atmosphère terrestre impactent fortement la biodiversité en provoquant des irrégularités de plus en plus perceptibles dans le cycle naturel des écosystèmes marins qui subissent ces changements et le vivent comme une situation de stress aigu. C'est ce qui explique toutes les anomalies observées dans le comportement des espèces marines.

II. ARCHITECTURE SOUTENABLE ET PROTECTIONS DES ECOSYSTEMES MARINS

Introduction

L'être humain, depuis les siècles passés a pris l'habitude de s'installer près des points d'eaux et les océans, non seulement pour les ressources nutritives qu'il peut en tirer, mais aussi pour la qualité environnementale qu'il prodige. C'est ce qui explique l'état actuel ou on enregistre les plus fortes densités de populations dans les zones côtières.

La biodiversité que regroupe les océans se trouve être menacé essentiellement par l'activité humaine que ce soit d'une façon directe (déchets, surpêche), ou d'une façon indirecte (changement climatique). Ce qui rend l'encadrement des activités humaine une nécessité absolue dans le but de protéger les écosystèmes marins.

II.1 Développement durable

II.1.1 Définition

Selon la définition que l'**Organisation des Nations Unies** en a donnée en 1987 dans le rapport Brundtland, est un « **développement qui répond aux besoins du présent sans compromettre la capacité des générations futures à répondre à leurs propres besoins** ». A cette fin, le développement durable vise à prendre en compte, outre l'économie, les aspects environnementaux et sociaux dans une vision à long terme¹.

¹ www.wikipedia.org

II.1.2 Historique du développement durable

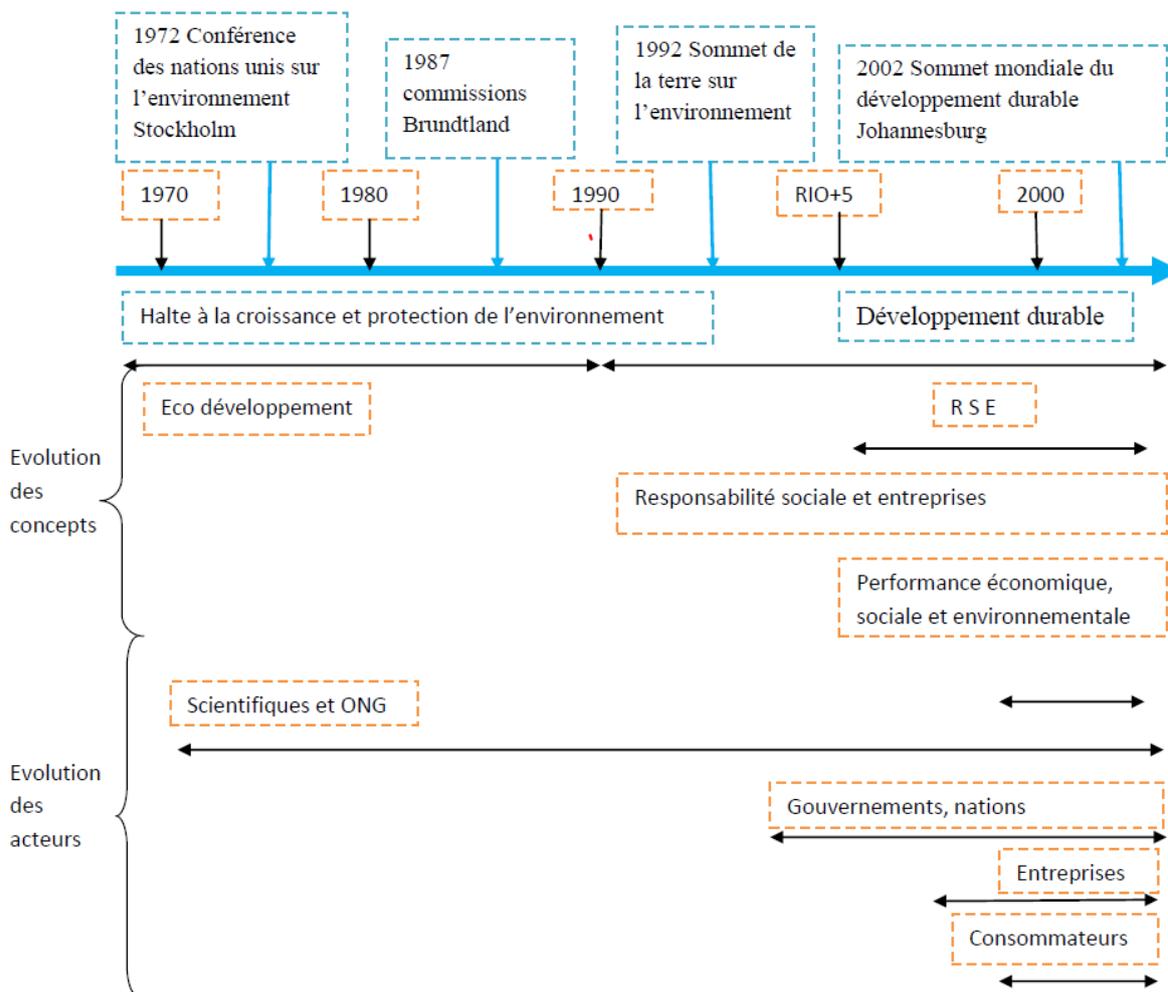


Figure 15 Shéma illustrant l'histoire du développement durable, source : www.techno-science.net

II.1.3 Les piliers du développement durable

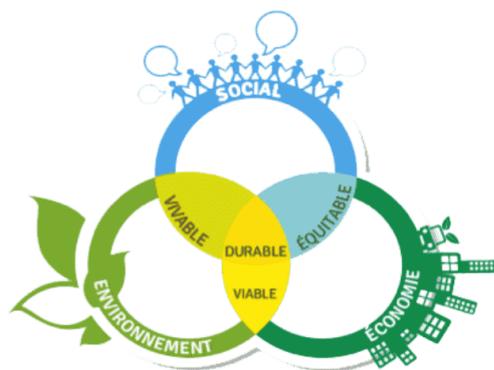


Figure 16 Les piliers du développement durable, source : www.alsbom.fr

- **Environnemental** : préserver l'intégrité environnementale, respecter les écosystèmes en place, garantir la mise en œuvre de dispositifs écologiquement sains.
- **Social** : favoriser l'équité sociale entre les individus, les générations, faciliter l'accès à l'éducation, à l'emploi, aux soins, au logement. À la qualité de vie.
- **Économique** : améliorer l'éco-efficience par une saine gestion des ressources allouées à la satisfaction des populations, responsabiliser les entreprises et les citoyens au regard des biens qu'ils produisent et qu'ils consomment¹.

II.1.4 Les disciplines du développement durable

II.1.4.1 L'architecture écologique

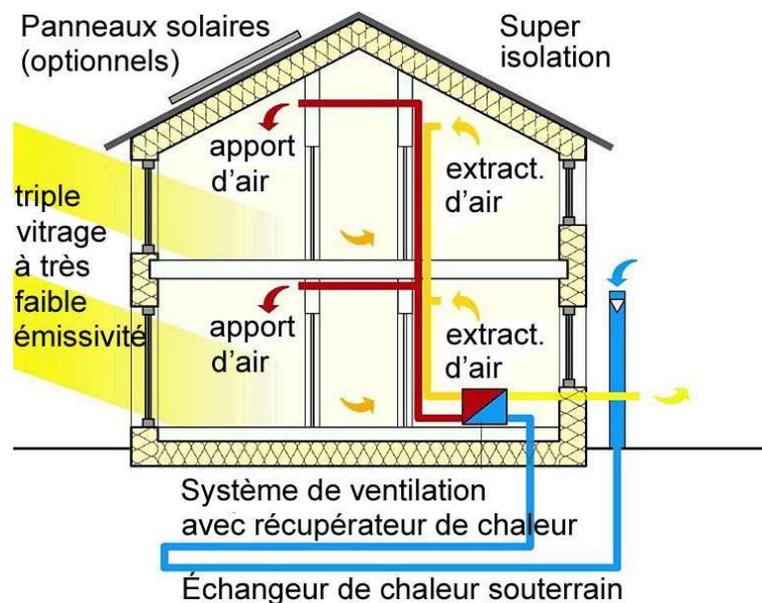


Figure 17 La maison passive standard, source : www.futura-sciences.com

L'architecture écologique (ou architecture durable) est un mode de conception et de réalisation ayant pour préoccupation de concevoir une architecture respectueuse de l'environnement et de l'écologie.

Il existe de multiples facettes de l'architecture écologique, certaines s'intéressant surtout à la technologie, la gestion, ou d'autres privilégient la santé de l'homme, ou encore d'autres, plaçant le respect de la nature au centre de leurs préoccupations².

¹Mémoire de master L'Océanographie et le tourisme aquarium d'Oran

² www.techno-science.net

- On peut distinguer plusieurs « lignes directrices » :
- Le choix des matériaux, naturels et respectueux de la santé de l'homme,
- Le choix de la disposition des pièces (par exemple) pour favoriser les économies d'énergie en réduisant les besoins énergétiques,
- Le choix des méthodes d'apports énergétiques,
- Le choix du cadre de vie offert ensuite à l'homme (jardin...)

II.1.4.2 L'architecture organique

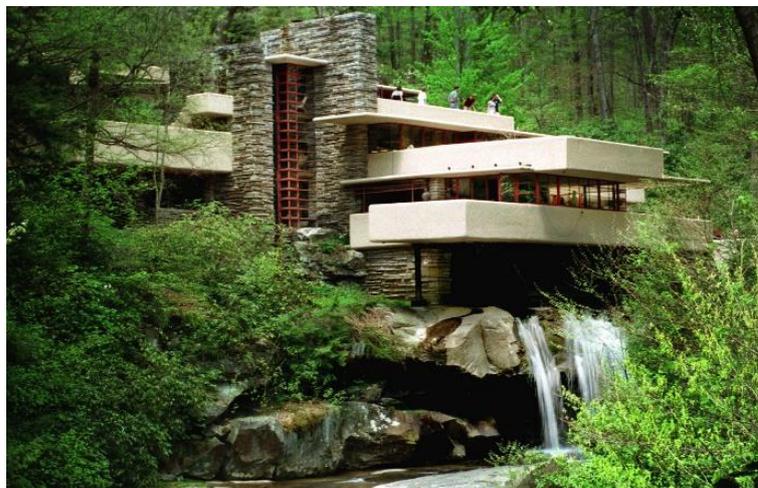


Figure 18 La maison de la cascade de Frank Lloyd, source : www.share.america.gov

C'est une architecture qui s'intéresse à l'harmonie entre l'habitat humain et le monde « naturel » qui s'intéresse à l'harmonie entre l'habitat humain et le monde « naturel » au moyen d'une approche conceptuelle à l'écoute de son site et intégrée à lui, faisant du bâtiment et de son mobilier une composition unifiée et intriquée à son environnement.

II.1.4.3 L'architecture bioclimatique

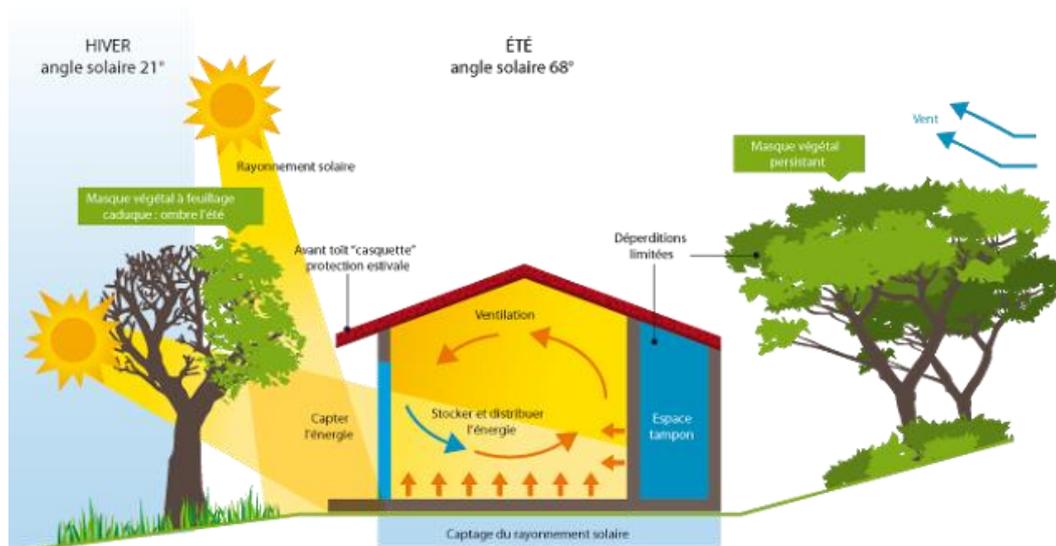


Figure 19 Les principes de bases d'une conception bioclimatique, source : www.e-rt2012.fr

C'est une discipline de l'architecture qui tire le meilleur parti des conditions d'un site et de son environnement. Une discipline de l'architecture qui tire le meilleur parti des conditions d'un site et de son environnement, pour une architecture naturellement la plus confortable pour ses utilisateurs». La conception bioclimatique a pour objectif d'obtenir des conditions de vie, confort d'ambiance, d'adéquats et agréables (températures, taux d'humidité, insalubrité, luminosité, etc..) de manière la plus naturelle possible, en utilisant avant tout des moyens architecturaux, les énergies renouvelables disponibles sur le site (énergie solaire, géothermique, éolienne, et plus rarement l'eau), et en utilisant le moins possibles les moyens techniques mécanisés et le moins d'énergies extérieures au sites.» Elle regroupe différentes appellations d'architectures ou de constructions spécialisées tel que: Solaire (captage d'Énergie)¹.

II.1.5 Les principes du développement durable

La Loi sur le développement durable définit 16 principes qui doivent être pris en compte par l'ensemble des ministères et des organismes publics dans leurs interventions. Ces principes sont en quelque sorte un guide pour agir dans une perspective de développement durable. Ils reflètent d'une manière originale les principes de la Déclaration de Rio sur l'environnement et le développement, un texte fondamental qui affirme un engagement à l'échelle internationale pour le développement durable².

¹ www.etudier.com

² www.environnement.gouv.qc.ca

Le développement durable prône un ensemble de principes, en constituant sa charte :

- **La solidarité** : dans le temps et dans l'espace.
- **La gestion intégrée** : gestion globale qui tient compte de toutes les relations et interactions existant entre les systèmes.
- **La transversalité et globalité.**
- **La gouvernance** : implique des approches rationnelles de la décision, basées sur des indicateurs et des évaluations.
- **Démocratie participative.**
- **Le long terme** : réflexion des actions et projets sur échéance stratégique, autant opérationnel du court terme.
- **La subsidiarité** : principe de travail à l'échelon de décision le mieux approprié pour agir efficacement en faveur de l'intérêt général.
- **La précaution** : maintien d'un certain nombre d'options possibles ouvertes lorsque subsiste un doute ou une incertitude.
- **La prévention** : choix des solutions limitant au minimum les impacts.
- **La responsabilité** : engagement global et universel qui renvoie à la responsabilité individuelle et locale.

II.1.6 Les objectifs du développement durable :

- **Améliorer l'équité sociale** (satisfaction des besoins essentiels, améliorer leur qualité de vie, libertés de la personne et à la participation).
- **Améliorer l'efficacité économique** (favoriser une gestion optimale des ressources humaines, naturelles et financières).
- **Maintenir l'intégrité de l'amélioration de l'environnement** (qui repose sur la responsabilité, la prévention et la précaution).
- **Gouvernance** (portant la démocratisation des modes de décision et de participation, démocratisation des modes de prise décision, de gestion, et de contrôle).

II.1.7 L'architecture et le développement durable

Le souci premier de L'architecture était de satisfaire les besoins premiers du plus grand nombre, de les faire vivre dans un cadre harmonieux, une ville humaine, des transports rapides et économiques, dans de vastes espaces de nature vierge Alors on inventa l'Architecture Durable!! Comme si les constructions projetées n'étaient pas faites pour "durer"-(Coté architecture, nous aurions bien aimé que certaines de ces constructions ne durent que l'espace d'un matin!). Hélas, 50 ans après, elles "durent" toujours, polluant Irrémédiablement notre paysage.

Pris dans le tourbillon médiatique du Développement Durable, les architectes ne pouvaient faire autrement que se joindre au chœur des chantres de l'Ecologie. Une mode chassant l'autre, celle là était la bienvenue pour distraire l'opinion des recherches hasardeuses et contestables engagées depuis une dizaine d'années pour complaire aux Béotiens, nouveaux riches, à grands coups de gesticulations, d'acrobaties et de trouvailles techniques¹.

II.2 L'Architecture bioclimatique :

II.2.1 Définition :

Architecture bioclimatique Se réfère à la conception de bâtiments tenant compte des conditions climatiques locales et visant à fournir un confort thermique, acoustique et visuel grâce à l'énergie solaire et à d'autres ressources naturelles. Les éléments de base de l'architecture bioclimatique sont les systèmes de chaleur passive incorporés à la structure et utilisant les sources environnementales comme le soleil, l'air, le vent, l'eau, la terre et la végétation pour chauffer, rafraîchir et illuminer les bâtiments².

II.2.2 Le but de l'architecture bioclimatique :

- Une implantation favorable, une inertie bien étudiée, la réalisation d'espaces tampons, l'utilisation maximum des apports gratuits de chaleur solaire et de lumière, une ventilation contrôlée, permettent de réduire les besoins énergétiques et la

¹ Le Développement Durable et l'Architecture Durable, Pierre Neema Architecte DPLG

² Architecture en 30 secondes Edward Denison, Marie-Noëlle Antolin

consommation de combustibles polluants tout en apportant un confort thermique, respiratoire et visuel.

- La conservation de la biodiversité, protection des milieux et des ressources¹.

II.2.3 Les principes de l'architecture bioclimatique :

- **L'implantation:** Le terrain sur lequel le bâtiment est construit: la pente, son exposition au vent mais aussi son altitude et bien sur son climat

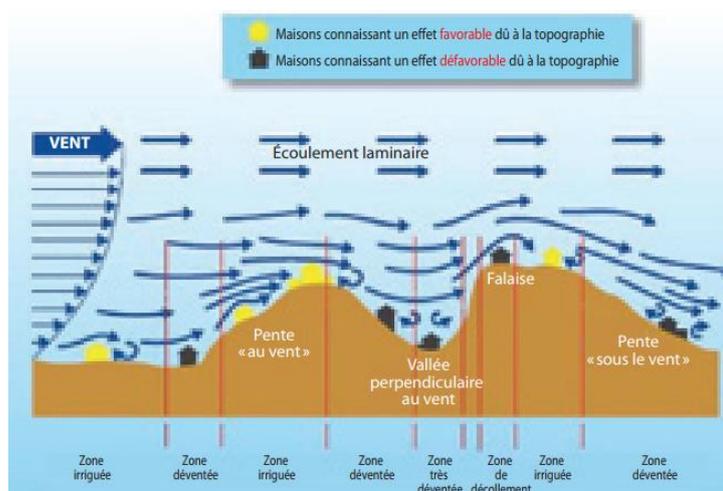


Figure 20 Effet de la topographie , source : L'architecture bioclimatique - Fiche PRISME Technical Report - January 2008

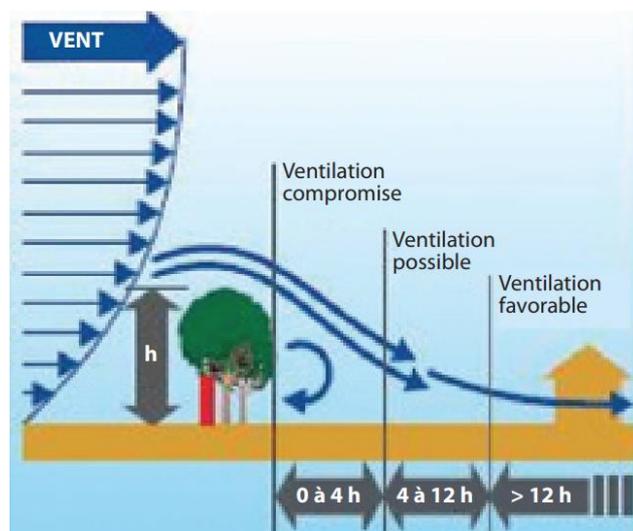


Figure 21 Effet d'un obstacle sur le potentiel de ventilation, source : L'architecture bioclimatique - Fiche PRISME Technical Report - January 2008

¹ Le bioclimatisme - APERE

- **L'orientation** : Une attention sera portée à l'orientation du bâtiment : Givoni, définit « l'orientation d'un bâtiment par la direction vers laquelle sont tournées ces façades. Ce facteur est soumis à de nombreuses considérations, telles que la vue, les déperditions possibles, l'aération et la nature du climat »
- **L'ensoleillement** : Elles dépendent de la position du soleil qui change selon les saisons et déterminent les apports solaires. L'exposition du bâtiment, l'orientation des pièces intérieures, l'emplacement des fenêtres et la végétation doivent être déterminés en fonction de l'ensoleillement. L'été, le soleil se situe haut dans le ciel et la journée solaire est longue, alors que pendant l'hiver le soleil est bas et reste visible moins longtemps.



Figure 22 Illustration des masques solaires, source : google image

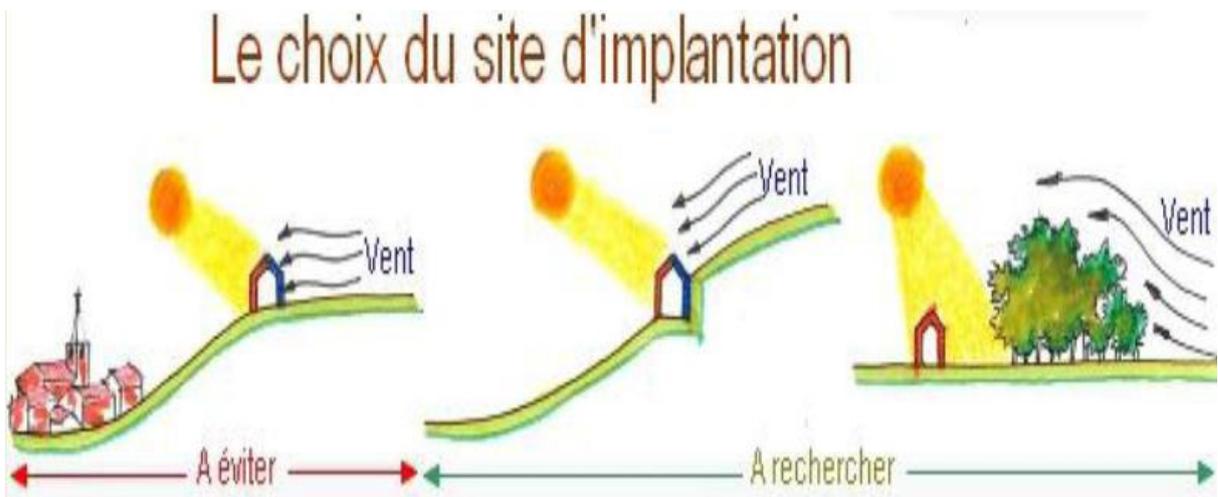


Figure 23 Illustration de l'impacte de l'implantation, source : google image

- **Le vent** : engendre des déperditions thermiques importantes sur les façades exposées. Une maison peut s'en protéger à l'aide du relief du terrain, de la végétation, des maisons avoisinantes, mais également grâce à sa forme.

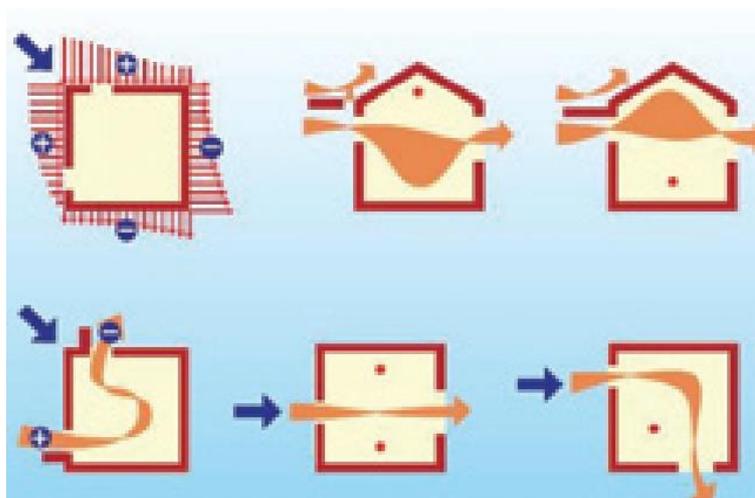


Figure 24 Ventilation naturelle, source : L'architecture bioclimatique - Fiche PRISME Technical Report · January 2008

- **Des formes compactes** : Minimiser les surfaces en contact avec l'extérieur (limitent les déperditions énergétiques et optimisent la répartition de la chaleur).

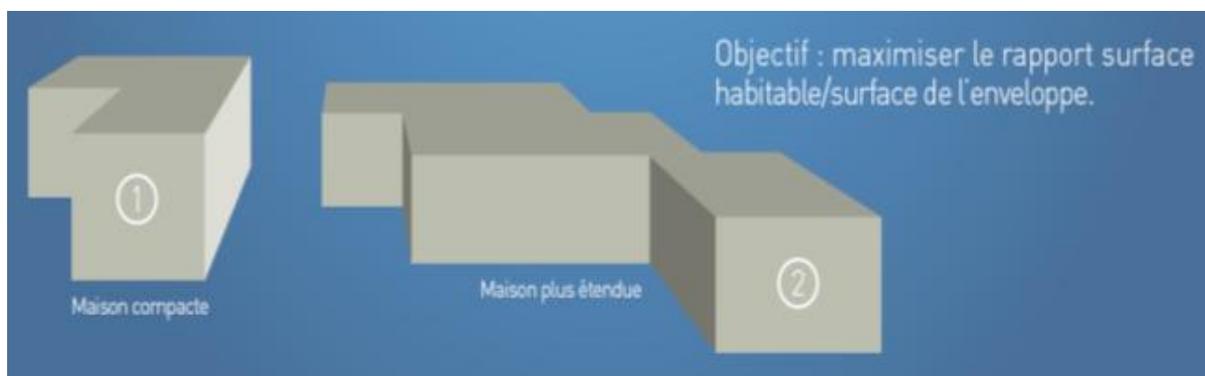


Figure 25 illustration de la compacité de la forme, source google image

- **Des zones tampons** : Les espaces peu ou non chauffés (garage, cellier) du côté Nord se comportent comme une isolation thermique, vérandas sous forme d'annexe vitrées adossées au côté Sud privilégient l'effet de serre.

SE PROTÉGER DES VENTS DOMINANTS

CAPTER LE SOLEIL

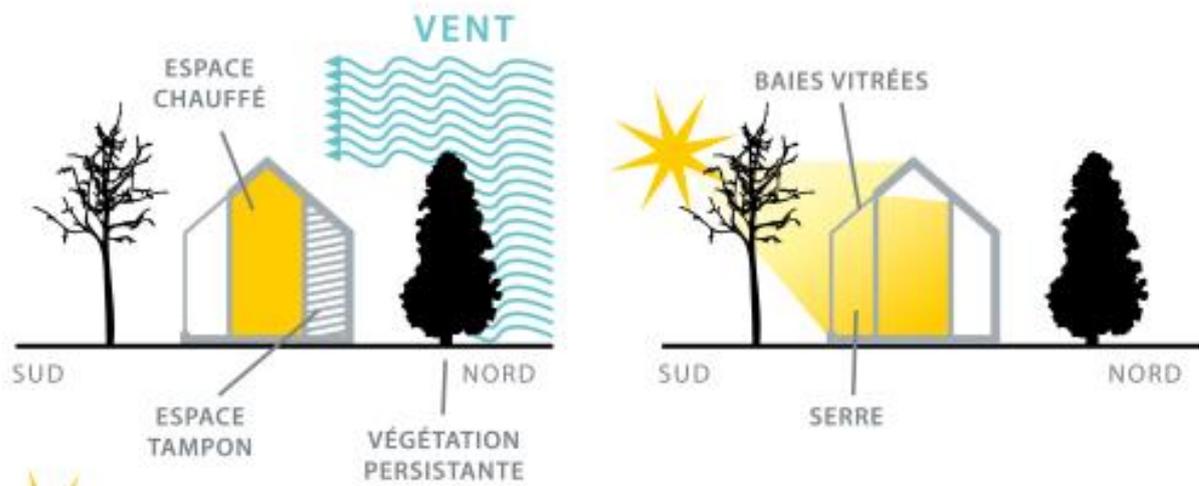


Figure 26 Illustration des zones tampons, source : google image

- **Protections solaires** : Les dispositifs de protections solaires ont pour but de minimiser les surchauffes et de contrôler l'éblouissement, fixes ou mobiles "casquette" bien dimensionnées évitent la surchauffe estivale mais laisse pénétrer le soleil hivernal.
- **Des matériaux adéquats** : L'utilisation de matériaux qui respirent (non étanches), tels que bois non verni, peinture et revêtement microporeux, chanvre, liège, etc., assurent la régulation de l'humidité du logement et contribuent au confort.
- **Une forte inertie thermique** : Isolation par l'extérieur. Les matériaux de forte inertie, qui fonctionnent comme des masses d'accumulation de chaleur, servent à retenir l'énergie incidente reçue pendant la journée pour la restituer la nuit (béton, pierre)
- **Des capteurs thermiques et énergétiques**: souvent sur le toit pour un maximum de captage à fin de couvrir une partie des besoins de la construction.
- **Un chauffage performant** : Un chauffage à basse température (chaleur douce), notamment par le sol, associé à une régulation performante, contribue à limiter la consommation d'énergie.

- **La couleur :**

- Utiliser des revêtements de sol clairs, ou végétaux
- Utiliser des revêtements des murs et du toit clairs pour diminuer les flux solaires absorbés ou les couvrir de végétation, Isoler les toits.

- **les ouvertures :**

En règle générale, dans l'hémisphère nord, on propose :

- Une maximisation des surfaces vitrées orientées au Sud, protégés du soleil estival par des casquettes horizontales,
- Une minimisation des surfaces vitrées orientées au Nord. En effet, les apports solaires sont très faibles et un vitrage sera forcément plus déprédatif qu'une paroi isolée,
- Des surfaces vitrées raisonnées et réfléchies pour les orientations Est et Ouest afin de se protéger des surchauffes estivales. Par exemple, les chambres orientées à l'ouest devront impérativement être protégées du soleil du soir.

- **L'isolation de l'enveloppe :**

Lors de la conception des bâtiments (logements , équipements , hôtels, autres ...) , le problème des déperditions thermiques doit être pris sérieusement en considération .

Il existe plusieurs types de déperditions qui sont : les déperditions par les parois (mur et toitures), Les déperditions par les vitrages, Les déperditions par les différents menuiseries et par renouvellement d'air, Les déperditions linéiques qui dépendent des modes de construction du bâtiment (ponts thermiques ; dalle, mur, menuiserie, poutres...).

II.2.4 Les énergies renouvelables :

Les énergies renouvelables englobent toutes les énergies inépuisables qui depuis toujours nous viennent du soleil, directement sous forme de lumière et de chaleur, ou indirectement par les cycles atmosphériques et la photosynthèse. Le soleil dispense un rayonnement électromagnétique qui constitue notre source lumineuse et thermique ¹.

L'énergie est un facteur important a prendre en considération lors de la conception d'un projet « écologique », dans un soucis de préservation de la biodiversité d'une manière indirecte,

¹ Intégration des systèmes solaires photovoltaïques dans le bâtiment : Approche architecturale M. BENAMRA Mostefa Lamine

l'utilisation d'énergie verte qui n'implique pas le rejet de déchet ou la dégradation de l'environnement permet non seulement de préserver la faune et la flore mais également d'amortir au maximum les dépenses énergétique du bâtiment surtout dans le cas présent « Aquarium ».

Il existe plusieurs types d'énergie renouvelable exploitable dans le monde selon la localisation et chacune présente des facteurs d'optimisation différents selon le type de projet.

- **L'énergie de La *biomasse***
- **L'énergie hydraulique**
- **L'énergie géothermique**
- **L'énergie éolienne**
- **L'énergie solaire**

II.2.4.1 L'énergie solaire photovoltaïque :



Figure 27 Panneaux photovoltaïque, source : www.monchauffageelectrique.com

Produire de l'électricité solaire n'est plus, depuis longtemps, une utopie. *Des toits solaires* ayant une puissance de quelques kilowatts jusqu'aux centrales de quelques mégawatts, tous *ces installations contribuent a un approvisionnement en énergie respectueux de l'environnement* et grâce a leur souplesse, recèlent d'énormes potentiels pour le secteur de *l'énergie*. Aussi avec les

centrales héliothermiques, il est possible d'utiliser l'énergie du soleil à l'échelle industrielle pour la production d'électricité (*grâce à la transformation du rayonnement solaire en chaleur*)¹.

L'énergie solaire est inépuisable, gratuite et non polluante et même si l'énergie solaire reçue par la terre est d'intensité variable, intermittente et peu dense, son utilisation offre de *nombreuses possibilités*. Parmi ses nombreuses applications, on distingue le solaire thermique qui transforme le rayonnement solaire en chaleur et le solaire photovoltaïque qui convertit la lumière en électricité ¹.

II.2.4.2 L'énergie hydraulique :



Figure 28 Illustration d'un barrage, source : google image

L'énergie hydraulique est l'énergie fournie par le mouvement de l'eau, sous toutes ses formes : chutes d'eau, cours d'eau, courants marin, marée, vagues¹. Ce mouvement peut être utilisé directement, par exemple avec un moulin à eau, ou plus couramment être converti, par exemple en énergie électrique dans une centrale hydroélectrique ².

¹ ARCHITECTURE ET EFFICACITE ENERGETIQUE DES PANNEAUX SOLAIRES CAS D'EUDE : SIMULATION SOUS TRNSYS16.1 D'UN APPARTEMENT D'UNE TOUR MULTIFONCTIONNELLE A CONSTANTINE

² www.wikipedia.org

L'énergie hydraulique est en fait une énergie cinétique liée au déplacement de l'eau comme dans les courants marins, les cours d'eau, les marées, les vagues ou l'utilisation d'une énergie potentielle comme dans le cas des chutes d'eau et des barrages ².



Figure 29 Illustration d'une coupe sur le barrage de la Rance, source : google image

Les méthodes d'évaluation :

Solidworks :

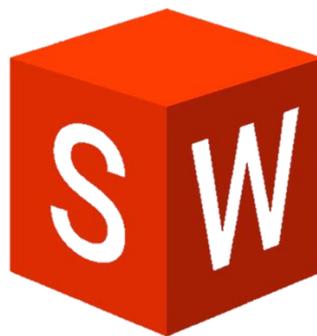


Figure 30 Logo du logiciel Solidworks, source : google image

SOLIDWORKS est un logiciel propriétaire de **conception assistée par ordinateur 3D** fonctionnant sous Windows ¹.

¹ www.wikipedia.org

Créé en 1993 par l'éditeur américain éponyme, SOLIDWORKS est racheté le 24 juin 1997 par la société Dassault Systèmes¹.

Parmi les plus grandes organisations utilisant SOLIDWORKS, on peut citer **Franckie, Équipement d'emballage MMC, AREVA, Patek Philippe, Mega Bloks, Axiome, ME2C, SACMO, Le Boulch, Robert Renaud, Lorenz Baumer⁴, l'Opéra de Paris⁴, Jtekt⁴, GTT⁴ et dans les collèges et lycées français¹.**

SOLIDWORKS est un modelleur 3D utilisant la **conception paramétrique**. Il génère 3 types de fichiers relatifs à trois concepts de base : la pièce, l'assemblage et la mise en plan. Ces fichiers sont en relation. Toute modification à quelque niveau que ce soit est répercutée vers tous les fichiers concernés¹.

Un dossier complet contenant l'ensemble des relatifs à un même système constitue une **maquette numérique**. De nombreux logiciels viennent compléter l'éditeur SOLIDWORKS. Des utilitaires orientés métiers (tôlerie, bois, BTP...), mais aussi des applications de simulation mécanique ou d'image de synthèse travaillent à partir des éléments de la maquette virtuelle¹.

La fonction de simulation d'écoulement des eaux :

SOLIDWORKS® Flow Simulation est une solution intuitive de calcul de dynamique des fluides (CFD) intégrée au logiciel de CAO 3D SOLIDWORKS vous permettant de simuler rapidement et facilement les écoulements de liquide et de gaz à l'intérieur et autour de vos conceptions afin de calculer les performances et fonctionnalités des produits.

II.3 L'architecture face a la biodiversité marine

II.3.1 L'impact de l'architecture sur la biodiversité :

Le secteur construction/immobilier est l'un des plus concernés par l'environnement : ses impacts sont multiples (consommation énergétique – émissions de gaz à effet de serre qui contribuent lourdement à l'érosion des espèces –, infrastructures – destruction, fragmentation ou altération des habitats et des continuités écologiques –, gestion des espaces verts – introduction d'espèces invasives, utilisation d'intrants chimiques –, etc.). Or, de leur

construction à leur démentiement éventuel, les immeubles ont un impact sur l'équilibre des espèces et de leurs habitats ¹.

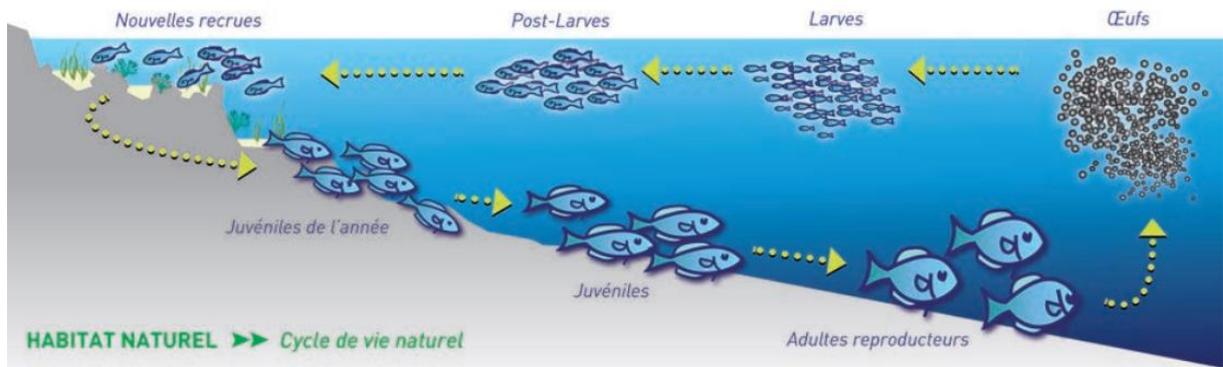


Figure 31 Habitat naturel sans infrastructures artificielles, source : L'architecture face à la biodiversité Caroline Rainette

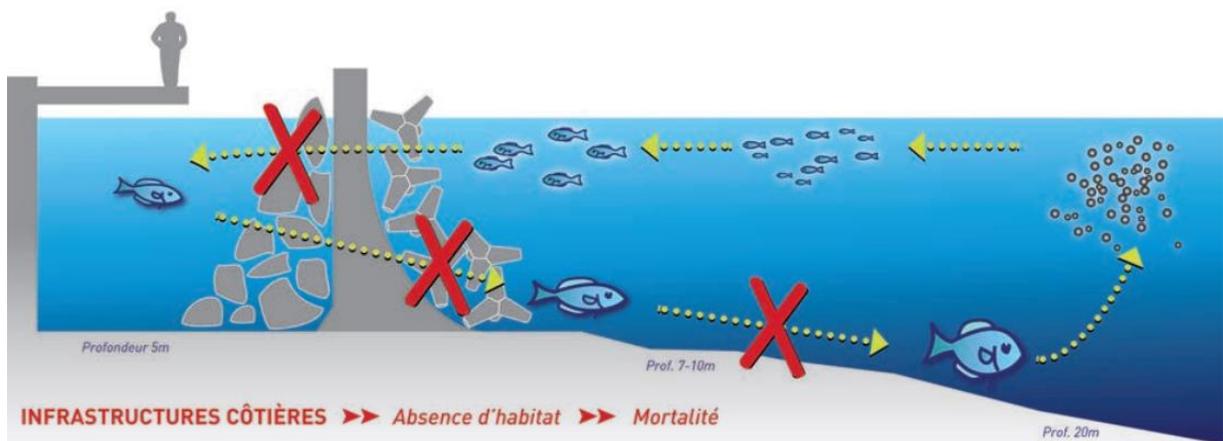


Figure 32 Perturbation de l'habitat naturel a cause des infrastructures côtières, source : L'architecture face à la biodiversité Caroline Rainette

En général, les caractéristiques des ouvrages maritimes entravent les déplacements d'espèces et ne permettent pas la constitution d'habitats favorables à la survie et au développement des larves et juvéniles, ce malgré leur attraction naturelle pour ces zones côtières abritées.

¹ L'architecture face à la biodiversité Caroline Rainette page7

II.3.2 Les échelles d'interventions :

De nombreux travaux de recherche actuels concluent à la nécessité absolue de concilier conception des ouvrages, économie des projets et design favorable à une biodiversité choisie¹. Les axes de recherche proposés sont larges :

- En premier lieu, à **l'échelle macroscopique**, ils ont trait à l'implantation et à la conception globale des ouvrages. En effet, différents travaux mettent en lumière l'aspect favorable de géométries irrégulières et hétérogènes², ou encore d'aménagements spécifiques au sein des ouvrages³. Enfin, à cette échelle, les partis pris architecturaux influencent directement la colonisation par certains organismes vivants⁴.
- En deuxième lieu, **l'échelle de l'interface entre l'ouvrage et le milieu naturel** est également investiguée. Certains chercheurs ont mis en évidence l'importance des propriétés physico-chimiques de surface des ouvrages⁵ : rugosité⁶, porosité⁷, couleurs des supports⁸, propriétés chimiques de surface des matériaux⁹.
- Enfin, la question de **la composition du matériau** en lui-même est à considérer¹⁰. Certains auteurs proposent des bétons améliorés comme¹¹, ou bien l'emploi de matériaux bio-sources comme proposé par MORRIS *et al.* (2017).

II.3.3 Le béton comme matériau sauveur de la biodiversité marine :

Le matériau béton, largement utilisé pour les ouvrages à la mer, est reconnu comme résistant, durable et favorable à l'installation de la biodiversité. En effet, une fois immergé, il subit une colonisation spontanée par des organismes opportunistes, ubiquistes, primo-colonisateurs : biofilm bactérien suivi d'algues unicellulaires puis avec le temps d'organismes plus complexes (bivalves, vers en tubes, tuniciers, hydres ...) ¹².

¹ PIOCH *et al.* 2018

² LUCKHURST & LUCKHURST, 1978 ; PAIS *et al.*, 2013

³ BULLERI & CHAPMAN, 2010 ; FIRTH *et al.*, 2013

⁴ ROUANET *et al.*, 2015

⁵ TRAN *et al.*, 2012 ; STRAIN *et al.*, 2018

⁶ MCGUINNESS & UNDERWOOD, 1986 ; PIOCH *et al.*, 2015 ; COOMBES *et al.*, 2015

⁷ GUILBEAU *et al.*, 2003

⁸ DONG *et al.*, 2010 ; PIOCH *et al.*, 2011

⁹ GUILBEAU *et al.*, 2003 ; LEE *et al.*, 2008 ; MANSO *et al.*, 2014

¹⁰ ANDERSON & UNDERWOOD, 1994 ; ANDERSSON *et al.*, 2009 ; GIANNANTONIO *et al.*, 2009

¹¹ DEVILLERS *et al.*, 2009 ; PERKOL-FINKEL & SELLA, 2014 ; CUADRADO-RICA *et al.*, 2015 ; SOUCHE *et al.*, 2016

¹² L'écoconception maritime : une révolution pour les maitres d'ouvrages, Marie SALGUES 1, Sylvain PIOCH 2, Jean-Claude SOUCHE 1, Klaartje DE WEERDT

L'utilisation d'un béton durable se présente donc comme une solution de préservation de la biodiversité marine pour son attitude à pouvoir être un support de la biodiversité, et donc favorisant la création ou la recréation d'habitats d'écosystèmes marins.

Cependant, pour garantir sa fonction de préservation de la biodiversité marine, le matériau utilisé doit offrir deux niveaux d'actions :

- **En surface** qui est l'interface avec le milieu naturel doit être étudié pour répondre à des objectifs environnementaux (support pour les espèces, création d'habitat et des fonctions écologiques) et ce notamment en jouant sur la texture et la rugosité du matériau en question.
- **Dans la masse**, le matériau doit prioriser la résistance et les exigences de durabilité

On peut citer comme exemple de béton durable **le béton biosourcé** :



Figure 33 Béton biosourcé, source : www.infociments.fr

Qui dit « biosourcé » dit « biomasse », d'origine végétale ou animale. Cette biomasse va se substituer pour tout ou partie aux granulats minéraux dans la formulation du béton. Les principales matières végétales utilisées dans les formulations de béton sont les fibres de bois, la chènevotte de chanvre, le miscanthus, le lin, mais des expérimentations sont également conduites pour intégrer des balles de riz, du colza, du bambou... La biomasse végétale peut également provenir d'une transformation : la ouate de cellulose est issue de la récupération de papiers

recyclés désancrés, et le tissu (chutes de l'industrie textile ou vêtements recyclés) est défibré pour être intégré comme granulats¹.

II.3.4 Exemples d'utilisation du béton dans la protection des écosystèmes marins :

- **Les casiers Panal pour des récifs alvéolés (ILE DE LA REUNION) :**

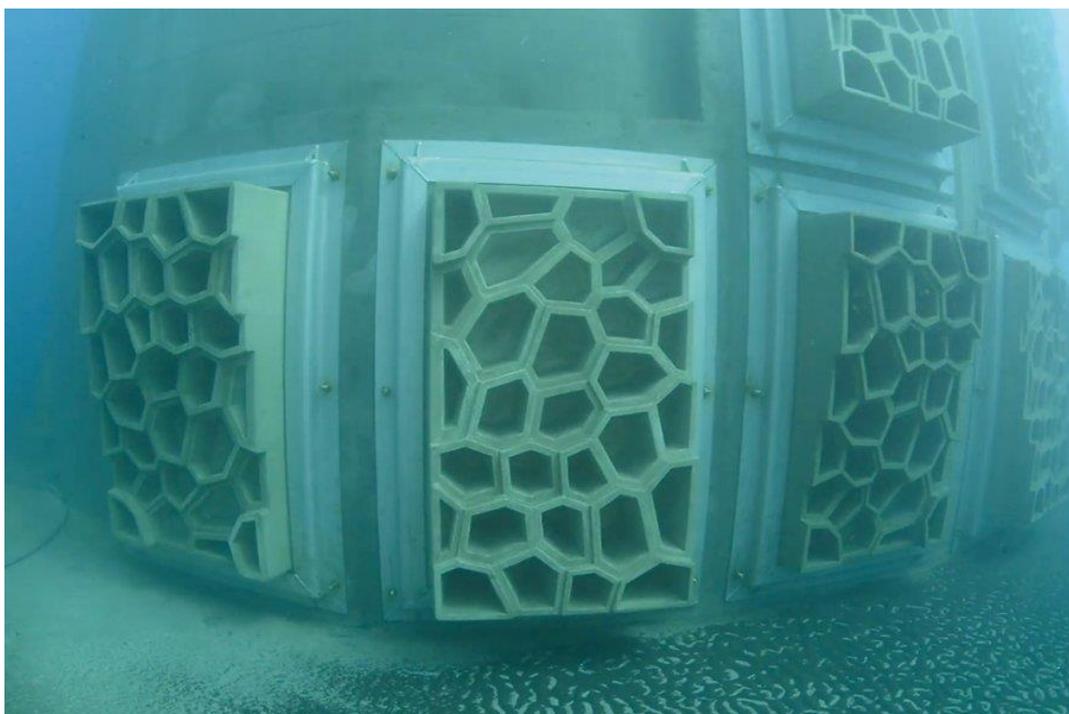


Figure 34 Les casiers Panal pour des récifs alvéolés, source : www.infociments.fr

Une année d'étude et de mise au point a été nécessaire pour répondre aux contraintes locales hors normes, notamment une probabilité de « vague centennale » et des cyclones. Les casiers sont ainsi conçus pour résister à des pressions de plus de 10 tonnes par mètre carré, correspondant à l'impact d'une vague de 13 m de haut².

« Les modules de 1,5 m de haut et 1 m de large sont alvéolés en nids d'abeilles, mais leur forme est très complexe et non linéaire, avec 1 200 faces », détaille **Étienne Clamagirand**. En effet, le Panal est constitué d'alvéoles hexagonales toutes différentes, tant en surface qu'en forme : certaines sont aplaties, d'autres sont petites et légèrement arrondies, et pour compliquer la tâche des concepteurs du moule, l'architecte a dessiné un casier avec des profondeurs diverses (de 15 à 40 cm), pour une épaisseur de béton très fine, moins de 2 cm.

¹ www.infociments.fr

² www.infociments.fr

- **Le projet REXCOR avec du béton Biogène (LES CALANQUES) :**

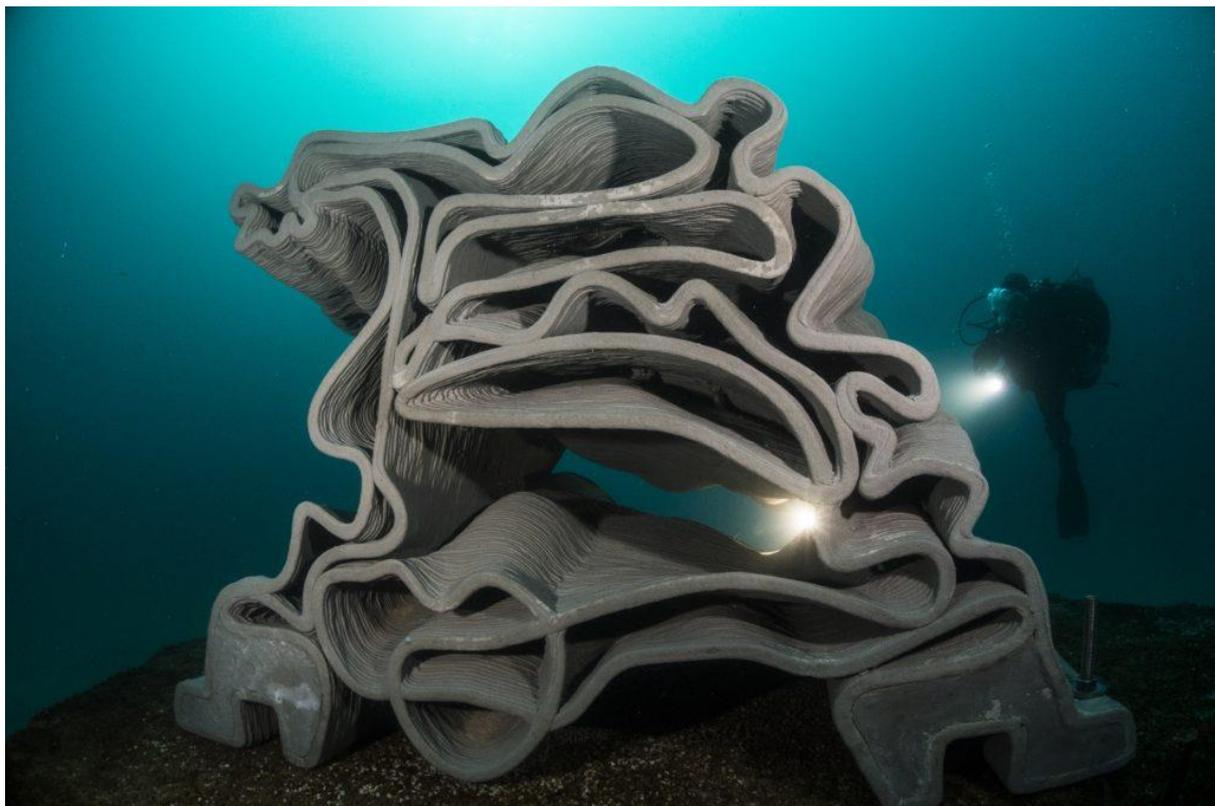


Figure 35 Le projet REXCOR avec du béton Biogène (LES CALANQUES), source : www.infociments.fr

La zone maritime du Parc National des Calanques a été confrontée dans le passé à un certain niveau de pollution, avec pour conséquence une dégradation de la faune et de la flore marines. C'était notamment le cas dans la calanque de Cortiou, au large de l'exutoire de la station d'épuration de Marseille. Mais malgré une qualité des eaux de rejet s'améliorant (grâce à des travaux sur la station d'épuration), les fonds marins restent très pauvres. Aussi, pour pallier cette situation, le projet Rexcor (restauration expérimentale des petits fonds côtiers de la calanque de Cortiou) fait le pari d'un repeuplement grâce à l'installation de récifs artificiels sur quatre sites d'immersion – des villages – éloignés de 300 à 400 m les uns des autres, et immergés entre 10 et 25 m de profondeur¹.

Cette opération expérimentale et scientifique, soutenue par le Parc National des Calanques et cofinancée par l'Agence de l'Eau Rhône Méditerranée Corse, se déroule sous la maîtrise d'ouvrage de CDC Biodiversité (groupe Caisse des dépôts), avec pour concepteur et constructeur Seaboost (groupe Egis) et Architeuthis. **Le projet Rexcor comprend trois types de modules**, mis à l'eau au cours de l'hiver 2017-2018².

¹ www.infociments.fr

² www.infociments.fr

- **Le récif Fractal :**



Figure 36 Le récif Fractal, source : www.infociments.fr

Ce récif constitué de béton biogène offre une grande diversité d'expositions à la lumière et aux courants permettant d'optimiser l'installation des espèces fixées (algues, éponges encroutantes, ...), en quantité et en diversité ¹. Ce récif est développé par Architeuthis depuis plusieurs années : « *Il s'agit d'une dalle de béton non armé, pour éviter tout risque de corrosion des armatures* », précise l'architecte **Étienne Clamagirand**, « *et réalisée avec une formulation très spécifique en CCV fabriquée par l'entreprise MPB à Lunel* ». La dalle hexagonale de 12 cm d'épaisseur présente des côtés de 1 m, pour une masse de 400 kg.

Un système de tirants permet de solidariser les plaques entre elles, selon des figures géométriques multiples. Ainsi, dans le parc des Calanques, « *10 modules Fractal® HD ont été assemblés, pour former une sorte de fleur de lotus de 2,5 m de hauteur et pesant 10 tonnes* », explique l'architecte, *puis solidarisés dans l'usine à une plaque en béton pour en assurer la stabilité* ». C'est d'ailleurs l'un des défis auxquels a été confronté le groupement d'entreprises : la mise en place des différents modules, leur grutage et leur positionnement le plus précis

¹ www.seaboost.fr/projet/rexcor/

possible sur les fonds marins par l'entreprise Foselev Marine, avec l'énorme contrainte des intempéries et de la houle, assez présente sur cette partie de côte ¹.

- **Récif à Ragues :**



Figure 37 Récif à Ragues , source : www.infociments.fr

Ce récif cible la reproduction biomimétique des habitats naturels des espèces caractéristiques des petits fonds rocheux, grâce à la création de ragues propices à leur installation. L'étagement du récif permet d'adresser les problématiques d'habitat de différentes espèces, depuis les espèces benthiques (crustacés, céphalopodes,...) sur les étages inférieurs, aux espèces plus mobiles comme daurades, sars et loups par exemple². Il est « *développé au travers d'une approche biomimétique et s'inspire d'écosystèmes rocheux naturels méditerranéens. Il offre de multiples anfractuosités de tailles et de volumes différents* », précise **Matthieu Lapinsky**, biologiste marin chez **Seaboost**. Il est constitué d'un ensemble de dalles posées les unes sur les autres, en béton non armé et de forme circulaire mais non homogène, de 2,5 m de haut et 13 tonnes ! Ces dalles, d'un diamètre de 3 m et une vingtaine de centimètres d'épaisseur, ont été réalisées avec un **béton « biogène »** (classe de résistance C70/80) développé

¹ www.infociments.fr

² www.seaboost.fr/projet/rexcor/

par **Seaboost** et **Lafarge Holcim** dans le cadre d'un partenariat. « *Il s'agit d'un béton bicouche mis en œuvre en un seul coulage, et offrant une parfaite résistance, grâce à une couche dense structurale, et une autre, poreuse et structurale mais plus favorable à la colonisation* », détaille **Alexandre Musnier**, qui a piloté le projet ¹.

- **Récif Connectivité :**

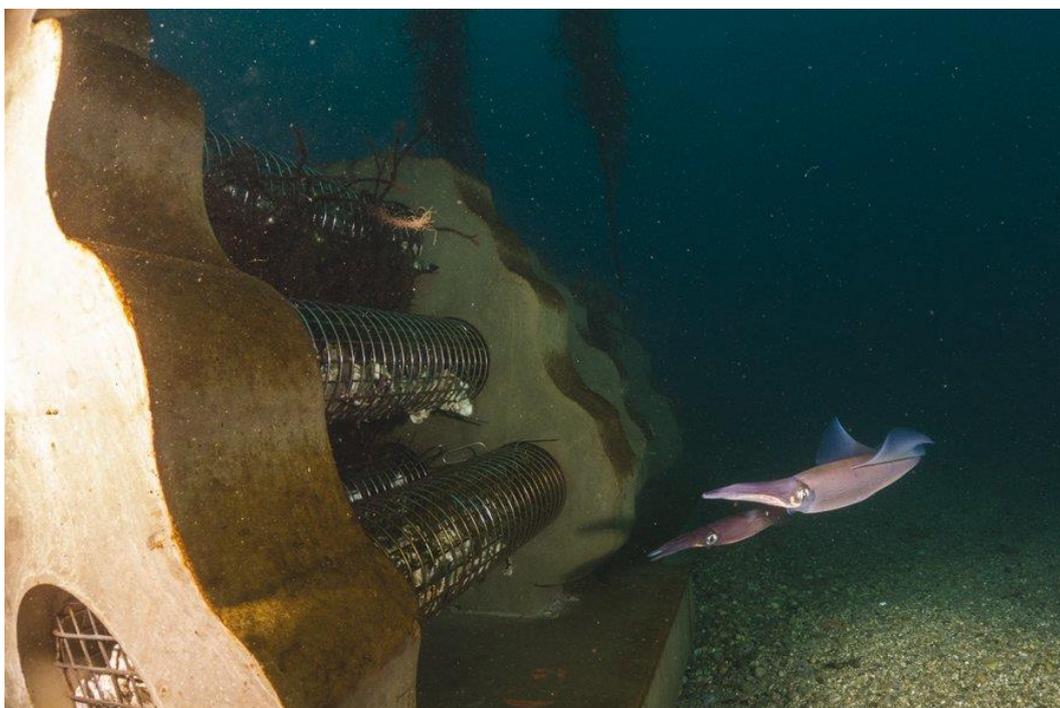


Figure 38 Récif Connectivité , source : www.infociments.fr

Ce récif déploie des caractéristiques structurales caractéristiques d'une nurserie, adaptée à la fixation et au développement des premiers stades de vie des espèces locales. Les faisceaux reproduisant des algues ou de la posidonie, la petite dimension des anfractuosités, la diversité des expositions et les dimensions du récif permettent d'assurer les fonctions d'abri, de substrat et de nutrition (par le biais de la colonisation par la microfaune-flore) propices à la sélection d'une nurserie². développé par Seaboost, est un procédé mixte, constitué de deux plaques de béton ancrées sur une dalle béton, et dans lesquelles viennent s'insérer des sortes de poches tubulaires métalliques, remplies de fibres végétales et de coquilles. De 1,5 m de hauteur et 1,5 m de longueur, et d'une masse de 2 tonnes, il présente lui aussi l'avantage de s'assembler en fonction de la longueur de récif que l'on souhaite mettre en œuvre et, surtout, des espèces ciblées³.

¹ www.infociments.fr

² www.seaboost.fr

³ www.infociments.fr

Synthèse

La protection des écosystèmes marins nécessite une conscience générale du fait des nombreux services que rend l'océan à l'homme. C'est dans ce sens qu'intervient l'architecture afin de renforcer le lien entre l'homme et la nature car le secteur Construction/immobilier est l'un des plus concernés par l'environnement du fait des multiples impacts qu'ils génère (consommation énergétique, émission de gaz à effet de serre...etc.) et c'est les principales causes de la destruction et l'érosion des écosystèmes marins. Il est donc primordial de se diriger vers une architecture bioclimatique soucieuse de l'impact environnementale dans le but de préserver l'équilibre nécessaire à la survie et le bien être des écosystèmes marins.

III. CHAPITRE 03 : CHAPITRE ANALYTIQUE

Introduction

Lors de la conception d'un projet, l'architecte doit impérativement prendre en considération divers paramètres afin d'aboutir à une construction prenant en compte les notions de confort (thermique, acoustique, olfactif...). Pour faciliter ce processus, l'architecte a à sa disposition plusieurs méthodes informatiques modernes, notamment la simulation informatique qui lui permettent de simuler le comportement du bâtiment dans un but d'optimisation des conditions de confort au sein du bâtiment.

III.1 Définition de la simulation :

Imitation volontaire ou semi-volontaire d'un trouble mental ou physique ; Représentation du comportement d'un processus physique, industriel, biologique, économique ou militaire au moyen d'un modèle matériel dont les paramètres et les variables sont les images de ceux du processus étudié. (Les modèles de simulation prennent le plus souvent la forme de programmes d'ordinateurs auxquels sont parfois associés des éléments de calcul analogique) ; Dissimulation, par les parties, d'un contrat secret (contre-lettre) sous le couvert d'un acte apparent **No index entries found.**¹.

La simulation : Action de simuler. Synonymes : illusion, déguisement, comédie, faux-semblant ; Présentation modélisée, figurée d'un phénomène ².

III.2 La simulation informatique (numérique) :

La simulation informatique ou simulation numérique est une série de calculs effectués par ordinateur et reproduisant un phénomène physique. Elle aboutit à la description des résultats de ce phénomène, comme s'il était réellement déroulé.

¹ Larousse, 2019

² Linternaute, 2019

Cette représentation peut être une série de données, une image ou même un film vidéo. Aussi, la simulation numérique est un processus qui permet de calculer sur ordinateur les solutions de ce modèle et donc de simuler la réalité ¹.

III.3 Objectif de la simulation informatique :

Selon Chatelet A et al « *Pour l'architecte, la simulation doit permettre de valider rapidement des options fondamentales (implantation, structure, ouverture), d'explorer et de commencer à optimiser certains choix* ». (Chatelet, et al., 1998)

La simulation informatique offre la possibilité de comparer plusieurs variantes entre elles. Il est donc nécessaire de savoir ce que l'on cherche pour utiliser l'outil de façon optimale et éviter de perdre du temps et maîtriser le déroulement des calculs ¹.

Et aussi, la simulation aide à comparer les mesures in situ et les données du logiciel, et même celui-ci représente un moyen flexible pour toute modification concernant les données du projet ou copier certain projet ou cas. Enfin la définition de la période de simulation est très souple en changeant la journée, le mois, l'année, Donc le logiciel de simulation reste un outil efficace pour les études en architecture bioclimatique ².

III.4 La simulation thermique :

III.4.1 Définition :

La simulation thermique est un outil d'analyse qui permet de modéliser un bâtiment et d'évaluer de manière détaillée ses besoins énergétiques et son confort thermique d'été. Ces simulations sont effectuées à partir de l'utilisation réelle du bâtiment et de données météorologiques locales ³.

¹ Futura-Sciences, 2014

² Thesis Univ Biskra, 2012

³ NR+, 2017

III.4.2 Les types de la simulation thermique

On distingue deux grands types de simulation thermique, la statique, et la dynamique :

- **La simulation statique** analyse les paramètres physiques dans des conditions figées, c'est une photo instantanée.
- Par contre, **la simulation dynamique** analyse les paramètres physiques sur une période donnée en tenant compte du changement des conditions externes sur cette période, mais également de la modification des paramètres internes de l'élément analysé¹.

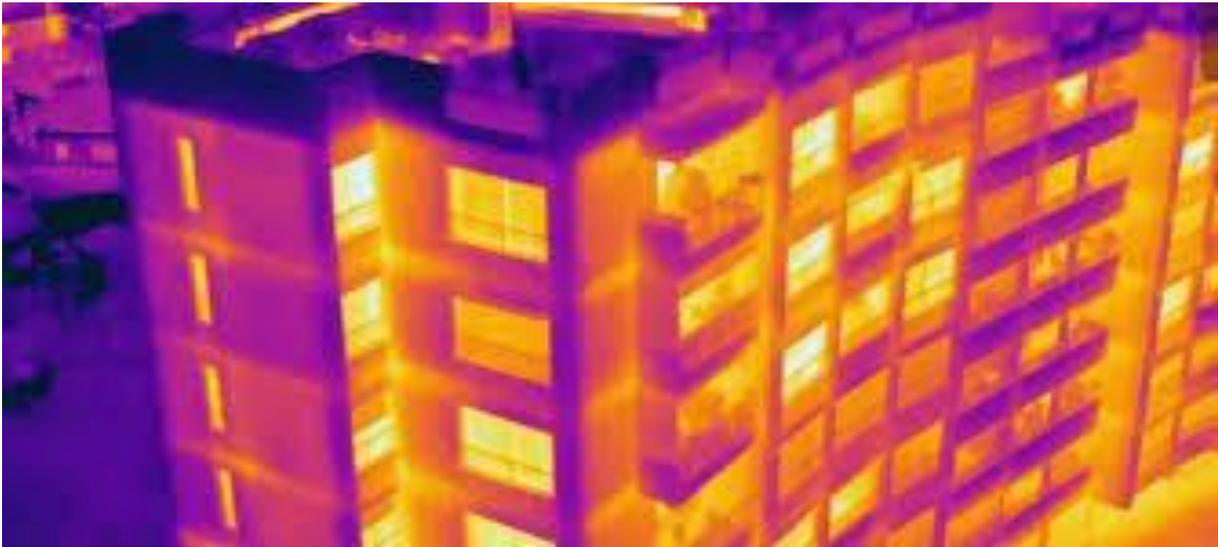


Figure 39 Une simulation thermique statique

¹ Bureau 2E, 2017

III.4.3 La simulation thermique dynamique (STD)

Accepte le bâtiment comme un objet vivant, réactif aux éléments extérieurs, elle tient en compte la réponse des matériaux à une variation des apports thermiques, inerties (occupant, équipement) et externes (soleil, vent...) ¹.

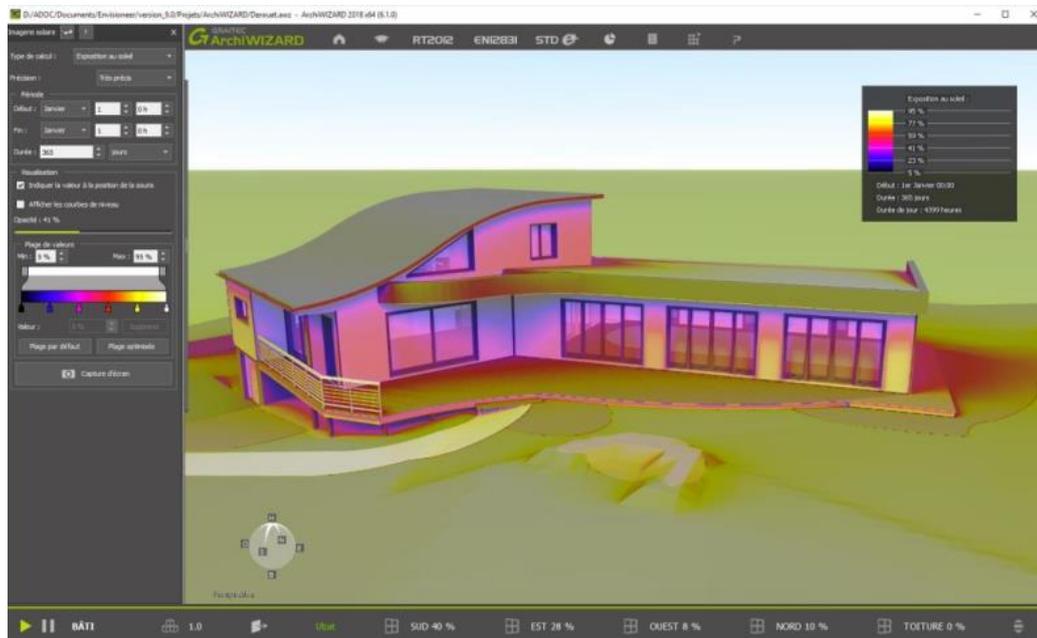


Figure 40 Simulation thermique dynamique (ArchiWizard), source : www.Graitec.com

III.4.3.1 Définition

La simulation thermique dynamique (STD) est une étape importante pour réussir des bâtiments économes et confortables, aussi bien dans la construction que dans la rénovation. Un bâtiment à faible consommation d'énergie ne se comporte pas comme une construction traditionnelle².

Des phénomènes auparavant négligeables dans les bâtiments à fort besoins de chauffage deviennent prépondérants (ponts thermiques, apports solaires et internes, étanchéité du bâtiment, etc.). De plus, les surchauffes estivales, conséquences de l'isolation importante, sont un élément indispensable à prendre en compte pour le confort et la maîtrise des consommations d'énergie.

¹ Econome Energie, 2016

² La simulation thermique dynamique Un outil au service de la performance énergétique

Une modélisation fine du comportement du bâtiment est alors nécessaire pour quantifier à l'avance les impacts de la conception architecturale au regard des besoins de chauffage et du confort. C'est là l'intérêt de la STD qui, contrairement à une simulation statique, prend en compte l'inertie des matériaux, les apports externes et internes, etc.

Cet outil permet de tester différentes solutions techniques à la recherche de l'optimum entre performances et investissements ¹.

III.4.3.2 L'apparition de la simulation thermique dynamique

Dans le bâtiment, l'apparition de la simulation thermique dynamique a été dans les années 1970-1980, parallèlement à l'application des premières réglementations thermiques. Après les dix ans mentionnés, l'évolution temporelle de l'état thermique d'une construction a commencé.

A travers les logiciels actuels, qui fournissent une richesse de données indispensable pour affiner la prévision de comportement du bâtiment ou le dimensionnement des équipements ².

III.4.3.3 L'intérêt de la simulation thermique dynamique

Fondamentalement, les logiciels de simulations thermiques dynamiques décrivent les échanges thermiques classiques (conduction, convection, rayonnement, changement d'état). Leurs développements récents leur confèrent aussi la capacité très appréciée :

- Dimensionner les solutions énergétiques complexes en développant une approche globale.
- De simuler l'impact du vent sur les façades, les phénomènes de ventilation naturelle.
- Et surtout, d'estimation réelle d'énergie à partir des informations sur l'enveloppe du bâtiment, de son inertie, de son système énergétique (quelle que soit l'énergie exploitée), du comportement des occupants, et du climat local ³.
- La température tout au long de l'année de différentes zones et le pourcentage d'inconfort des personnes sur la base d'une température maximale. En effet, un bâtiment

¹ Mdph35, 2015

² CEGIBAT, 2018

³ CEGIBAT, 2018

bien isolé est davantage sujet aux surchauffes estivales de par un effet "Thermos". Il est alors essentiel de minimiser les apports solaires et internes, de maximiser l'inertie et de mettre en place une stratégie de rafraîchissement naturel efficace ¹.

III.4.3.4 La méthode de la simulation thermique dynamique

La simulation thermique dynamique simule heure par heure le comportement du bâtiment. Pour cela, on prend en compte :

- La localisation du bâtiment, la météo locale ;
- L'orientation du bâtiment, la répartition des pièces et des vitrages ;
- Les matériaux constituant le bâtiment, son inertie thermique, ses ponts thermiques, ses protections solaires, etc. ;
- Les équipements de chauffage, climatisation, production ecs, ventilation, éclairage ;
- L'occupation des pièces et le comportement des usagers ;
- La régulation du chauffage et éventuellement des autres équipements ².

Elle permet de connaître :

- Les températures,
- Les besoins de chauffage et de climatisation,
- Les apports solaires,
- La consommation finale ³.

III.4.3.5 Quand faire une simulation thermique dynamique ?

Une simulation thermique dynamique est nécessaire :

En phase de conception d'un projet de construction, afin de valider les objectifs de faible consommation. On réalise des simulations pour tester différentes configurations (enveloppe, ventilation, chauffage, vitrage, équipement...). Ainsi, on sera à même de choisir la

¹ NR+, 2017

² Mdp35, 2015

³ Mdp35, 2015

configuration la plus optimale, de valider les choix techniques en ayant un maximum d'information en main¹.

Dans l'existant quand il s'agit d'établir une stratégie de rénovation. Dans ce dernier cas, on réalise une série de simulations thermiques dynamiques pour tester différentes solutions techniques à tout niveau (enveloppe, ventilation, chauffage, vitrage, équipement...). On peut trouver l'optimum entre performance et retour sur investissement, et établir une stratégie de rénovation énergétique permettant d'atteindre la performance énergétique avec un temps de retour minimal².

III.4.4 La simulation thermique dynamique dans le processus de la conception architecturale

Un bâtiment à très faible consommation d'énergie ne se comporte pas comme les bâtiments traditionnels. Une modélisation fine de son comportement est nécessaire pour optimiser sa conception au regard des besoins de chauffage et du confort d'été.

En effet, des phénomènes auparavant négligeables dans les bâtiments à 200 kWh/m².an de besoins de chauffage deviennent de première importance dans les BBC (de l'ordre de 30 kWh/m².an de besoins de chauffage) : le traitement des ponts thermiques, la gestion des apports solaires et internes, l'étanchéité du bâtiment... De plus, un bâtiment très isolé est davantage sujet aux surchauffes estivales de par un effet « Thermos ».

Il est alors essentiel de minimiser les apports solaires et internes, de maximiser l'inertie et de mettre en place une stratégie de rafraîchissement naturel efficace. Il devient donc nécessaire de quantifier à l'avance les impacts de la conception architecturale sur les besoins de chauffage et le confort d'été. C'est là l'intérêt de la simulation thermique dynamique (STD)³.

¹ Mdp35, 2015

² NR+, 2017

³ Damien Lambert, 2014

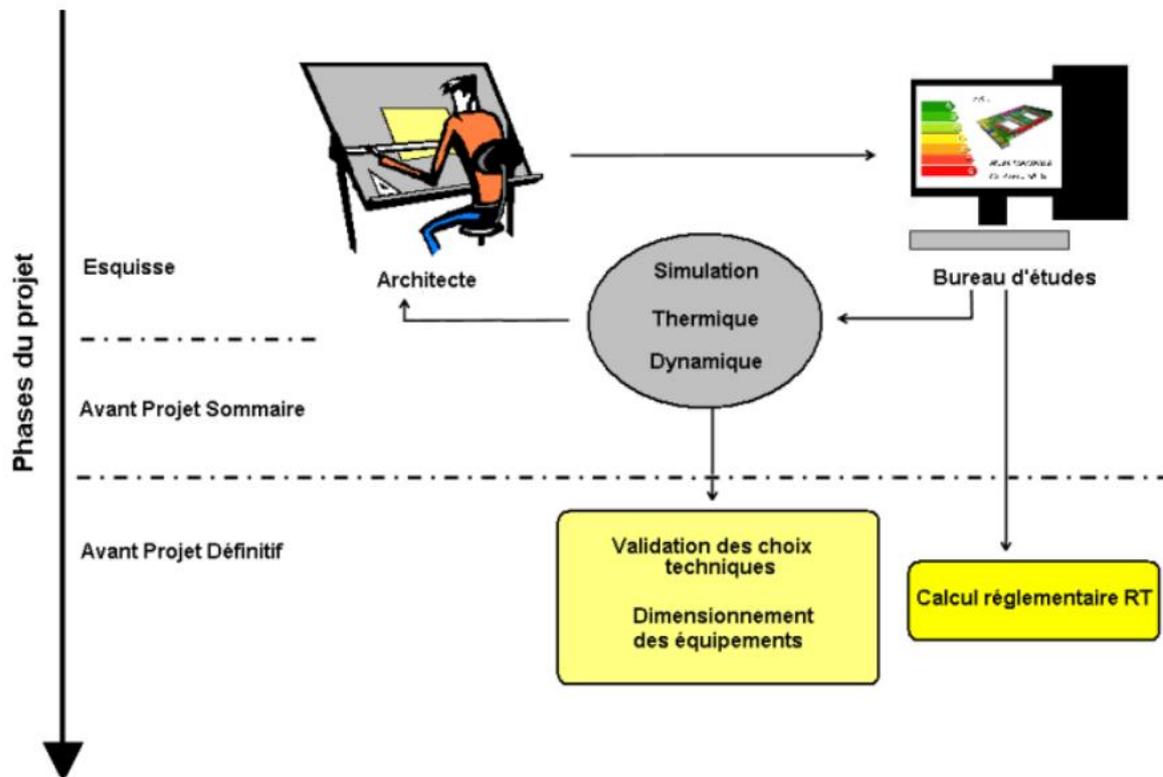


Figure 41 Schéma montre le rôle de la simulation thermique dynamique dans le processus de la conception architecturale. Source : (Mdph35, 2015)

III.4.5 Les étapes d'un calcul de simulation thermique dynamique

Plusieurs étapes importantes sont nécessaires pour effectuer une simulation thermique dynamique efficace :

III.4.5.1 Une collecte de données

Comporte à :

- 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, albédo du sol aux alentours...) ainsi que les données délocalisation 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 (chauffage, ventilation, 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...) ¹.
- Une description des différentes parois constituant l'enveloppe du bâtiment et aussi les parois internes de séparation entre locaux sont décrites dans toutes leurs caractéristiques thermiques, voire hygrothermiques (λ : conductivité thermique, ρ : masse volumique, C_p : capacité calorifique) ².

III.4.5.2 Une modélisation du projet

La modélisation numérique est la transcription du phénomène physique en langage informatique. Donc il est nécessaire de faire une maquette numérique du projet ³.



Figure 42 Illustration d'une modélisation 3D d'un bâtiment à l'aide d'un logiciel de CAO, source : www.wsp.com

¹ BONTEMPS, 2015

² Xpair, 2013

³ EC2 Modelisation, 2018

Dans un audit énergétique, une modélisation thermique du bâtiment est réalisée pour calculer la performance thermique de la copropriété. Grâce à cette modélisation, nous pouvons déterminer où part la chaleur (murs, fenêtres, toit, chaufferie, etc.). Nous pouvons identifier les travaux propriétaire pour réduire les déperditions énergétiques et nous pouvons estimer les futures consommations d'énergie¹.

III.4.5.3 Lancer les calculs (Simuler)

En faisant varier plusieurs paramètres afin de trouver l'optimum entre consommations, puissance des équipements, températures estivales et investissements, à l'aide des logiciels².

III.4.5.4 Une synthèse des résultats

Il s'agit de comparer les différentes solutions techniques à mettre en œuvre sur une construction (enveloppe, isolation, menuiseries, traitement des ponts thermiques, mise en œuvre d'énergies renouvelables, systèmes, fluides...), de préconiser des solutions de travaux pour remédier aux déperditions constatées, de chiffrer des économies d'énergies et un retour sur investissement³.

III.4.6 Les atouts de la simulation thermique dynamique

Les logiciels de STD contribuent à :

- Améliorer le dimensionnement d'un bâtiment.
- Fournir au maître d'ouvrage et maître d'œuvre une approche la plus réaliste possible du fonctionnement thermique de bâtiment.
- Présenter une information argumentée à l'exploitation de l'ouvrage pour préparer le commissionnement et son fonctionnement courant.
- Evaluer les systèmes innovants dans des configurations particuliers (canicules, les grands vents...).

¹ Sénova, 2016

² NR+, 2017

³ NR+, 2017

- Optimiser la conception à l'aide de l'étude de sensibilité en intégrant les différents phénomènes influant le projet.
- Concevoir des projets avec des approches, des systèmes, des techniques non courantes, bien qu'un manque d'expérience.

(CEGIBAT, 2018)

III.4.7 Les limites de simulation thermique dynamique

- Une première limite des outils de simulation thermique dynamique consiste dans la validation des données d'entrée. La plupart des outils distribués sur le marché sont en effet validés au travers de travaux de recherche soit en comparaison avec des cellules tests, soit en comparaison entre logiciels.
- La robustesse des données de sortie dépend plus de la pertinence des données d'entrée que du logiciel utilisé. Parmi les hypothèses particulièrement délicates à valider et à obtenir, les données météorologiques sont importantes. Leur sélection demande de se projeter sur l'analyse qui va être faite : il n'existe pas de fichier météorologique idéal. En fonction de l'analyse qui doit être menée, une sélection des données météorologiques pertinentes à utiliser doit être effectuée.

Par exemple, si l'ambition du calcul par simulation thermique dynamique est d'établir un bilan prévisionnel de consommation réaliste, on s'attachera à sélectionner un fichier météorologique qui corresponde à une moyenne des années précédentes.

En revanche, si l'objet est d'étudier les conditions de confort d'été en absence de climatisation, la sélection d'un été légèrement plus chaud qu'un été moyen des 10/15 dernières années, voire dans certains cas d'un été extrême, peut parfois s'avérer utile. Il existe plusieurs sources de données météorologiques plus ou moins fiables et d'origine mesurée ou extrapolée à partir de moyennes.

- Une autre limite des calculs simulation thermique dynamique réside dans les hypothèses de base de ce type de calcul qui est du modèle zone.

En effet, on considère qu'une zone représente la plupart du temps un local ou un groupement de locaux définis par une température d'air unique quelle que soit la position à l'intérieur de cette zone. Par conséquent on ne tient pas compte des phénomènes de stratification à l'intérieur d'une zone ni des phénomènes convectifs localisés qui pourraient

avoir lieu suite à un échauffement sur une paroi par exemple. Cette limite pose de véritables difficultés lorsqu'on est amené à modéliser des volumes importants type atrium.

La modélisation des transferts d'air entre des zones et l'extérieur et / ou entre zones est un élément délicat. Dans la plupart des logiciels, les transferts d'air sont définis comme des saisies par l'utilisateur et doivent être définies au préalable. Cette façon de procéder ferme la porte à la modélisation des phénomènes aléatoires et non prévisibles tel que la ventilation naturelle par l'ouverture des fenêtres ou des transferts d'air par convection naturelle, comme par exemple dans un atrium. Certains logiciels disposent d'algorithmes simplifiés de calcul de transfert d'air entre zones et / ou entre zones et l'extérieur ¹.

III.4.8 Les logiciels utilisés pour faire une simulation thermique

Les professionnels exploitent aujourd'hui des modèles numériques que l'on trouve dans les différents logiciels disponibles : *Ecotect, ArchiWizard, Blast, Climawin, design builder, Pleiades +Comfie, Energy +, Simbad, TRANSys, virtuel Environment, DPV, eQUEST, EcoDesigner, ESP-r, Green Building Studio, Lesosia, IDA ICE, IES VE, Trave 700, TRNSYS, Riuska, etc...*

Outil	Application	Saisie de données	Les données résultantes	Importation de géométrie basée sur BIM
DPV (Design Performance Viewer)	Conception environnementale, conception thermique et analyse, charges de chauffage et de climatisation, coût énergétique, Energy / CO2, analyse du cycle de vie, ordonnancement.	CAD-BIM, Revit	/	Le modèle de construction est directement construit dans le CAD-BIM environnement
Design Builder	Conception environnementale, modèle 3D (conception 3D),	gbXML .dxf .pdf .bmp	AutoCAD Microstation, SketchUp en	Fournit interopérabilité avec Modèles BIM à

¹ Xpair, 2013

	<p>conception et analyse thermique, chauffage et refroidissement charges, éclairage naturel et artificiel, air intérieur, températures moyennes de rayonnement et de fonctionnement, humidité, émissions de CO2, protection solaire, chaleur transmission, protection solaire, ordonnancement.</p>	<p>.jpg</p>	<p>3D dxf, .epw, .csv, .tmy, .tmy2</p>	<p>travers son importation. gbXML aptitude</p>
<p>Ecotect</p>	<p>Conception environnementale, modèle 3D (conception 3D), conception et analyse thermique, chauffage et refroidissement charges, validation ; Contrôle solaire, ombrageant, régissant, vents et flux d'air, naturels et artificiels éclairage, évaluation du cycle de vie, évaluation du coût du cycle de vie, ordonnancement, acoustique géométrique et statistique une analyse.</p>	<p>dwg .ifc gbXML .obj 3DS, .xml ASCII, etc.</p>	<p>Metafiles, Bitmaps Ou animations. RADIANCE, POV Ray, VRML, AutoCAD dxf, Energy Plus, ESP-r, ASCII Mod files, XML, etc.</p>	<p>Importations CAD BIM modèles de la plupart Logiciel de CAO</p>

<p>e QUEST</p>	<p>Performance énergétique, simulation, utilisation d'énergie analyse, analyse de la conception conceptuelle, Modèle 3D (conception 3D), conception thermique et analyse, charges de chauffage et de refroidissement, contrôle solaire, éclairage, système d'éclairage, cycle de vie évaluation, coût du cycle de vie, ordonnancement</p>	<p>gbXML,.d wg,dxf</p>	<p>dxif, gbXML, .xls</p>	<p>Supporte le format gbXML</p>
<p>Energy Plus</p>	<p>Simulation énergétique, conception et analyse thermique, Charges de chauffage et de refroidissement, validation ; Solaire contrôle, ombrage, naturel et artificiel éclairage, évaluation du cycle de vie, évaluation du coût du cycle de vie, Planification.</p>	<p>ifc, gbXML, text</p>	<p>ASCII</p>	<p>ifc compatible. (Application BIM)</p>
<p>Eco Designer</p>	<p>Bilan énergétique, CO2, ombrage, chauffage, refroidissement, éclairage, consommation</p>	<p>gbXML</p>	<p>gbXML, .pdf</p>	<p>Fournit une autre dimension de l'environnement BIM</p>

	d'eau, cycle de vie calcul des coûts, ordonnancement, consommation d'énergie primaire (gaz, énergie, électricité, etc.)			à l'architecte pour la conception de son design
ESP-r	Conception environnementale, conception 3D, conception thermique et analyse, charges de chauffage et de refroidissement, solaire contrôle, éclairage, ventilation naturelle, combiné production de chaleur et d'électricité et Façades photovoltaïques, analyse acoustique, cycle de vie et évaluations d'impact sur l'environnement.	XML	XML, csv, VRML	/
Green Building Studio	Conception environnementale, analyse thermique, consommation annuelle d'énergie (électricité et gaz), émissions de carbone, éclairage de jour, consommation et coût de l'eau, évaluation du coût du cycle de vie, ventilation naturelle	BIM activé par gbXML ou CAO 3D	gbXML, VRML	Prend en charge le format gbXML et offre une interopérabilité facile avec l'application BIM

Tableau 2 Interopérabilité des quelques logicielles de simulation thermique dynamique.

III.5 Simulation du cas d'étude

III.5.1 Présentation du cas d'étude

Le cas d'étude choisi est un aquarium océanographique qui se situe dans le village côtier Chetaibi dans la wilaya d'Annaba.

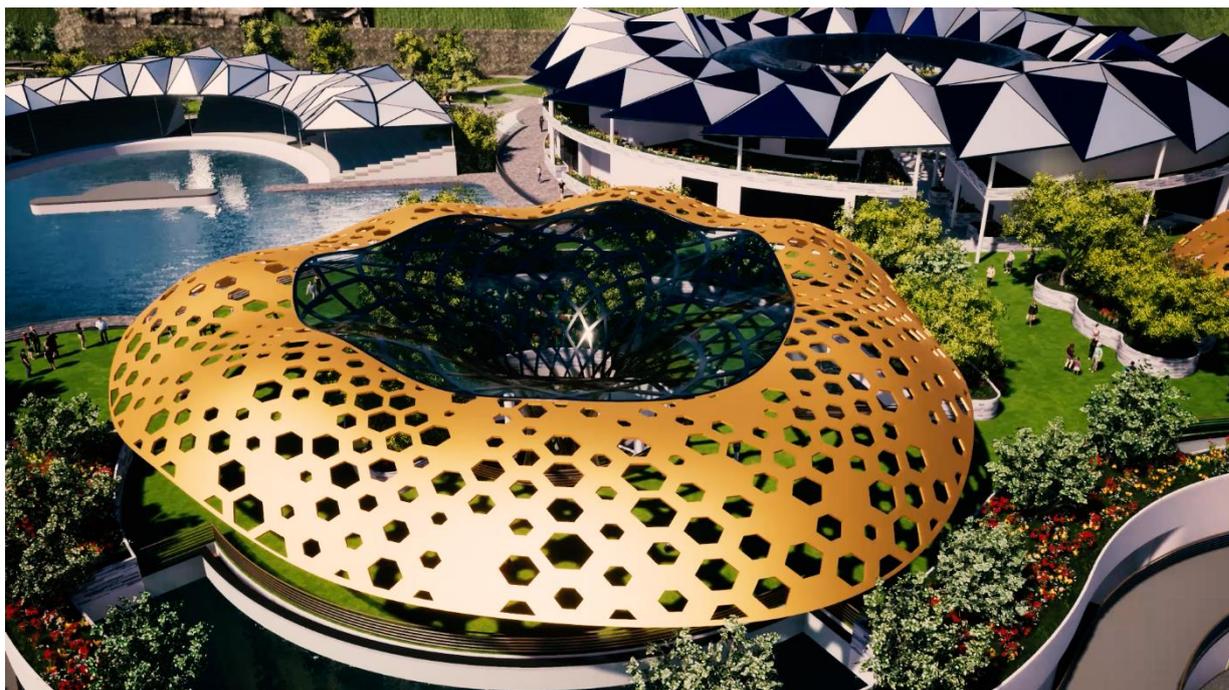


Figure 43 Photo rendu 3D du projet, source : auteur

III.5.2 Les données et matériel utilisé :

III.5.2.1 Les données climatiques :

Localisation	
Localisation	DZA_AN_Annaba-Rabah
Latitude	36°49' N
Longitude	7°48' E
Altitude station	4.9 m
Altitude projet	4.9 m
Date courante	
Fuseau horaire	GMT +1
Heure légale	14 Octobre 13:00
Position courante du soleil	
Élévation	45.1°
Azimut	5.3°

D'après la classification de Köppen, Chetaibi est classé dans une zone dite a climat Csa (tempéré chaud à été chaud et sec), les caractéristiques de ce climat sont :

- Les températures moyennes des 3 mois les plus froids sont comprises entre 0 °C et 18 °C.
- La température moyenne du mois le plus chaud est supérieure à 10 °C.
- Les saisons été et hiver sont bien définies.
- La saison sèche est en été
- Les précipitations du mois estival le plus sec sont inférieures à 40 mm et inférieures à 1/3 du mois hivernal le plus humide.
- La température moyenne du mois le plus chaud est supérieure à 22 °C

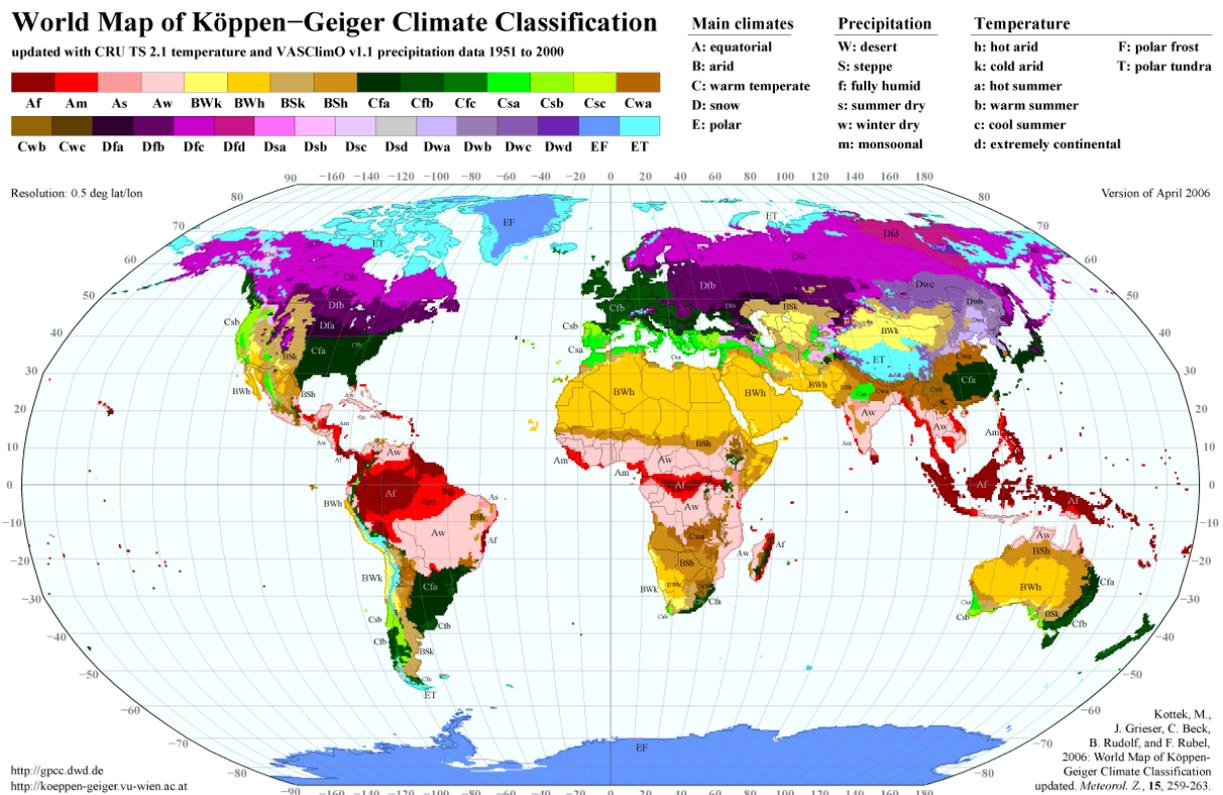


Figure 44 Carte de la classification de Köppen, source : www.eduterre.ens-lyon.fr

D'après les données présente dans le fichier climatique fournie par la station météo de Annaba on obtiens les graphique suivants :

a- Les températures

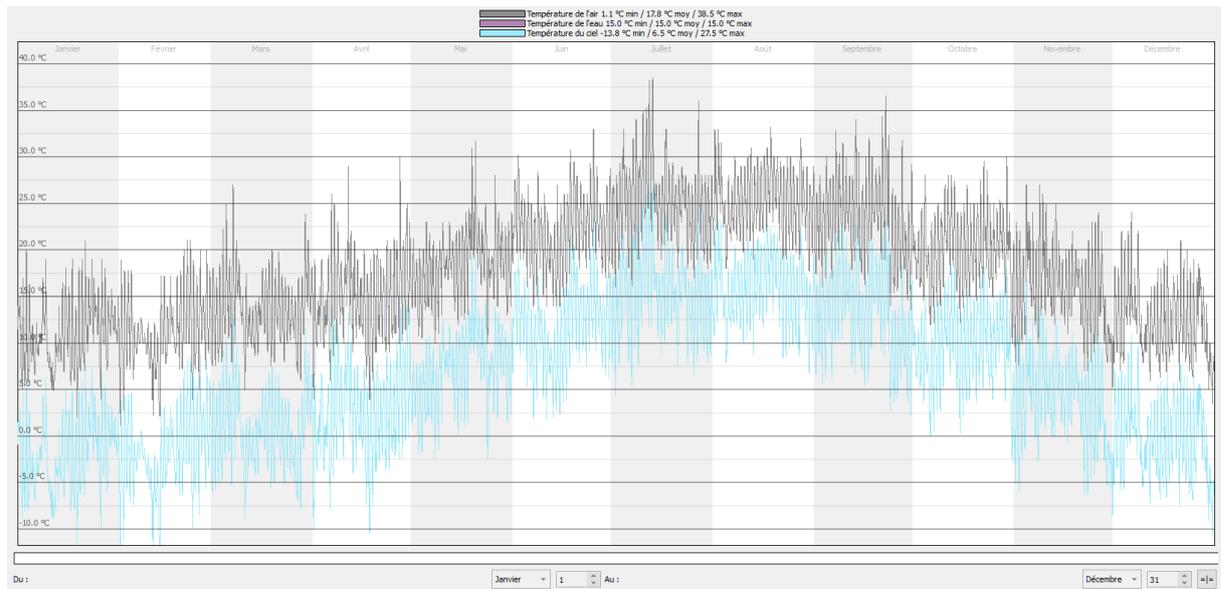


Figure 45 Graphe des températures enregistrés de la zone de Chetaibi, source : fichier climatique Annaba, station météo Rabeih Bitat

D'après la représentation graphique des températures enregistrés, on remarque une variation de la température de l'air annuelle de 1.1°C minimum contre 38.5°C maximum avec une température moyenne de 17.8°C.

b- L'irradiation solaire

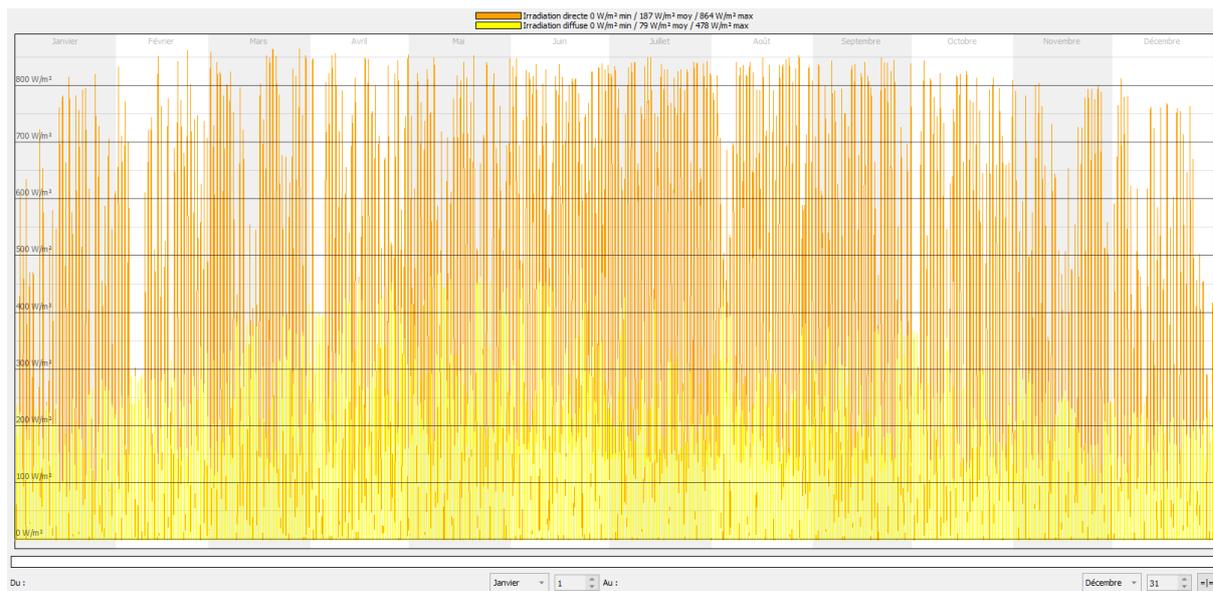


Figure 46 Graphe de l'irradiation solaire enregistrés de la zone de Chetaibi, source : fichier climatique Annaba, station météo Rabeh Bitat

D'après la représentation graphique des données enregistrés, on remarque une variation de l'irradiation solaire directe qui varie de 0 W/m^2 minimum contre 864 W/m^2 maximum avec une moyenne de 187 W/m^2 .

Pour ce qui est de l'irradiation diffuse, elle varie de 0 W/m^2 minimum à 478 W/m^2 maximum avec une moyenne de 79 W/m^2 .

c- L'éclairement

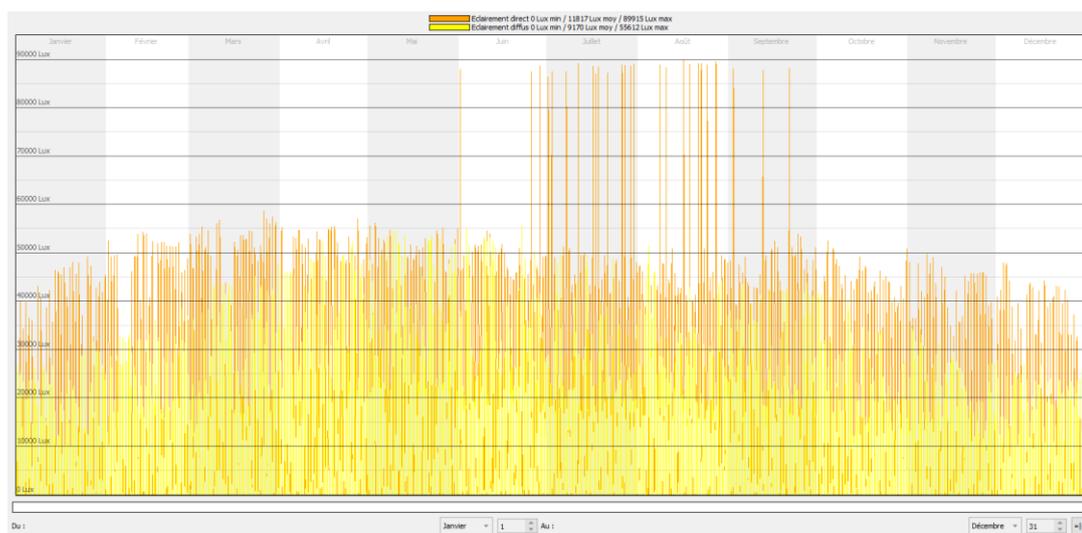


Figure 47 Graphe de l'éclairement enregistrés de la zone de Chetaibi, source : fichier climatique Annaba, station météo Rabeh Bitat

La lecture des données d'éclairement permet de remarquer un éclairage diffus qui varie entre 0 Lux et 58000 Lux et une moyenne de 12000 Lux avec des pics qui peuvent atteindre jusqu'à 90000 Lux qui correspondent aux jours les plus chauds de l'année.

La valeur de l'éclairement diffus quant a elle varie de 0 Lux a 56000 Lux avec une valeur moyenne de 9200 Lux.

d- L'humidité relative

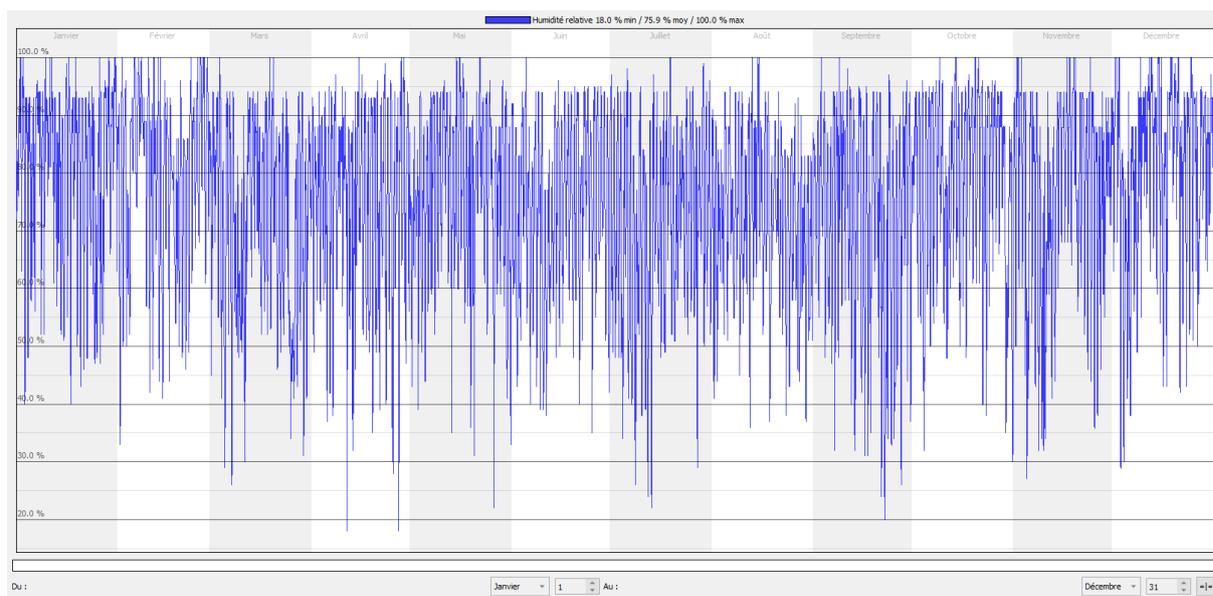


Figure 48 Graphe de l'humidité relative enregistrés de la zone de Chetaibi, source : fichier climatique Annaba, station météo Rabeih Bitat

On constate que l'humidité relative varie entre 18% minimum et 100% maximum avec une humidité relative moyenne de 75.9%.

III.5.2.2 Données de projet :

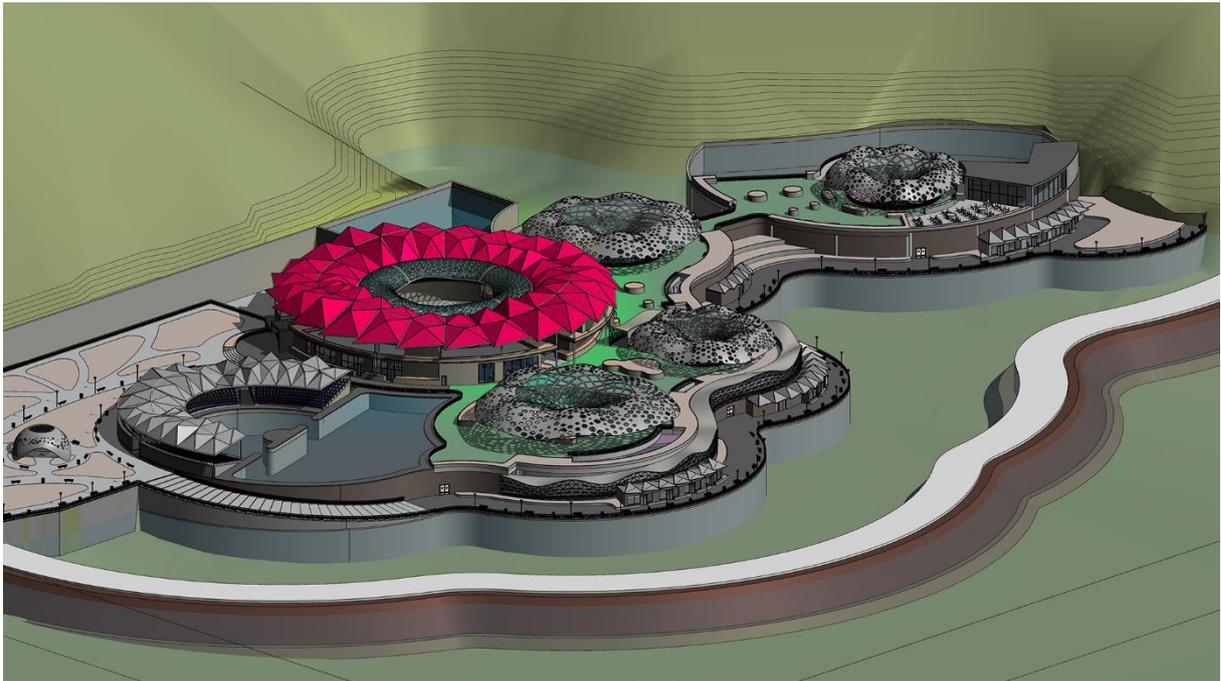


Figure 49 Vue 3D du projet, Source : Auteur

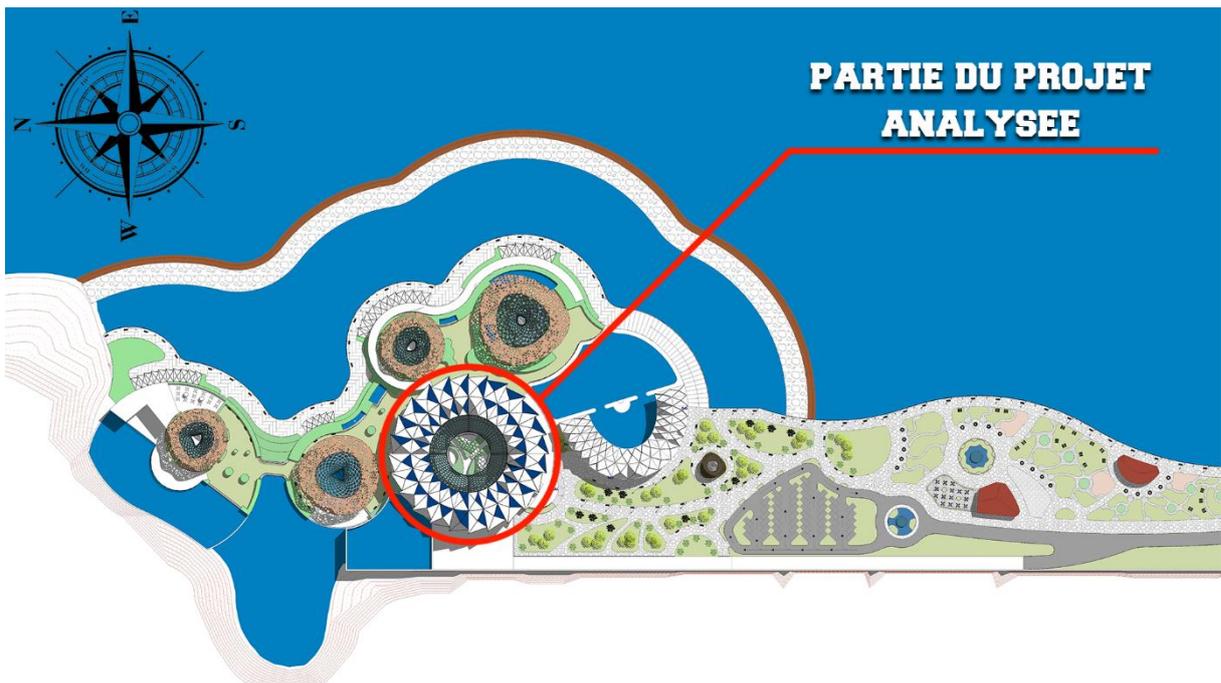


Figure 50 Plan de masse du projet, source : Auteur

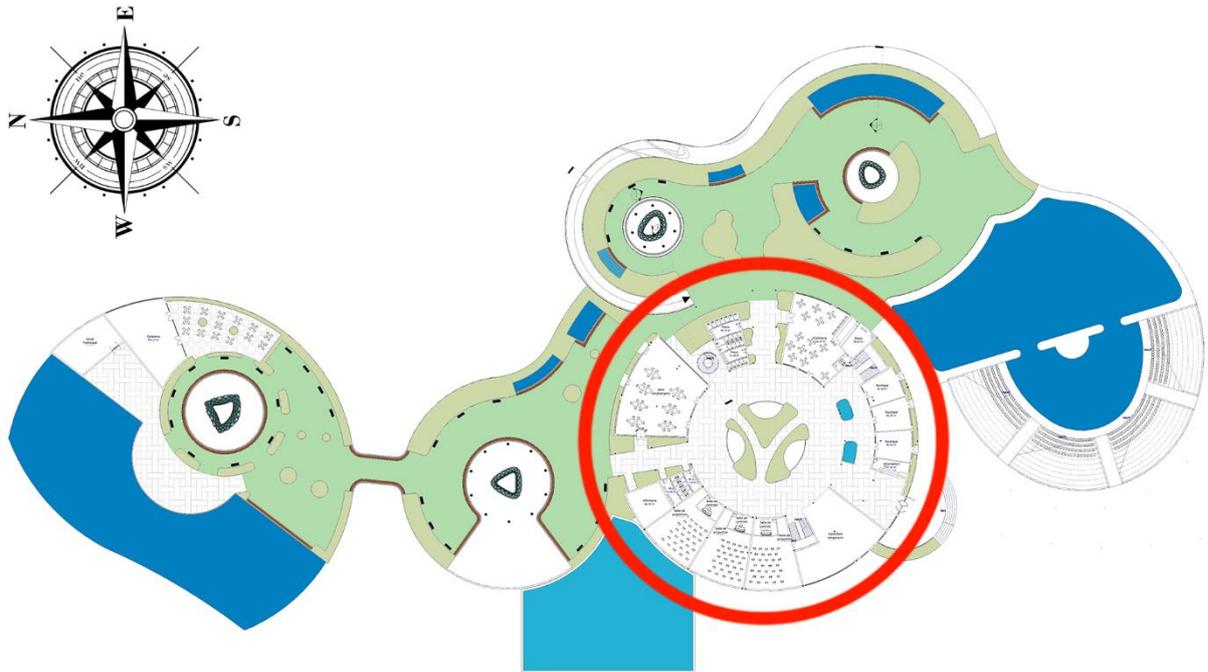


Figure 51 Plan Niveau 0 du projet, source : Auteur

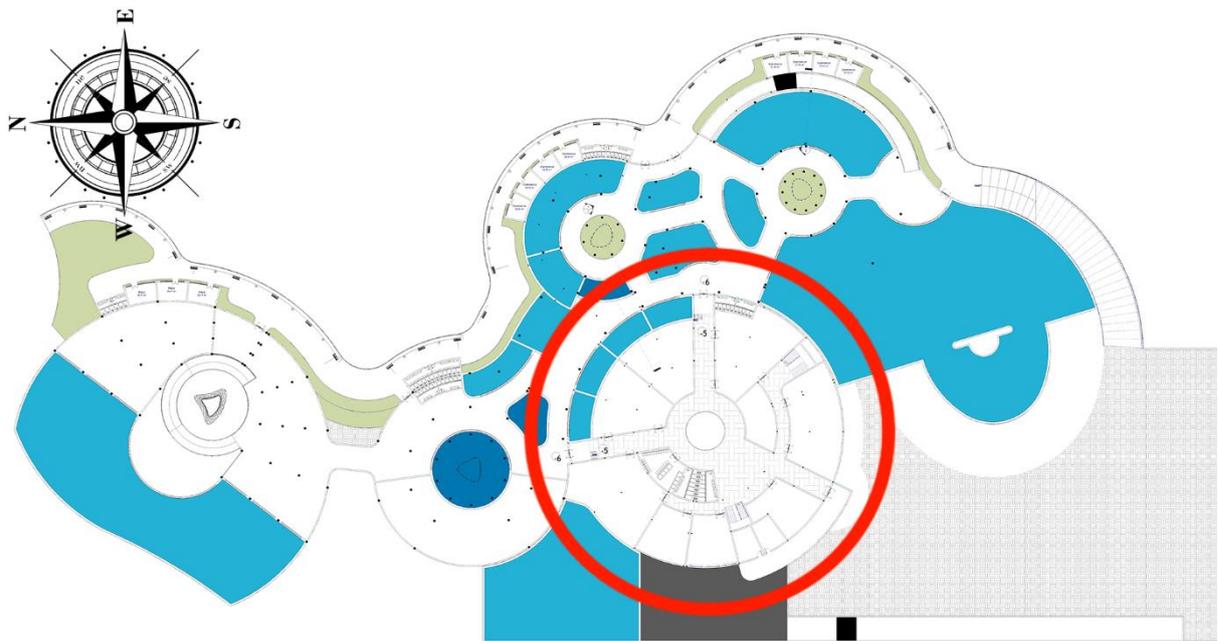


Figure 52 Plan Niveau -01 du projet, source : Auteur

III.5.2.3 Les logiciels utilisés

III.5.2.3.1 Autodesk Revit Architecture 2020



Figure 54 Logo Revit, source : www.Autodesk.com

Revit est un logiciel de conception de bâtiment édité par la société américaine Autodesk qui permet de créer un modèle en 3D d'un bâtiment pour créer divers documents nécessaires à sa construction (plan, perspective, ...).

Revit est un logiciel de CAO, mais sa particularité est d'être un logiciel BIM multi-métiers destiné aux professionnels du BTP (ingénieurs, architectes, dessinateurs-projeteurs, entrepreneurs,...)¹.

¹ www.wikipedia.org

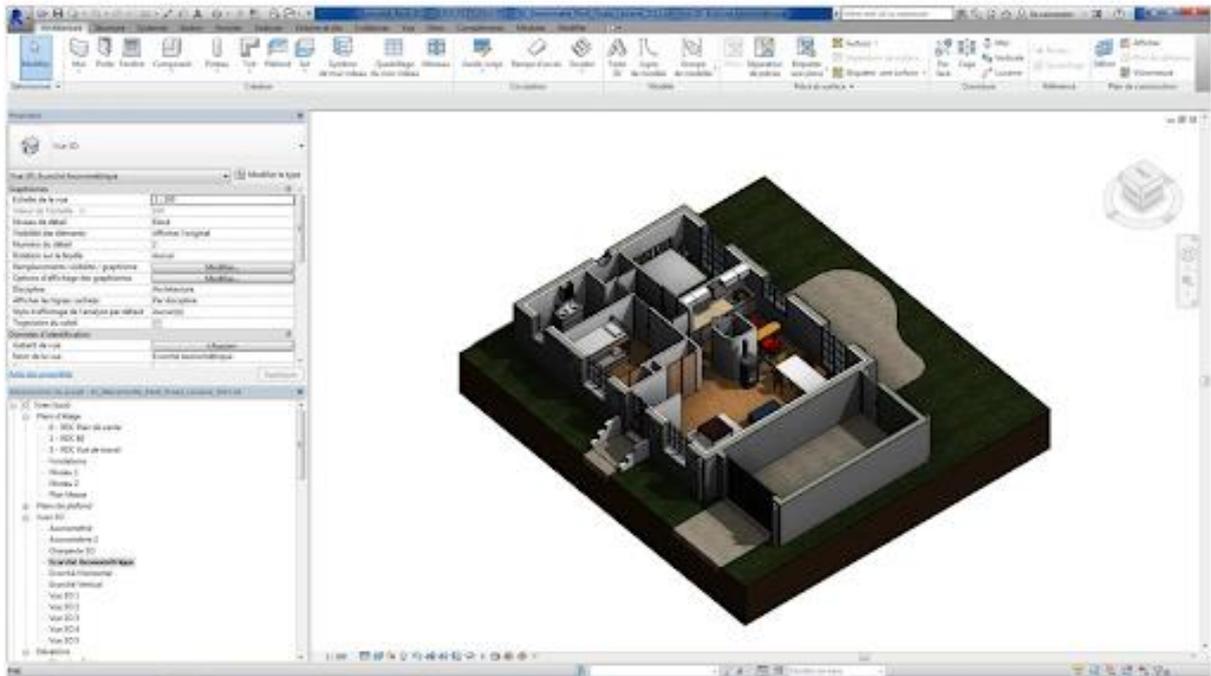


Figure 55 Interface Revit 2020, source : www.Autodesk.com

- Les fonctionnalités de Revit Architecture

Le logiciel Revit dispose d'outils qui prennent en charge la conception architecturale, l'ingénierie MEP et structure, ainsi que la construction. Il est conçu spécifiquement pour la modélisation des informations du bâtiment (technologie BIM) et dispose d'un ensemble de fonctionnalités complet qui en font la solution idéale pour toute l'équipe du projet de construction. Découvrez comment Revit Architecture peut vous aider à concevoir, construire et gérer des bâtiments de meilleure qualité et plus éco énergétiques¹.

- Conception Architecturale
- Ingénierie Structure
- Ingénierie MEP
- Construction de bâtiments

¹ www.prodware-innovation-design.fr

III.5.2.3.2 Graitec Archiwizard 2020



Figure 56 Logo Archiwizard, source : www.Graitec.com

ArchiWIZARD est un logiciel de simulation énergétique des bâtiments. Il permet de simuler et de démontrer la performance énergétique et environnementale d'un projet architectural dès les premières esquisses et tout au long de sa conception ou dans le cadre de sa rénovation, dans un environnement 3D intuitif en connexion directe avec la maquette numérique BIM¹.

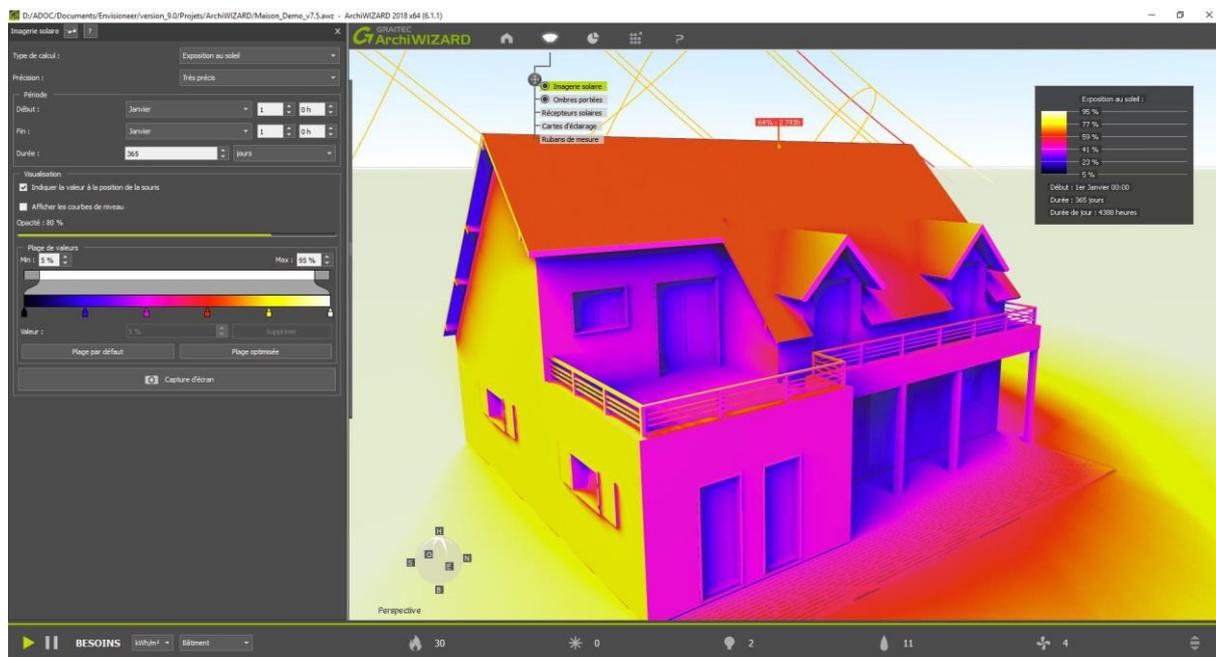


Figure 57 Interface Archiwizard, source : www.Graitec.com

¹ www.Graitec.com

ArchiWIZARD intègre pour cela divers modules de simulation complémentaires basés sur un même modèle énergétique généré automatiquement à partir de la maquette CAO/BIM afin de limiter les ressaisies inutiles

ArchiWIZARD est logiciel d'application de la RT2012 approuvé par la DHUP et le CSTB (n°EL-07) depuis 2013 et a été validé pour l'application de la méthode Energie-Carbone dans le cadre de l'expérimentation E+C-.

- Les fonctionnalités de Archiwizard

- Simulation énergétique temps réel pour l'évaluation interactive et rapide de la performance du projet.
- Simulation des apports solaires et lumineux par lancer de rayon (« raytracing »).
- Calcul réglementaire RT2012.
- Analyse de Cycle de Vie selon la méthodologie « Energie-Carbone » Simulation Thermique Dynamique avec le moteur EnergyPlus.
- Calcul des déperditions de la charge thermique selon la norme EN 12831.
- Calcul réglementaire RT Existant.

III.5.2.3.3 Intégration Revit Archiwizard

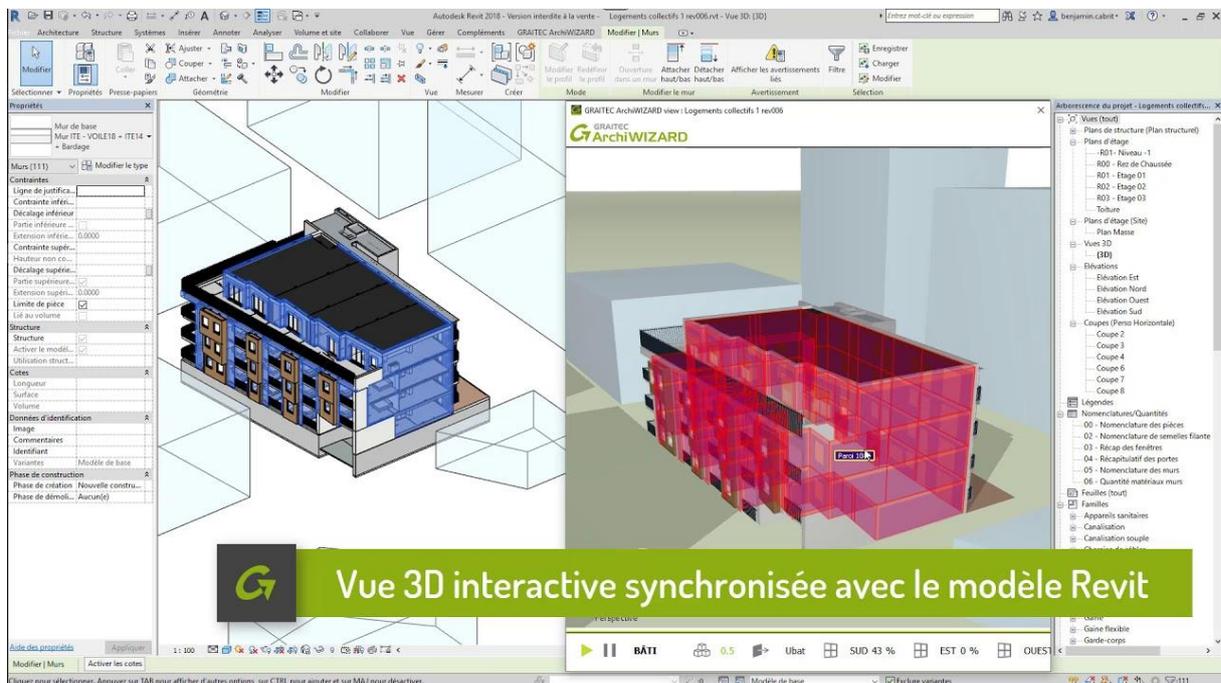


Figure 58 Illustration de l'intégration du logiciel Archiwizard dans Revit, source : www.Graitec.com

L'ensemble des fonctionnalités d'ArchiWIZARD sont accessibles et opérationnelles dans l'environnement Revit, pour une exploitation directe de la maquette BIM.

- Synchronisation maquette BIM / modèle énergétique BEM
- Enrichissement de la maquette BIM
- Visualisation des résultats dans les vues Revit
- Ruban de commandes dédié

L'intégration entre les deux logiciels permet une synchronisation rapide et efficace du point de vue de réglage de différents matériaux et isolants et ainsi tester différents scénarios dans le but d'arriver à des résultats concluants en vue d'apporter des modifications ou corrections conceptuelles.

III.5.3 Méthodologie de travail

III.5.3.1 Modélisation et paramétrage du modèle énergétique

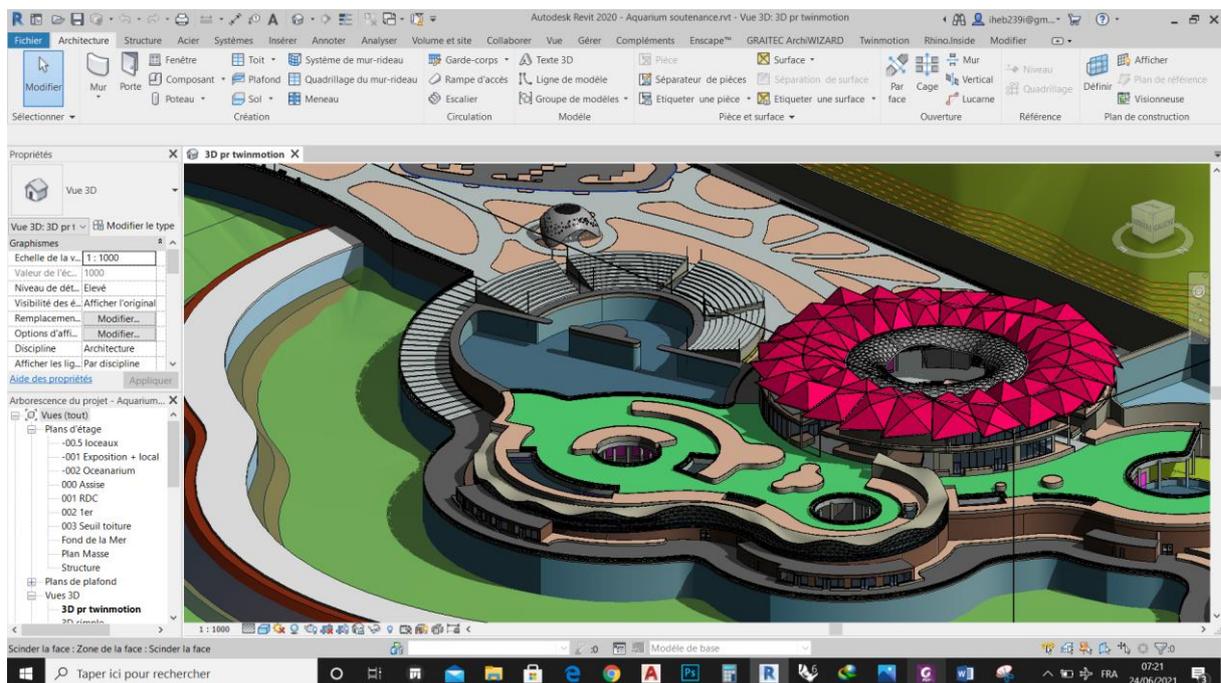


Figure 59 Modélisation du modèle 3D dans Revit, source : Auteur

Pour la modélisation de la maquette numérique (BIM), on a eu recours au logiciel Autodesk Revit.

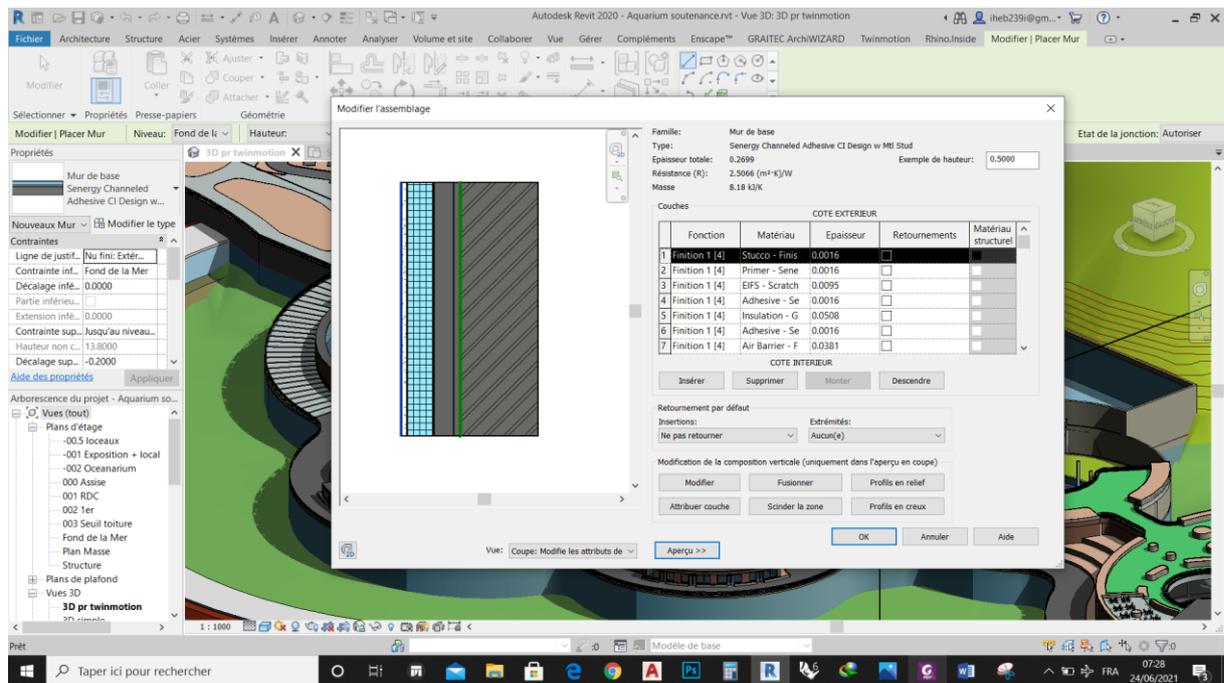


Figure 60 Paramétrage des matériaux dans Revit, source : Auteur

Après la modélisation des parois et la pose des fenêtres et portes, on passe au paramétrage des matériaux, on peut alors insérer les caractéristiques des parois (composition, caractéristiques thermiques...), et aussi paramétrer le type de vitrage (double vitrage, triple vitrage).

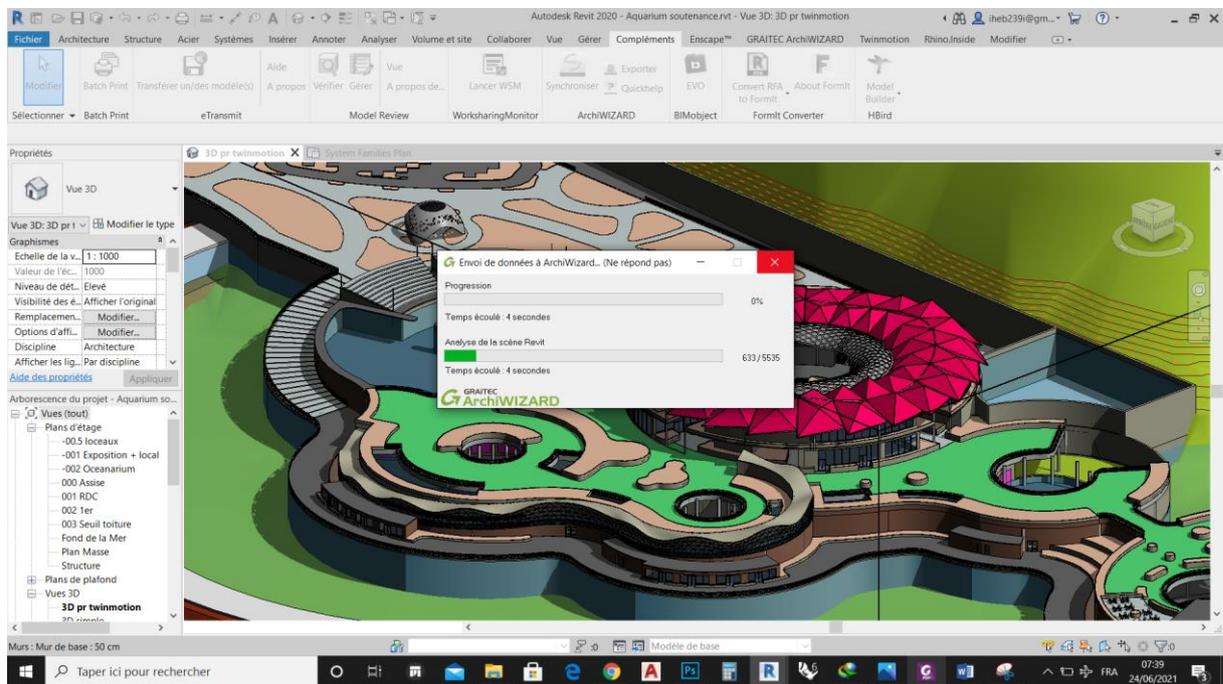


Figure 61 Exportation du modèle analytique via l'extension Archiwizard, source : Auteur

Après le paramétrage, on passe à l'exportation du fichier via l'extension Archiwizard Revit, ce qui va automatiquement générer un modèle énergétique prenant en compte tous les paramètres du projet.

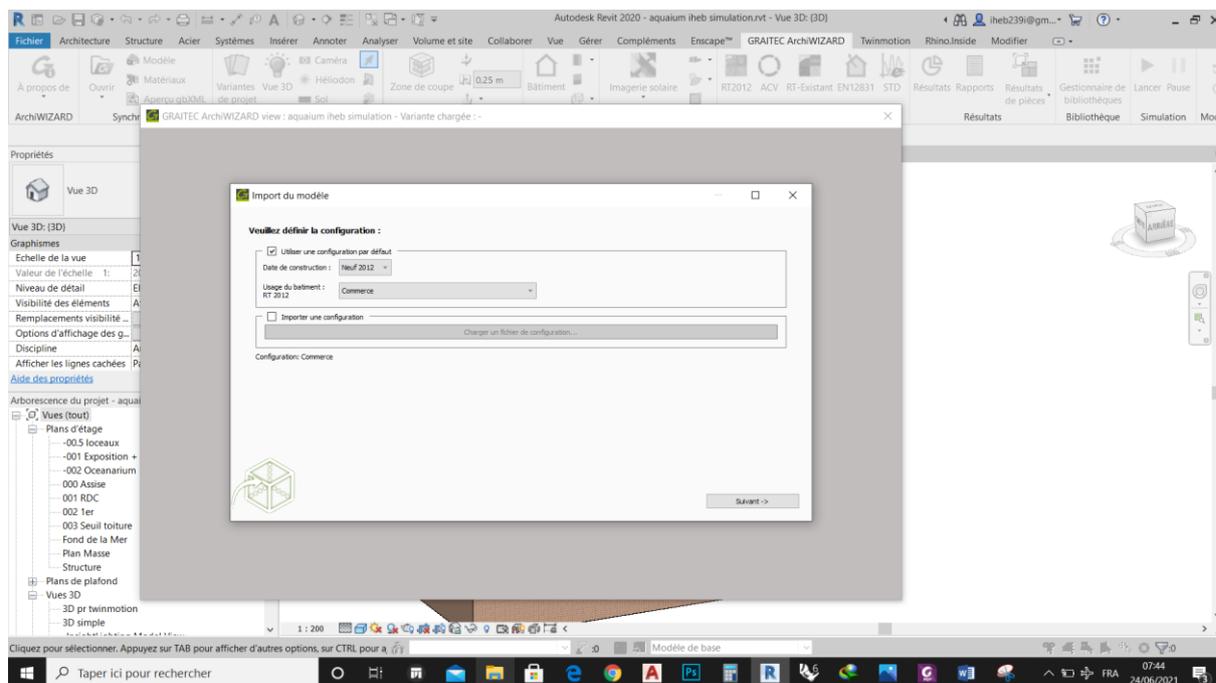


Figure 62 Insertion fichier climatique et des caractéristiques du projet dans Archiwizard, source : Auteur

Après l'exportation, on introduit des paramètres supplémentaires tel que le type de projet, le fichier climatique...

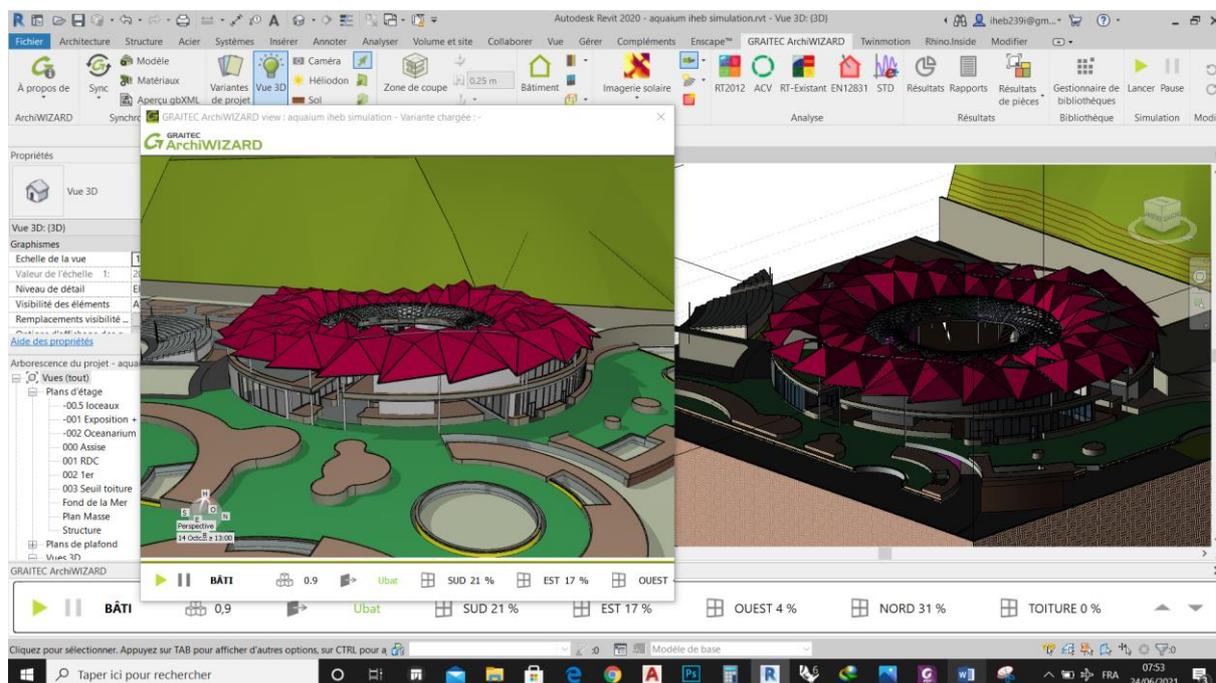


Figure 63 Synchronisation du modèle analytique dans Revit et Archiwizard, source : Auteur

Ensuite, on accède au modèle dans l'interface Archiwizard et par la même, aux résultats de l'analyse.

Chapitre 03 : Chapitre analytique

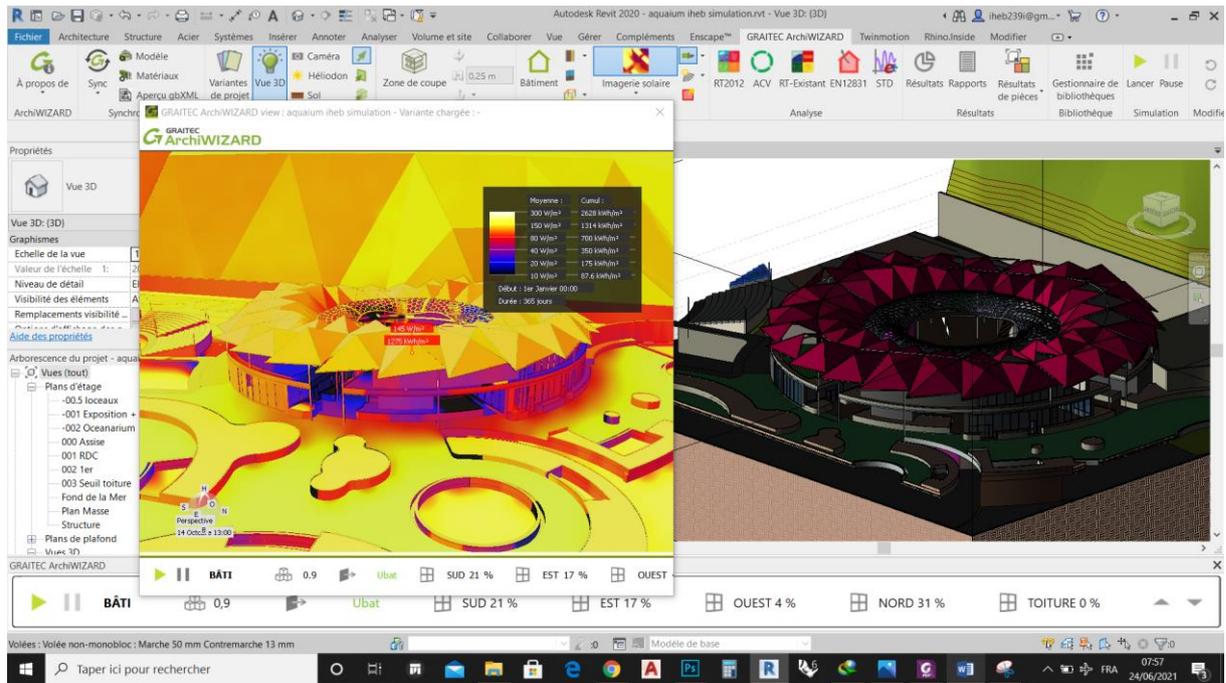


Figure 64 Imagerie solaire en temps réel dans Archiwizard, source : Auteur

Arriver à cette étape, on a libre choix aux différents réglages et paramétrages du modèle énergétique et la possibilité de synchroniser le modèle à tout moment, notamment l'imagerie solaire.

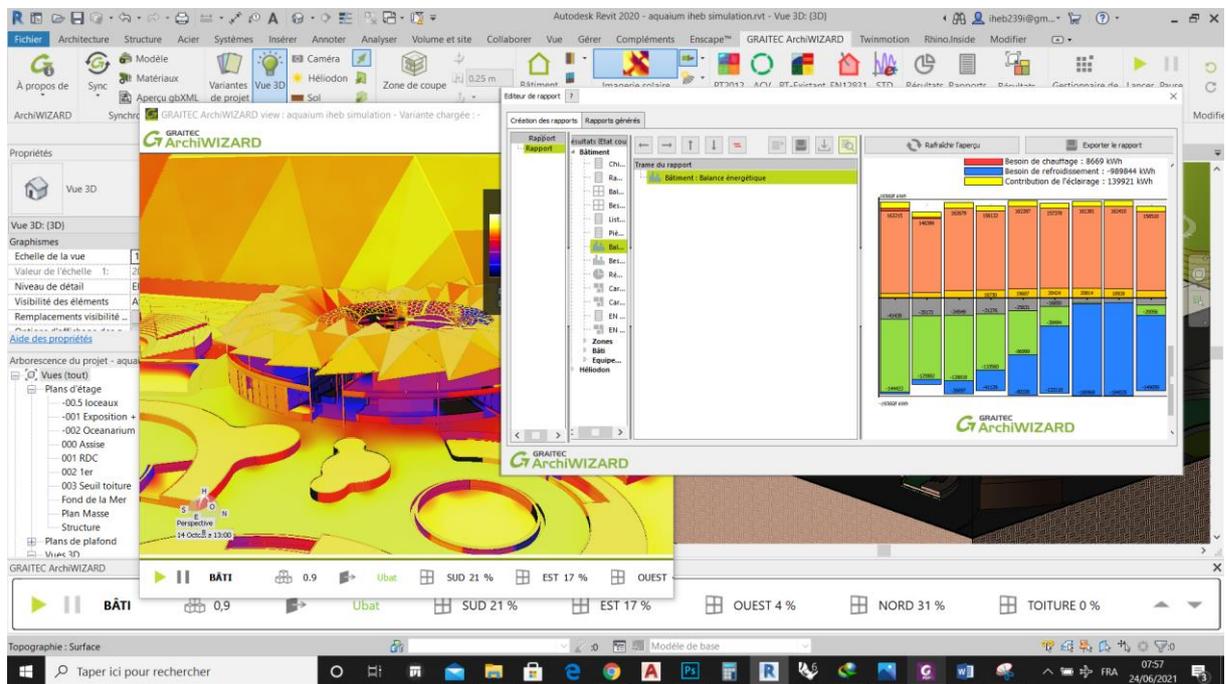


Figure 65 Génération des rapports d'analyse dans Archiwizard, source : Auteur

La dernière étape consiste à générer les différents rapports dont on a besoin et ainsi visualiser les résultats obtenus.

III.5.3.2 Interprétation des Résultats

Informations générales	
Surface utile (SU)	2468.2 m ²
SRT	1500.0 m ²
Volume	9297.0 m ³
Surface déperditive totale	6192.0 m ²
Surface déperditive hors plancher	4577.1 m ²
Surface d'échange	6273.6 m ²
Indicateurs	
Compacité de l'enveloppe (S/V)	0.7
Ratio de surface de baies (S _{baies} /SHAB)	49.3 %
Surface de baies des logements / surface de façade disponible	0.0 %
Ratio ψ (ψ /SRT)	0.07 W/(m ² .K)
Ubat	0.297 W/(m ² .K)
Ubat de référence	0.512 W/(m ² .K)

Figure 66 Information globales sur le projet, source : Auteur

Le premier tableau nous donne des informations globales du bâtiment notamment la SRT, la surface utile ainsi que le volume de la partie du projet étudié.

Le premier paramètre à prendre en considération est le Ubat qui est l'indicateur de performance de l'enveloppe. Il est présenté sous forme de coefficient de déperdition global de l'enveloppe. Le coefficient issu de l'analyse du bâtiment est comparé à un Ubat calculé avec des performances de parois et de baies de références proposées par l'observatoire BBC. L'indicateur dans l'interface du logiciel passe au vert si la performance de l'enveloppe est supérieure ou égale au seuil normalisé de la performance référence.

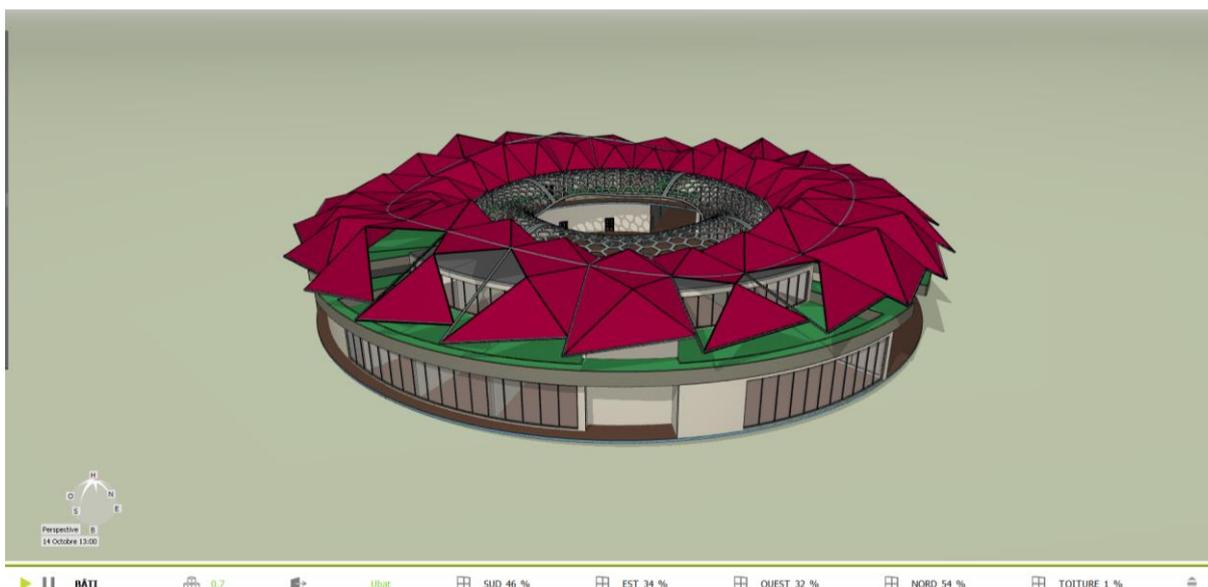


Figure 67 Interface Archiwizard 2020, source : Auteur

On peut constater que l'indicateur de performance de l'enveloppe est de l'ordre de 0.297 W/(m².K) dans le tableau ci-dessus et au vert dans l'interface logiciel ce qui démontre une performance de l'enveloppe qui répond aux exigences de la RT 2012.

On peut également remarquer l'indice de compacité de l'enveloppe qui se calcule par la division de la surface déperditive sur le volume du bâtiment, dans notre projet on note qu'elle est de 0.7, or on considère que ce critère est performant s'il est inférieur à 0.8.

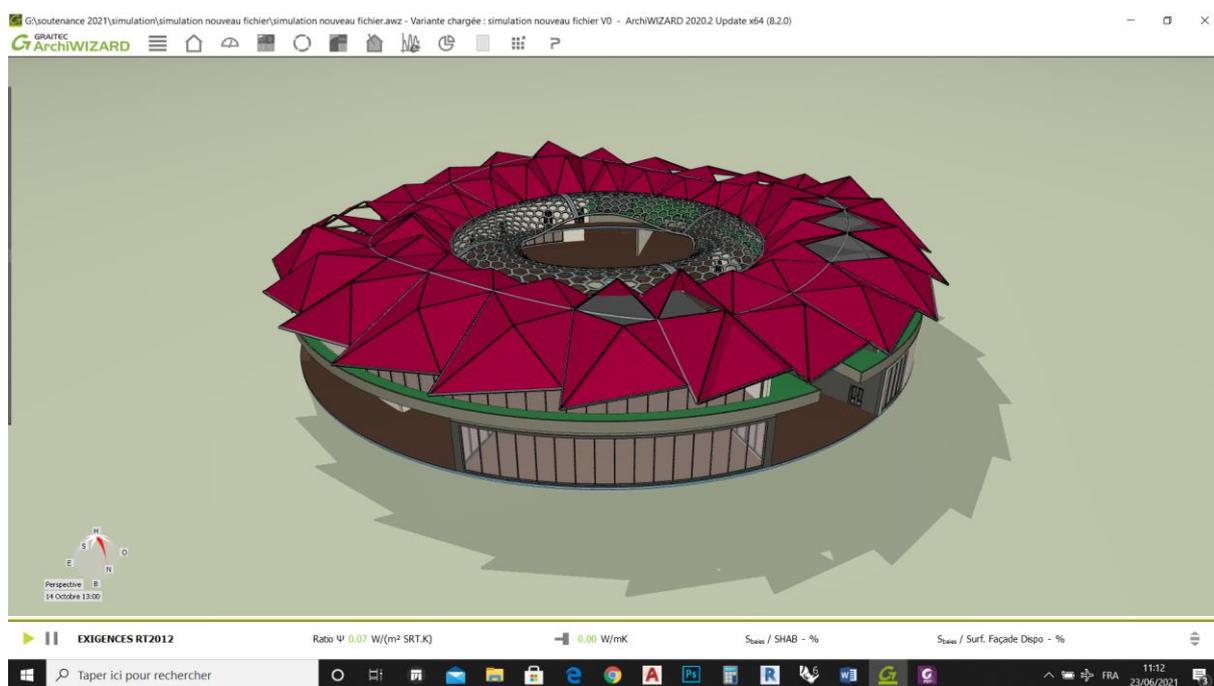


Figure 68 Interface Archiwizard 2020, source : Auteur

La deuxième page de données nous permet de connaître des paramètres sur le comportement thermique du bâtiment.

Le premier paramètre à constater est le **ratio Ψ de transmission thermique linéique moyen global** qui est calculé comme suit $\Psi = \sum_i (\Psi_i \times L_i) / \text{SRT}$.

La **RT 2012** exige qu'il soit inférieur à **0.28 W/(m²SRT.K)**. Selon les résultats analytiques on note que ce ratio dans notre bâtiment est de **0.07 W/(m²SRT.K)** et donc répond aux exigences de la **RT 2012**.

Bâtiments	Bâtiment
Département	59 - Nbrd H1a (59)
SRT en m²	4400.0
Bbio en pts	207.3
Bbiomax en pts	225.0
Cep en kWhep/(m².an)	243.0
Cepmax en kWhep/(m².an)	598.0
Aepenr* en kWhep/(m².an)	5.1

Figure 69 Tableau des résultats RT 2012, source : Auteur

Ce tableau concerne les chiffres relatifs aux exigences de la **RT 2012** et on peut en extraire les 3 paramètres relatifs aux exigences de la **RT 2012** :

- **Le Besoin bioclimatique (Bbio):**

C'est la première exigence de la **RT 2012** et elle concerne l'efficacité énergétique minimale du bâti, valorise le niveau d'isolation (étanchéité à l'air, la conception bioclimatique, la mitoyenneté). Il caractérise le besoin en énergie des composantes liées à la conception du bâti (chauffage, refroidissement et éclairage). Le **Bbio** se calcule par la formule suivante¹ :

$$\mathbf{Bbio} = 2 \times \mathbf{Besoin\ en\ Chauffage} + 2 \times \mathbf{Besoin\ en\ Refroidissement} + 5 \times \mathbf{Besoin\ en\ éclairage}$$

La RT 2012 exige que les besoins bioclimatique (**Bbio**) du bâtiment soient inférieurs aux besoins bioclimatiques maximales (**Bbiomax**). D'après les résultats obtenues on constate que la valeur des besoins bioclimatiques de notre bâtiment est de **208.3** et les besoins bioclimatiques maximales est de **225** et donc **Bbio < Bbiomax**, ce qui répond aux exigences de la **RT 2012**.

- **La consommation conventionnelle en énergie primaire annuelle (Cep) :**

Cette exigence de consommation globale maximale d'énergie primaire est de **50 kWh/m²/an**. Ce coefficient est modulé en fonction de la localisation géographique, l'altitude, le type de bâtiment, la surface moyenne des logements, le volume l'émission de gaz à effet de serre des énergies utilisées.

¹ www.e-rt2012.fr

Le **Cep** est la somme des consommations d'énergie primaire par an du projet, il est calculé selon la formule :

$$\text{Cep} = \text{Conso d'énergie primaire par an de (Chauffage + Climatisation + Eau Chaude sanitaire + Éclairage + Auxiliaires)} - \text{production photovoltaïque (limité à 12 kWhEp/(m}^2\cdot\text{an))}$$

Dans notre projet, le **Cep** est de **243** contre **598** pour le **Cepmax**, ce qui est conforme aux exigences de la **RT 2012**.

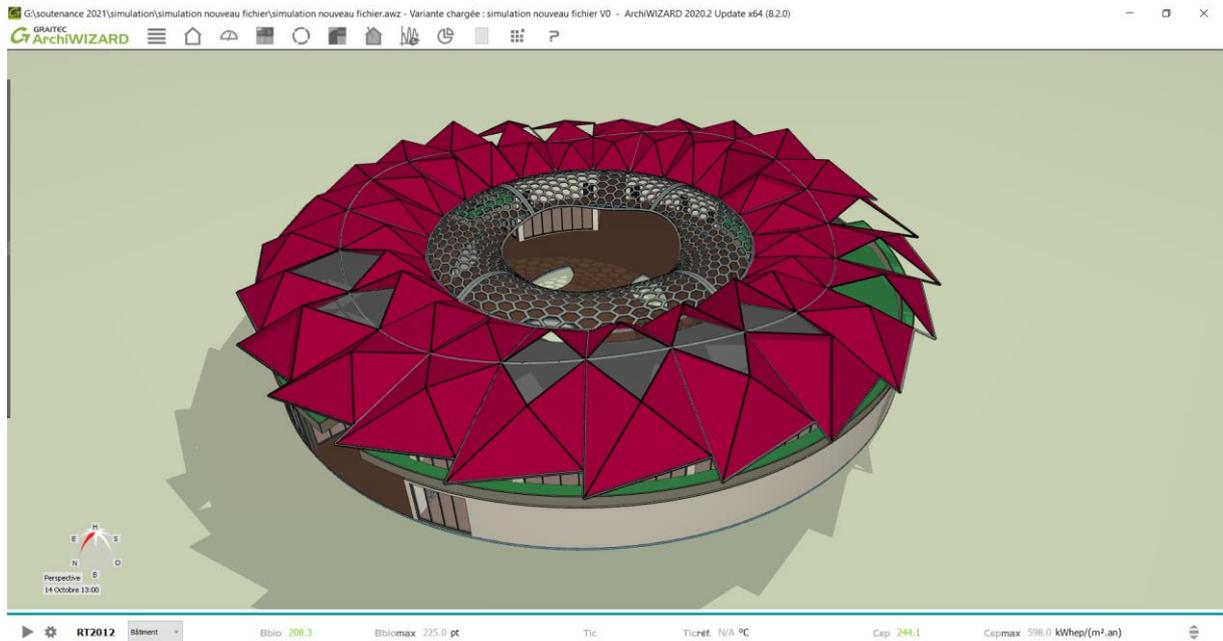
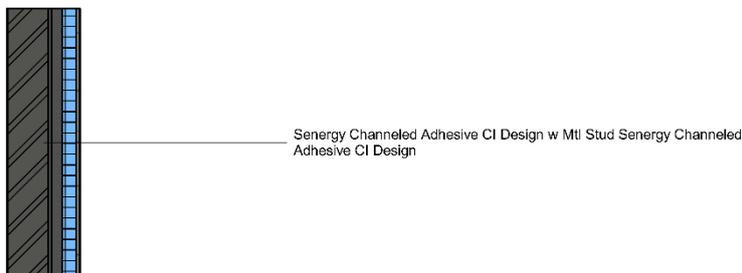


Figure 70 Interface Archiwizard 2020, source : Auteur

L'obtention de ces résultats a été permis grâce a l'utilisation d'isolants performant dans le but de minimiser les ponts thermiques et ainsi minimiser les déperditions thermiques afin de réduire les besoins énergétiques.



L'imagerie solaire :

D'après les résultats de l'imagerie solaire on peut remarquer un niveau d'exposition moyen pour les parois de la façade Sud. On peut également remarquer :

- L'efficacité du décrochement de l'étage inférieur par rapport au niveau supérieur au niveau des commerces ce qui permet de réduire l'exposition solaire des commerces et ainsi permettre une température intérieure ambiante confortable.
- L'efficacité des inclinaisons de toiture qui permettent d'exposer la totalité de la surface de la toiture pendant une durée maximale afin de pouvoir exploiter ces inclinaisons en vue d'éclairer les espaces non exposé a l'ensoleillement par l'éclairage zénithale.

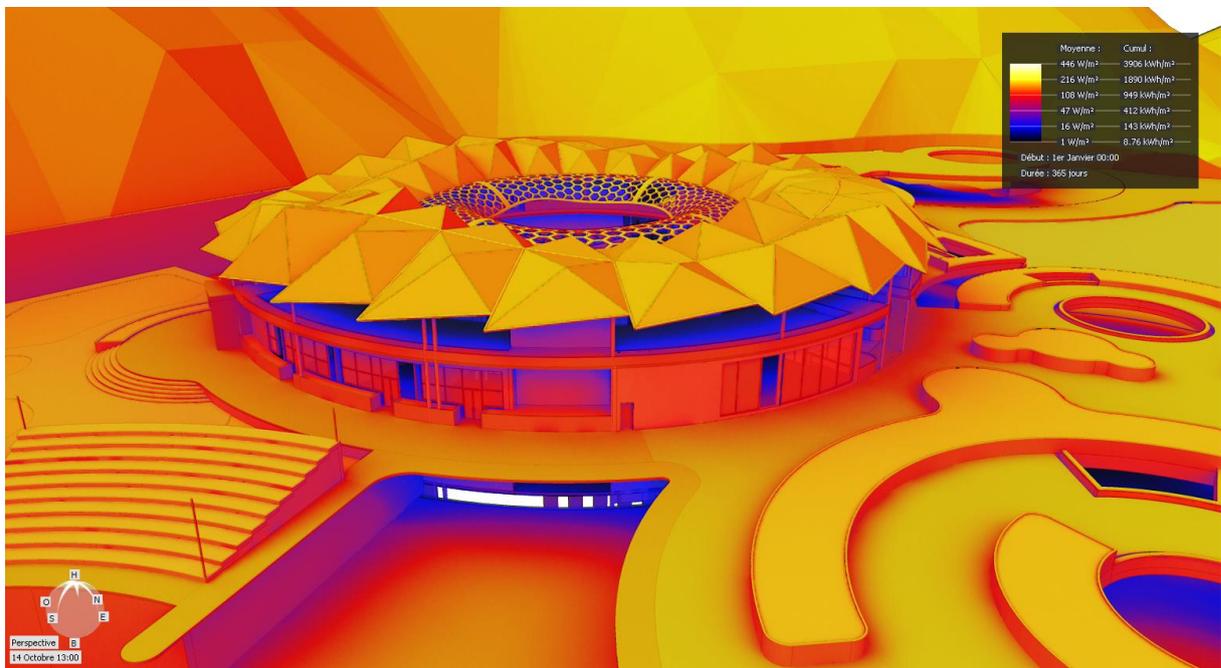


Figure 71 Imagerie solaire du projet, source : Auteur

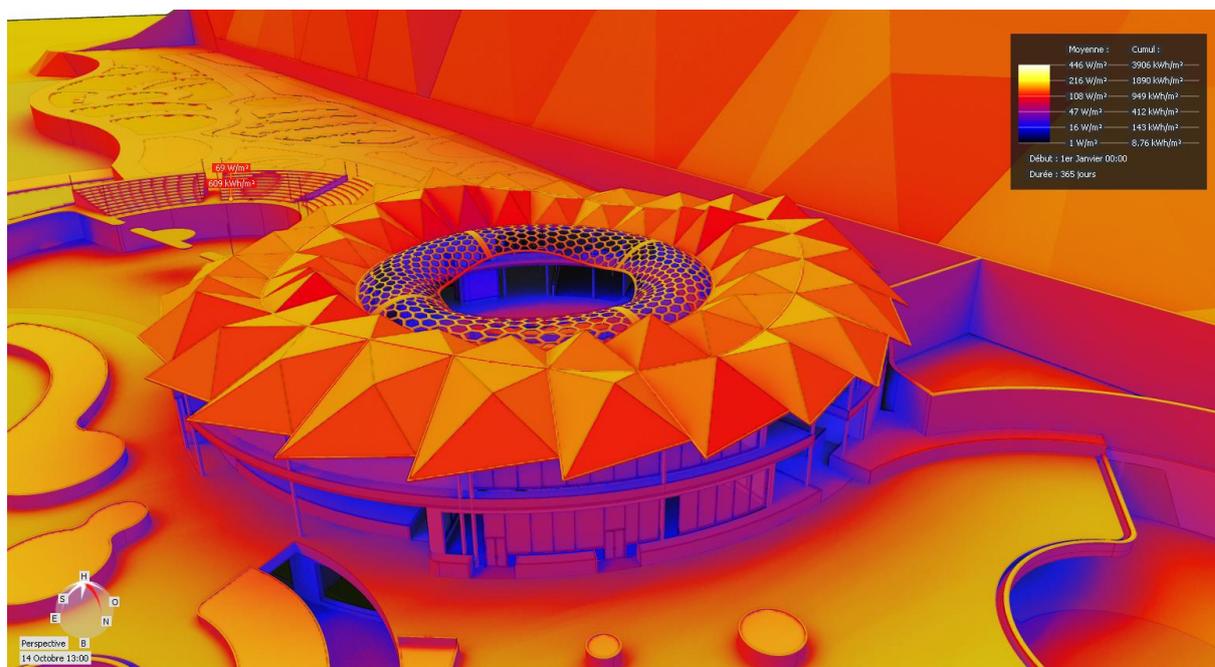


Figure 72 Imagerie du projet, source : Auteur

Les cartes d'éclairage des espaces intérieurs :

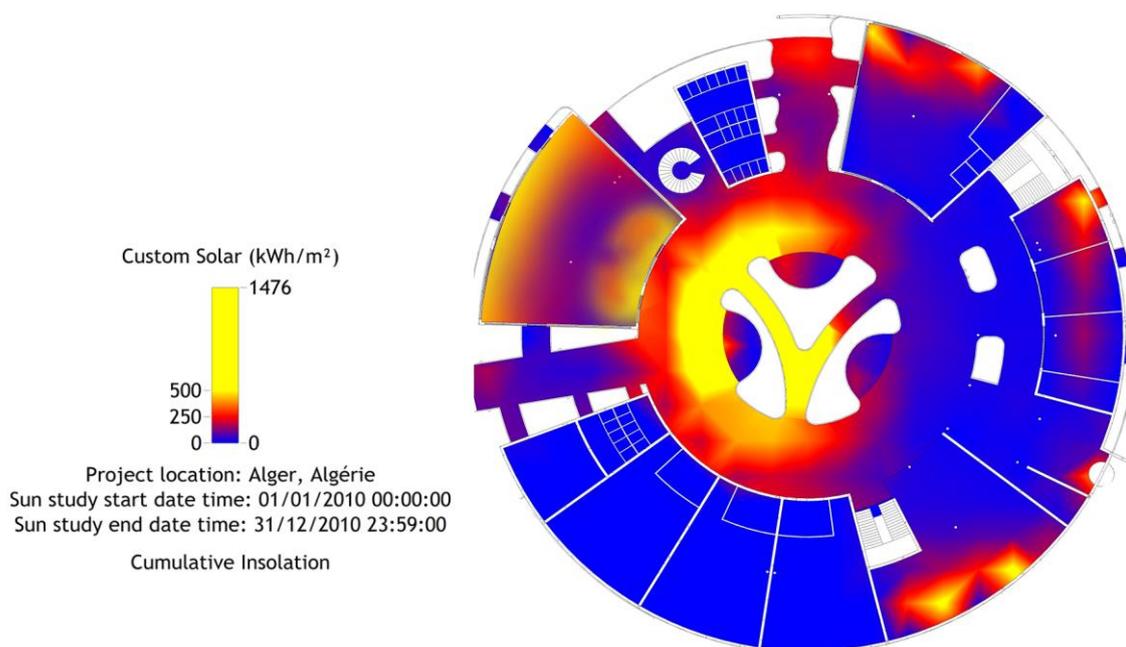


Figure 73 Carte d'ensoleillement des espaces intérieurs niveau 00, source : Auteur

L'observation des cartes d'éclairages intérieurs pour le niveau **RDC** nous permet de constater les tâches solaires qui sont dues a l'ensoleillement direct des espaces. On remarque

donc que les espaces périphériques sont ensoleillés directement par la lumière du soleil ainsi que l'apport du patio centrale en matière d'ensoleillement.

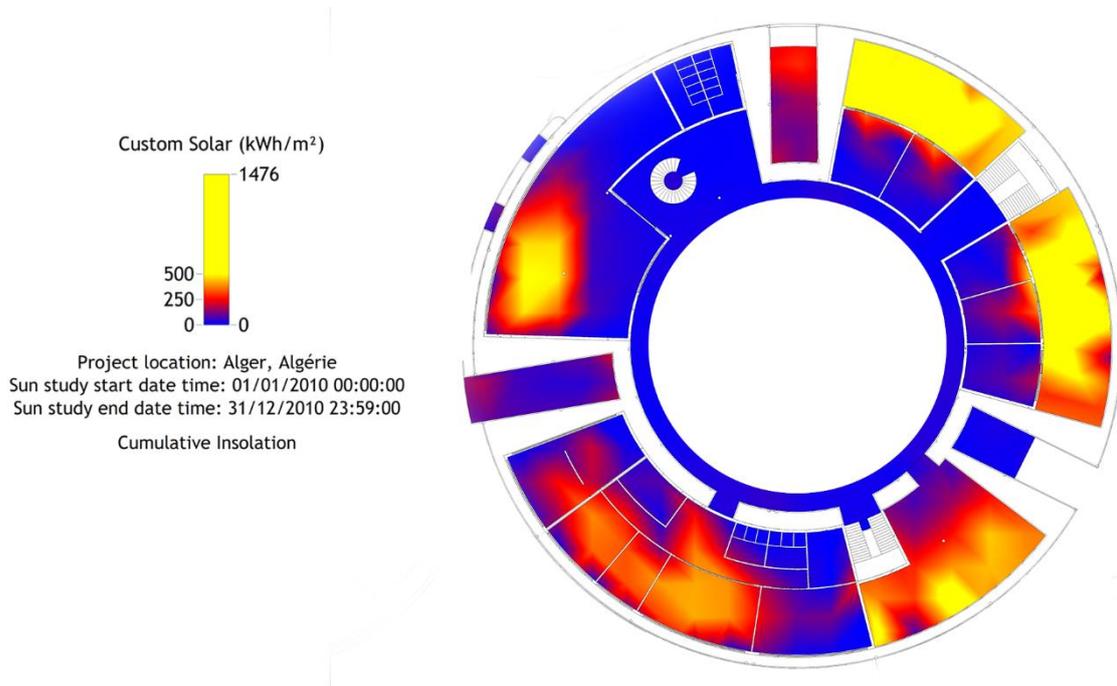


Figure 74 Carte d'ensoleillement des espaces intérieurs Niveau +01, source : Auteur

Pour ce qui est du 1^{er} étage, on peut remarquer l'importance de l'apport de l'éclairage zénithale ainsi que le patio en matière d'ensoleillement. On peut également remarquer la protection que constitue les terrasses jardins dans la protection des espaces intérieur de la surchauffe.

Conclusion

La simulation thermique est l'un des outils essentiels que doivent utiliser les architectes dans la prise de décisions soit en phase de conception, soit en phase de rénovation. La simplicité d'utilisation ainsi que la rapidité des résultats lui permettent de tester plusieurs scénarios en vue d'une optimisation du bâtiment en matière de confort, consommation, chauffage, refroidissement ... etc.

IV. APPROCHE CONCEPTUELLE

IV.1 Introduction

Afin de cerner les dimensions conceptuelles du projet, nous développons ici l'étude de différents exemples de projets de même nature, ils sont choisis parce qu'ils présentent à notre point de vue certains aspects intéressants. L'étude comprend une présentation générale de l'équipement ainsi qu'une étude de la disposition des espaces intérieurs et leur relation fonctionnelle et spatiale, cette étude permet de déterminer un programme spatial approprié sur le plan qualitatif et quantitatif et fonctionnel.

IV.2 Etude et analyse des exemples :

IV.2.1 EXEMPLE 01 : THE BLU PLANET AQUARIUM



Figure 75 The blue planet aquarium, source www.archdaily.com

IV.2.1.1 Présentation du projet :

- SURFACE : 10000 M²
- ANNEE : 2013
- ARCHITECTE : 3XN

THE BLUE PLANET a été déclaré l'une des 5 attractions touristiques les importantes du Danemark en 2012. et a été choisi comme meilleur projet phare dans le domaine de l'économie et du tourisme en raison de son influence sur le développement régional.

IV.2.1.2 Situation du projet :



Figure 76 Situation du projet The blue planet Aquarium, source : google earth pro

L'aquarium est construit sur une colline ou un monticule artificiel de 27 000 m² (2,7 ha ou 6,67 acres) au port de plaisance de Kastrup. La colline est située au bord de l'Øresund Sound, un détroit étroit séparant la Suède et le Danemark. L'aquarium est situé à proximité de l'aéroport et est accessible par différents modes de transport, tels que l'autoroute, le train, le métro, les bus et les voies publiques. Le site a une bonne visibilité depuis l'eau et le ciel.

IV.2.1.3 Etude du plan de masse :



Figure 77 Plan de masse The blue planet Aquarium, source : google earth pro

Le projet comprend dans son milieu immédiat une station d'épuration ainsi qu des laboratoires pharmaceutiques, il dispose d'une relation direct avec la mer

IV.2.1.4 Distribution intérieure :

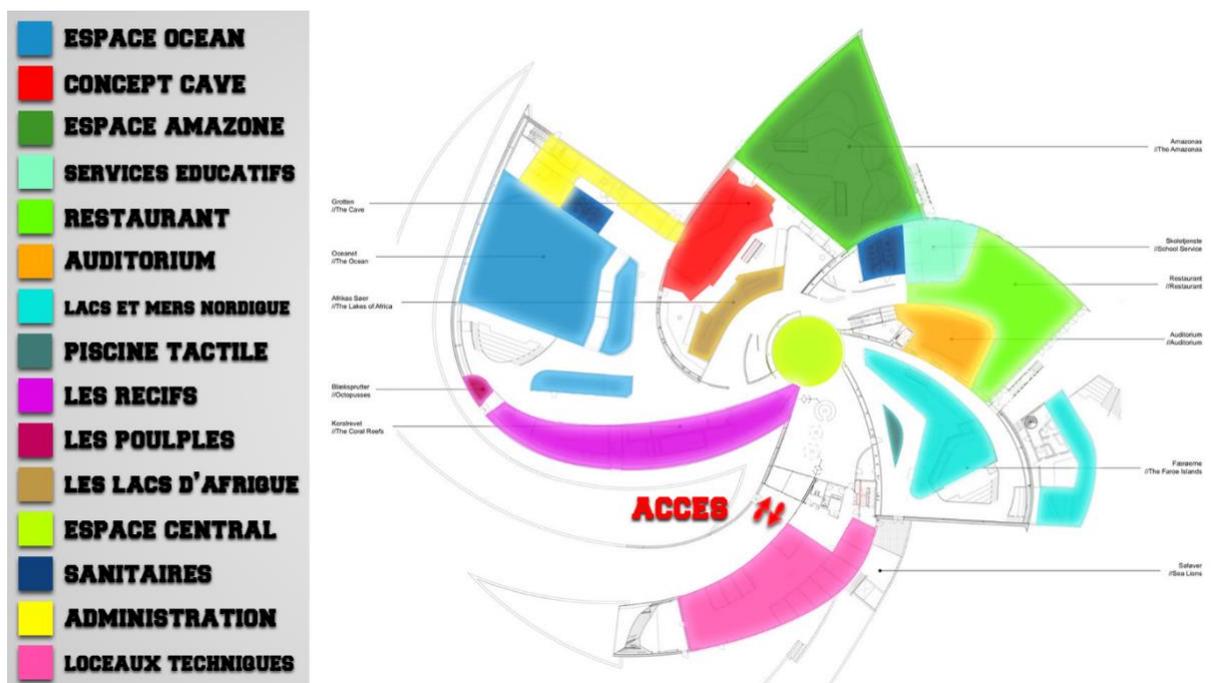


Figure 78 Plan intérieur The blue planet Aquarium, source : Auteur

IV.2.1.5 Etude de la circulation :



Figure 79 Plan de circulation The blue planet aquarium, source : auteur

La circulation du projet est organisée d'une manière radioconcentrique par rapport au point centrale qui est le hall d'accueil du projet ce qui permet de fluidifier la circulation.



Figure 80 Plan de circulation The blue planet aquarium, source : Auteur

Chapitre 03 : Approche conceptuelle

Le visiteur n'est pas contraint à un parcours précis, les zones d'exposition sont toutes accessibles depuis l'espace centrale.

IV.2.1.6 Les techniques utilisés :

a- Plaques en aluminium NOVELIS :

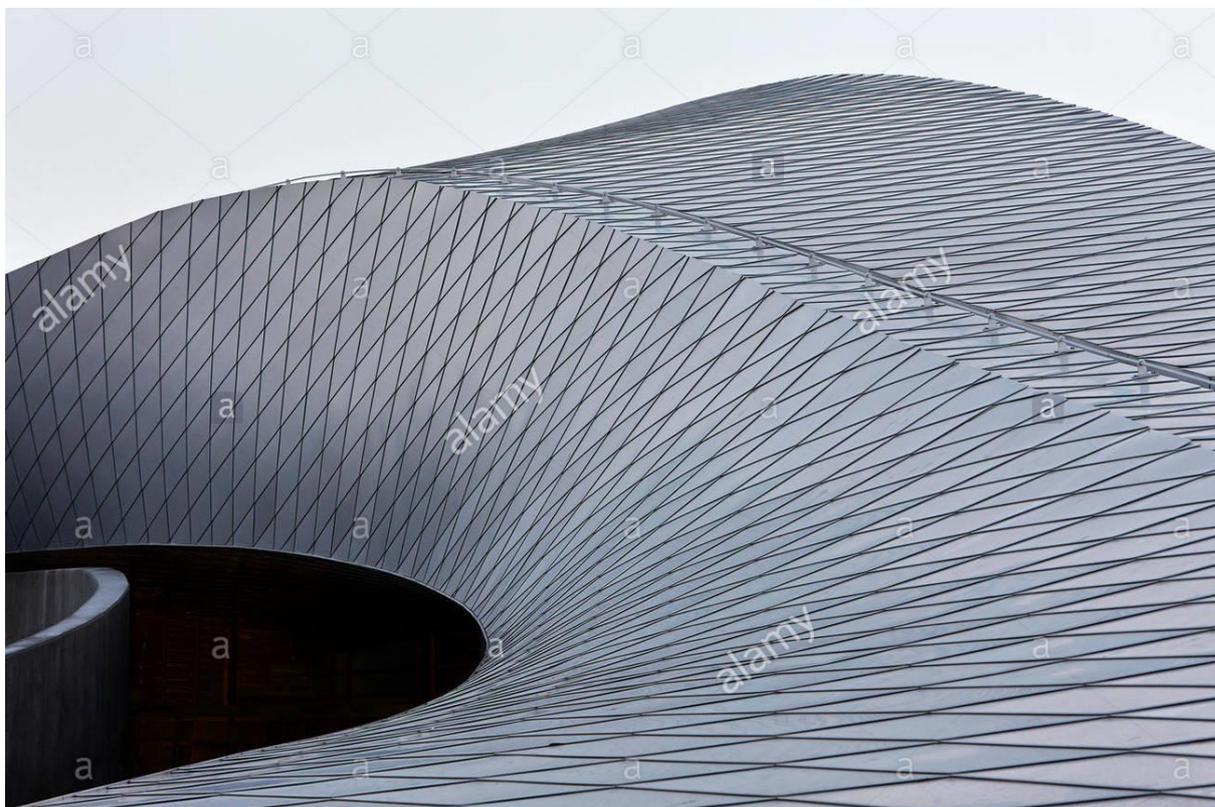


Figure 81 The blue planet aquarium, source www.archdaily.com

Connaissant les conditions difficiles auxquelles le revêtement en aluminium de l'aquarium serait confronté sur la côte danoise, les architectes se sont appuyés sur de l'aluminium **NOVELIS** pré-peint qui avait fait ses preuves pendant des décennies dans des climats extrêmes. Ce revêtement en aluminium offrirait les avantages d'une longue durée de vie et de faibles coûts de maintenance.

b- Eclairage naturel :

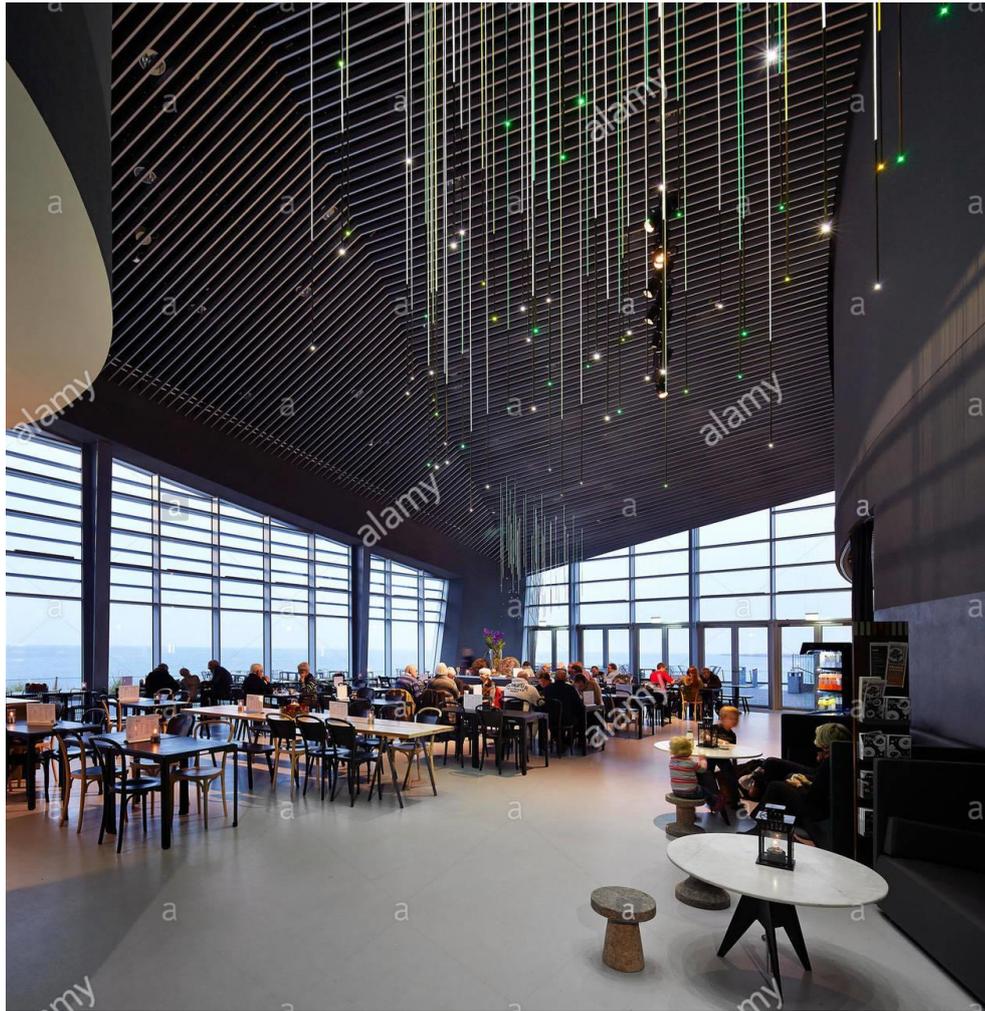


Figure 82 Intérieur The blue planet aquarium, source www.archdaily.com

Les architectes se sont confronté à l'impossibilité d'éclairer les aquariums naturellement mais ont néanmoins eu recours à l'éclairage naturel dans les espaces de regroupement et de travail comme les bureaux, la cafeteria ...

c- Utilisation Des LED :



Figure 83 Intérieur The blue Planet Aquarium, source : www.archdaily.com

La reproduction des environnements naturel des écosystèmes exposé est essentielle et pour cela, les concepteurs ont utilisés des systèmes d'éclairage a base de LED pour immerger les visiteurs et renforcer leur expérience d'une part, et permettre le bien être des poissons d'autre part.

L'utilisation des LED associé a des capteurs de mouvements permet également d'économiser de l'électricité.



Figure 84 Intérieur The blue Planet Aquarium, source : www.archdaily.com

d- Utilisation de l'eau de mer comme système de refroidissement :

Pendant l'hiver, l'eau de mer froide pompée dans le projet pour le remplissage des bassins est utilisée pour refroidir les aquariums d'eau froide passivement.

Pour la saison chaude ou la température de l'eau est plus élevée, un système de refroidissement électrique prend le relais afin de maintenir une température adéquate pour les poissons.

e- Collecte des eaux pluviales :

La forme fluide de la toiture permet de contrôler le sens d'écoulement des eaux pluviales, ce qui permet en l'occurrence de récupérer cette eau pour alimenter les bassins d'eau douce et ainsi soulager le système de drainage.

IV.2.1.7 Synthèse :

Ce projet démontre l'efficacité d'un système structurel métallique pour les formes fluides.

L'utilisation de l'aluminium est un choix efficace de par sa capacité réfléchissante en milieu dégagé comme la mer pour palier au problème de surchauffe, et aussi pour sa durabilité.

Ce projet démontre aussi l'efficacité de bâtir près de l'eau afin de bénéficier de l'environnement immédiat en matière d'approvisionnement en eau de mer qui est l'élément clé pour le bien être des écosystèmes.

IV.2.2 EXEMPLE 02 : ANTALYA AQUARIUM



Figure 85 Antalya Aquarium, source : www.archdaily.com

IV.2.2.1 Présentation du projet :

- **Architecte : Bahadır Kul**
- **Surface : 12000 M²**
- **Année d'ouverture : 2012**

En tant que l'un des plus grands complexes d'aquariums au monde, l'aquarium d'Antalya se compose d'un aquarium géant et d'espaces du monde de la neige. Classé parmi les 5 endroits les plus visités par les touristes en Turquie, l'aquarium comprend 68 réservoirs et 6800 mètres cubes d'eau. Étant le 5ème plus grand aquarium avec ses 5 millions de litres de capacité de réservoir principal, la structure offre un espace d'exposition, une cafétéria et une aire de jeux pour les enfants.

IV.2.2.2 Situation du projet :



Figure 86 Situation Antalya Aquarium, source : google earth pro

Le projet se situe au cœur d'Antalya, à 70 mètres de la plage de Konyaaltı

Bordé par un boulevard qui est l'extension du front de mer, le projet se trouve être dans un site touristique qui comprend un Hôtel et un Aqua palace.

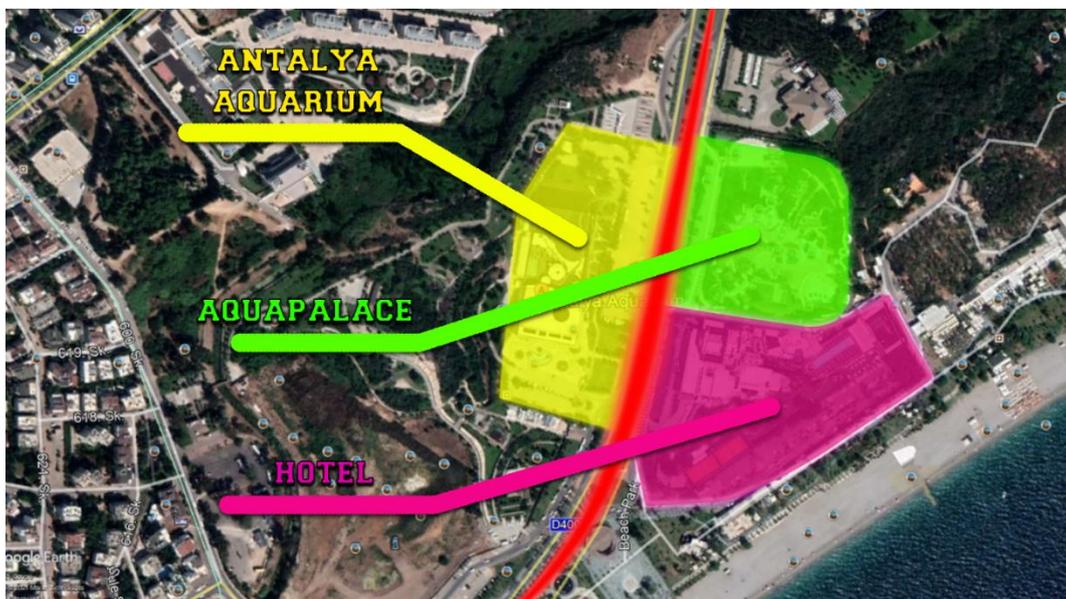


Figure 87 Plan de masse Antalya Aquarium, source : Auteur

IV.2.2.3 Etude du plan de masse :

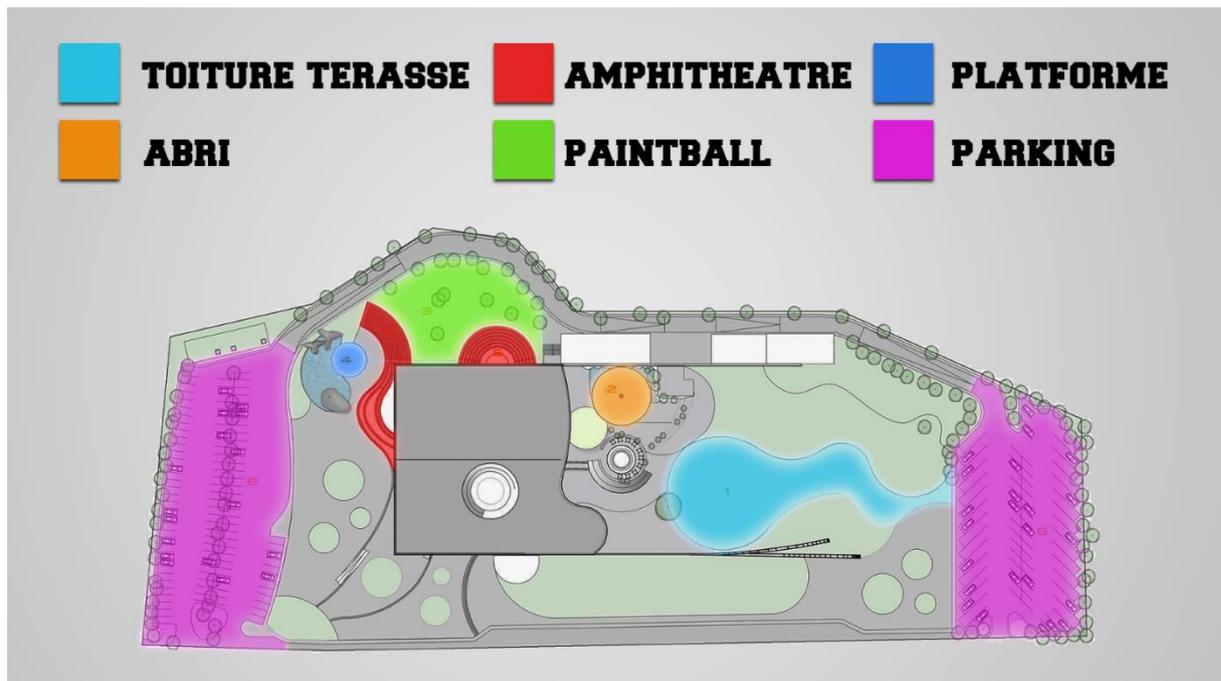


Figure 88 Plan de masse Antalya Aquarium, source : Auteur

L'organisation du projet en extérieur présente une diversité d'activité qui n'est pas forcément liée à la fonction principale du projet qui est l'exposition de spécimens aquatiques, l'architecte a clairement voulu créer des espaces de regroupement et de détente qui sont les plateformes, les amphithéâtre et le terrain de paintball.

Les parkings se trouvent de part et d'autre du projet afin d'absorber un flux de touristes conséquents.

IV.2.2.4 Organisation des niveaux :

a- Plan du 1^{er} étage :

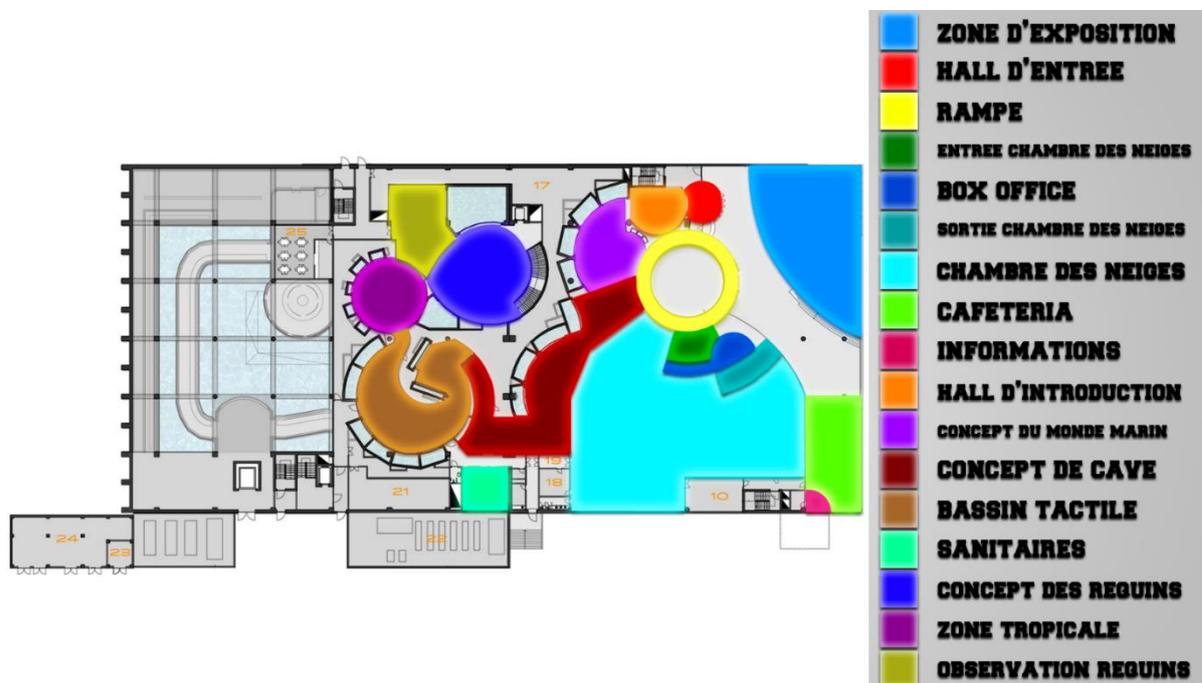


Figure 89 Antalya Aquarium plan d'étage niveau +1, source : Auteur

l'organisation de l'exposition de l'aquarium d'Antalya est fait sous forme de parcours qui suit une certaine hiérarchisation par rapport aux espèces exposés, l'exposition débute donc dans le 1^{er} étage ou le visiteur se trouve dans le choix de se diriger vers plusieurs activité notamment **le monde des neiges, la cafétéria, la zone d'exposition et le hall d'introduction** qui est le début du parcours d'exposition.

b- Plan du RDC :

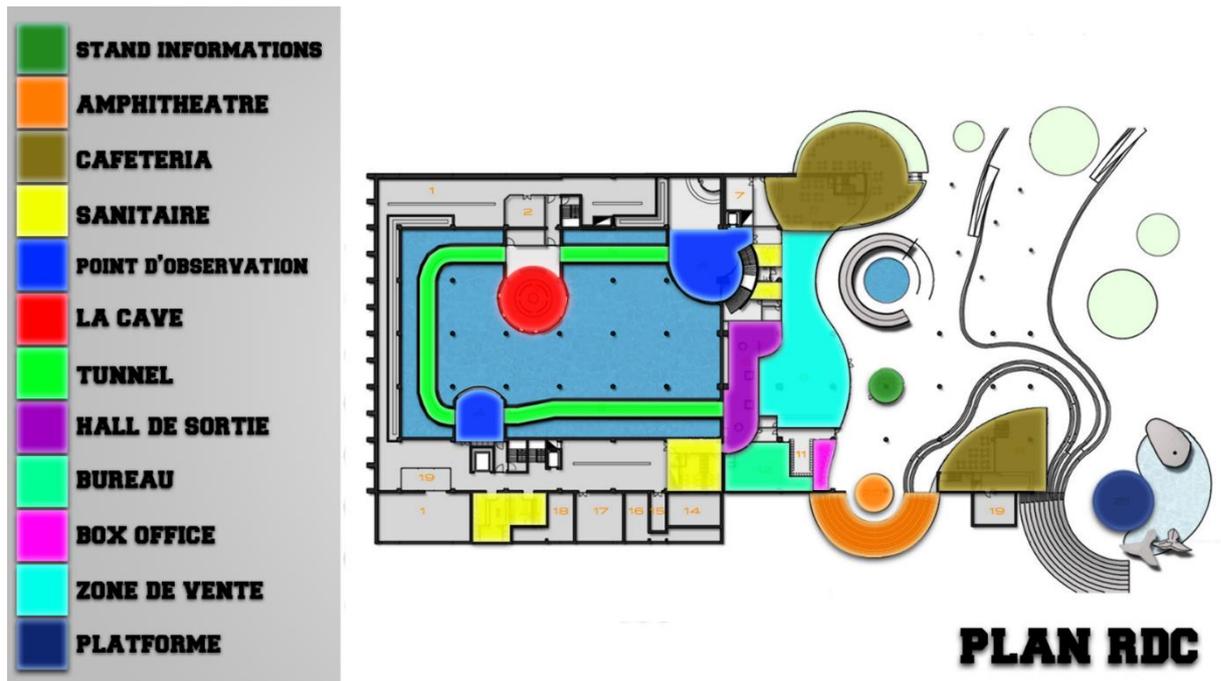


Figure 90 Antalya Aquarium espaces intérieur niveau 00, source : Auteur

Le parcours d'exposition se prolonge dans le Rez de chaussé ou le visiteur se trouve être immergé dans un tunnel qui traverse un aquarium géant et qui est marqué par des points d'observation, ce qui permet en l'occurrence d'offrir plusieurs expériences visuelles avec différents angles de vue.

La fin du parcours est marqué par une zone de vente de souvenir qui est suivi par une esplanade couverte qui se trouve être un espace intermédiaire entre le monde marin est l'extérieur.

IV.2.2.5 Organisation des espaces techniques :

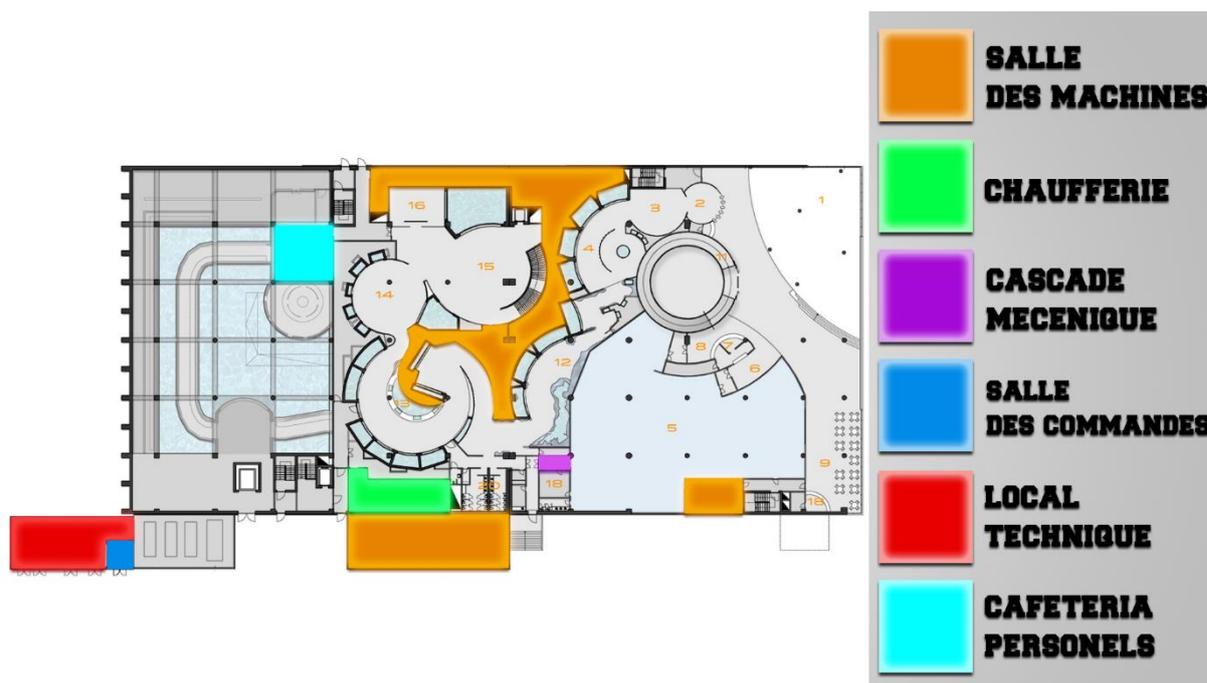


Figure 91 Organisation des espaces techniques niveau +01, Antalya aquarium, source : Auteur

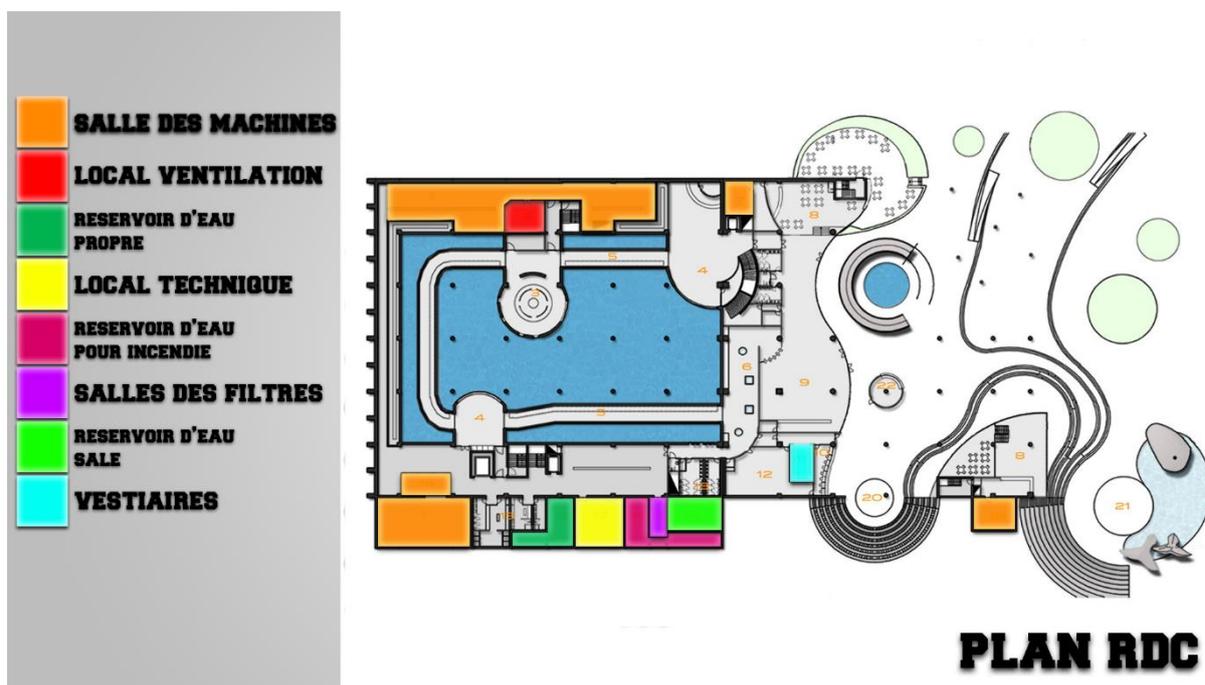


Figure 92 Organisation des espaces techniques niveau 00, Antalya aquarium, source : Auteur

l'aspect technique de l'aquarium dans se projet se présente d'une manière parallèle. Les espaces techniques essentiel au fonctionnement des systèmes de filtration et de gestion des bassins sont disposé de façon a permettre la circulation des employé sans pour autant gêner le parcours du visiteur.

IV.2.2.6 La circulation :

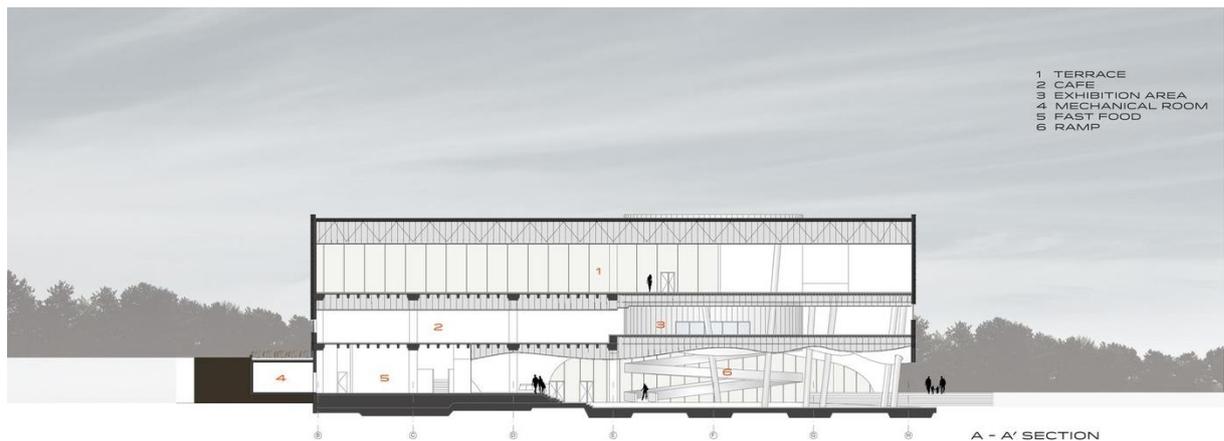


Figure 93 Coupe A-A Antalya aquarium, source : www.archdaily.com

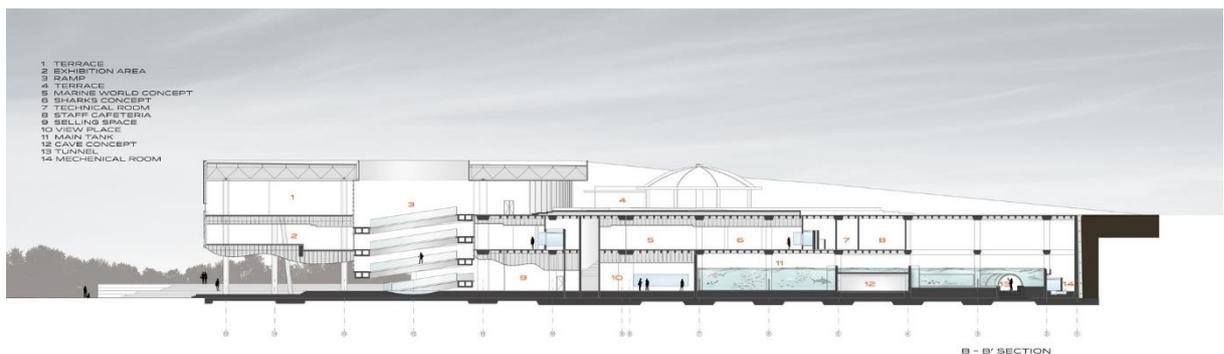


Figure 94 Coupe B-B Antalya aquarium, source : Auteur

L'utilisation de la rampe associé a un Patio est un choix bénéfique, la rampe permet une circulation verticale fluide et le patio assure une aération naturelle efficace pour les espace d'accueil et de service.

La partie exposition qui comporte les bassins ne dispose pas d'éclairage naturel afin de ne pas déstabilisé les écosystèmes vivants dans les bassins qui sont en condition normale peu exposé a lumière du soleil, et ainsi permettre de Contrôler les paramètres Vitteaux de ces espèces et leur offrir des condition optimales.

IV.2.2.7 Les façades :

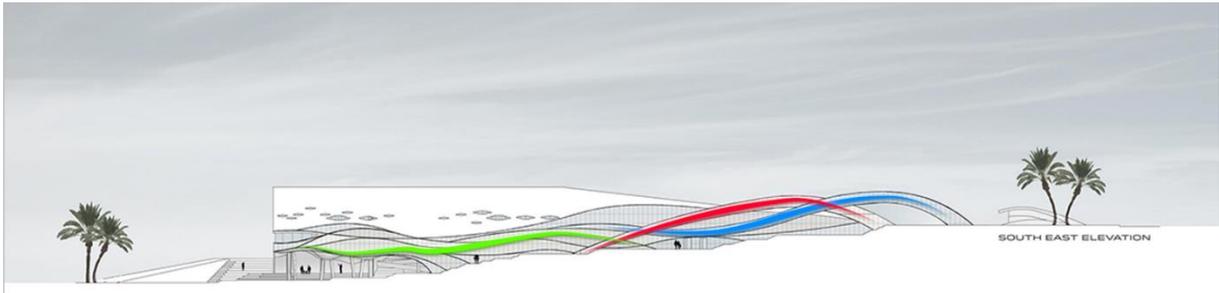


Figure 95 Façade latérale Antalya aquarium, source : www.archdaily.com



Figure 96 Façade principale Antalya aquarium, source : Auteur

Les principales décisions conceptuelles du projet expriment une détermination de disparaître dans la silhouette et de créer une certaine harmonie avec la topographie et de récréer la silhouette des vagues. Ce qui est clairement visible dans la perception qu'offre les façade du projet avec les lignes courbés.



Figure 97 Antalya aquarium, source : www.archdaily.com



Figure 98 Antalya aquarium, source : www.archdaily.com

La façade a une référence avec l'eau ou : La partie haute les ouvertures ont la forme des poissons. La partie basse vêtue avec des vagues ondulantes de différentes couleurs de verre

IV.2.2.8 Synthèse :

Ce projet nous permet de mieux comprendre le fonctionnement d'un aquarium et de démontrer l'impact touristique de ce type de projet et la façon de l'exploiter par un parcours qui permet l'immersion de l'utilisateur dans l'univers de la mer.

Le patio est une technique très bénéfique en matière d'aération des espaces intérieurs vu que l'aération est primordiale pour les parcours d'exposition qui sont totalement isolés et privés d'air de l'extérieur.

La diversité des activités peut également constituer un point fort selon l'emplacement du projet.

IV.2.3 EXEMPLE 03: KARLOVAC FRESH WATER AQUARIUM



Figure 99 KARLOVAC FRESH WATER AQUARIUM, source : www.archdaily.com

IV.2.3.1 Présentation du projet :

- Type de projet : **Aquarium d'eau douce**
- Année d'ouverture : **2016**
- Surface du projet : **2915 M²**
- Localisation : **KARLOVAC, CROATIE**

IV.2.3.2 Situation du projet :

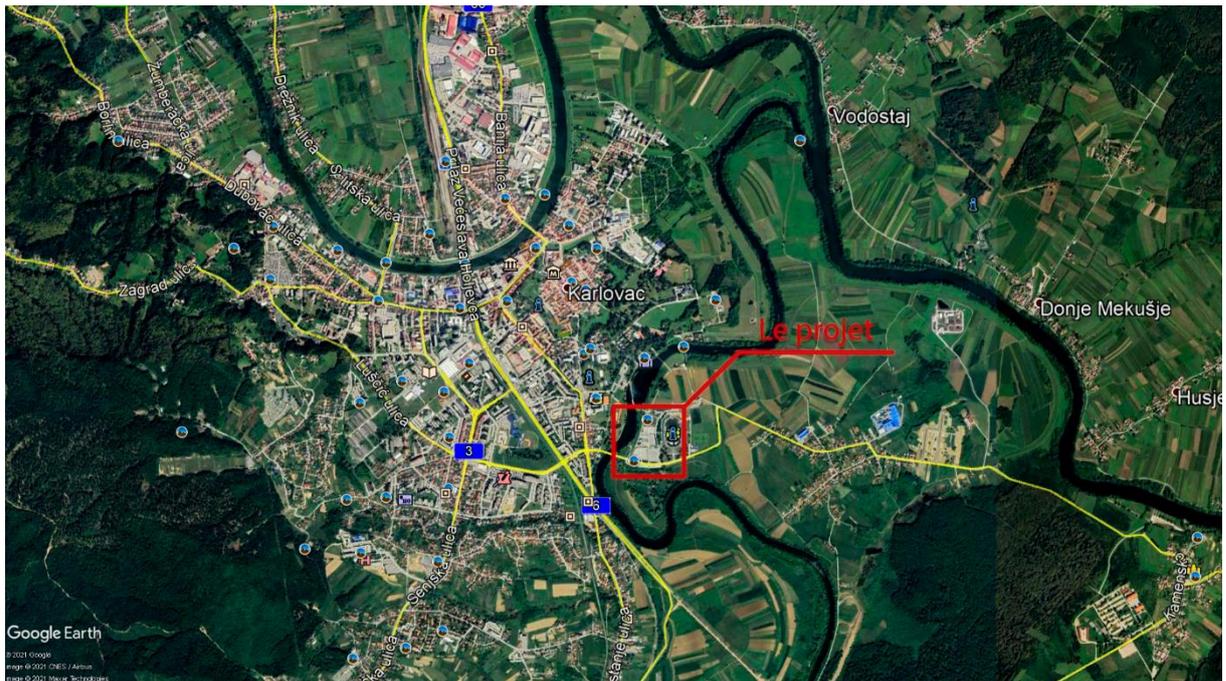


Figure 100 Situation KARLOVAC FRESH WATER AQUARIUM, source : google earth pro

Le projet se situe au bord de la rivière Korana, a l'Est de la ville de Karlovac

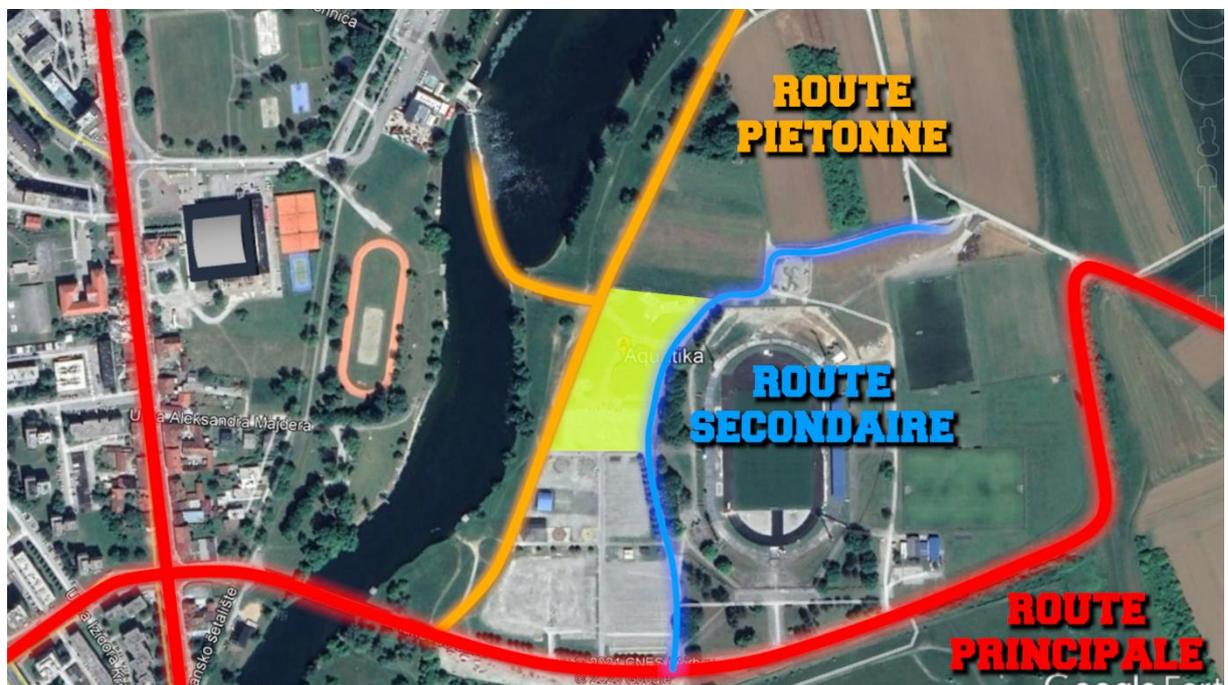


Figure 101 Environnement immédiat KARLOVAC FRESH WATER AQUARIUM, source : Auteur



Figure 102 Environnement immédiat KARLOVAC FRESH WATER AQUARIUM, source : Auteur

IV.2.3.3 Etude de plan de masse :



Figure 103 Plan de masse KARLOVAC FRESH WATER AQUARIUM, source : Auteur



Figure 104 plan de masse KARLOVAC FRESH WATER AQUARIUM, source, Auteur

L'étude de plan de masse permet de remarquer clairement la volonté des architectes de prolonger le parcours piéton au sein du projet par la création de l'espace de regroupement centrale vers lequel convergent les 3 axes piétons.

Le projet dispose donc de 3 accès piétons et un accès mécanique directement sur le parking.



Figure 105 Plein et vide au niveau du plan de masse KARLOVAC FRESH WATER AQUARIUM, source :
Auteur

Le projet donne une impression de brèche dans le sol



Figure 106 Vue Aérienne KARLOVAC FRESH WATER AQUARIUM, source : www.archdaily.com

IV.2.3.4 Etude de la distribution intérieure :

a- Le niveau 00 :

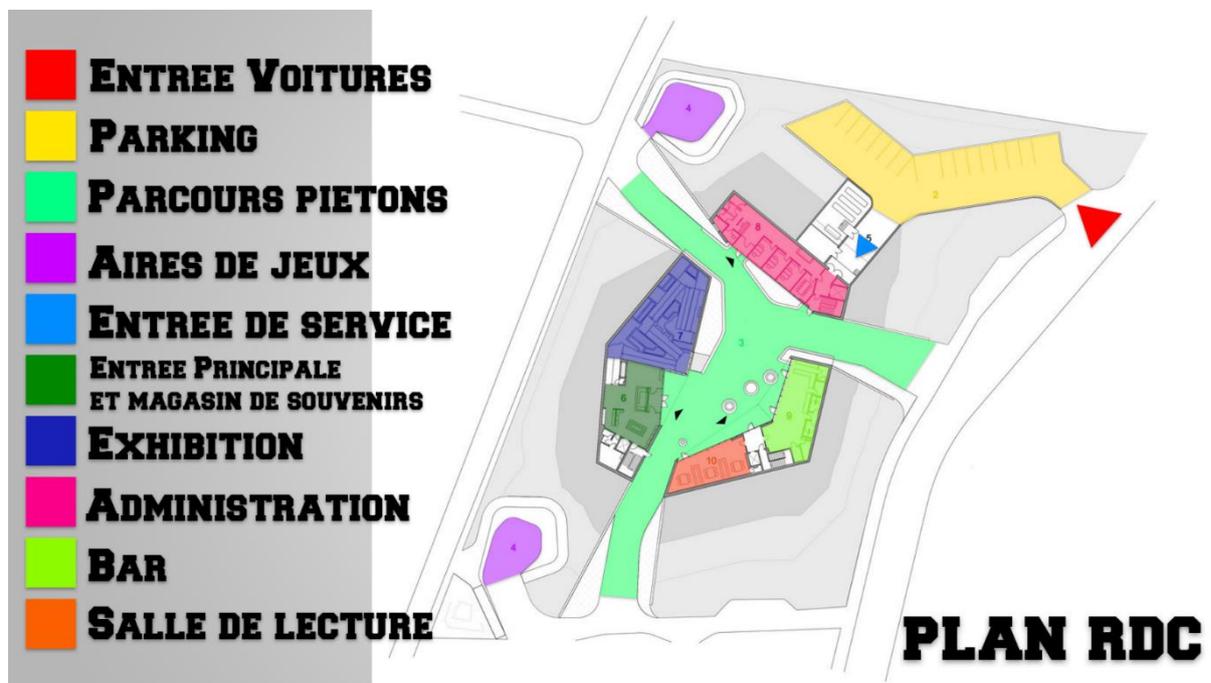


Figure 107 Espaces intérieurs KARLOVAC FRESH WATER AQUARIUM niveau 00, source : Auteur

b- Le niveau -01 :

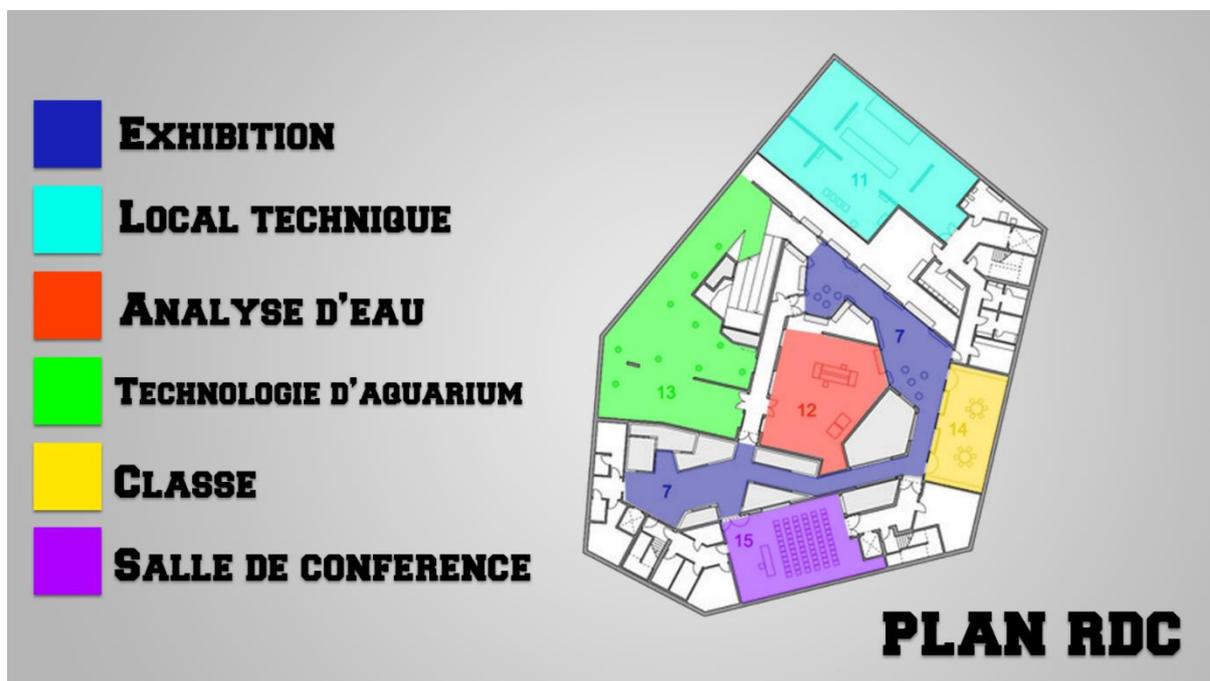


Figure 108 Espaces intérieurs KARLOVAC FRESH WATER AQUARIUM niveau -01, source : Auteur

IV.2.3.5 Les coupes :

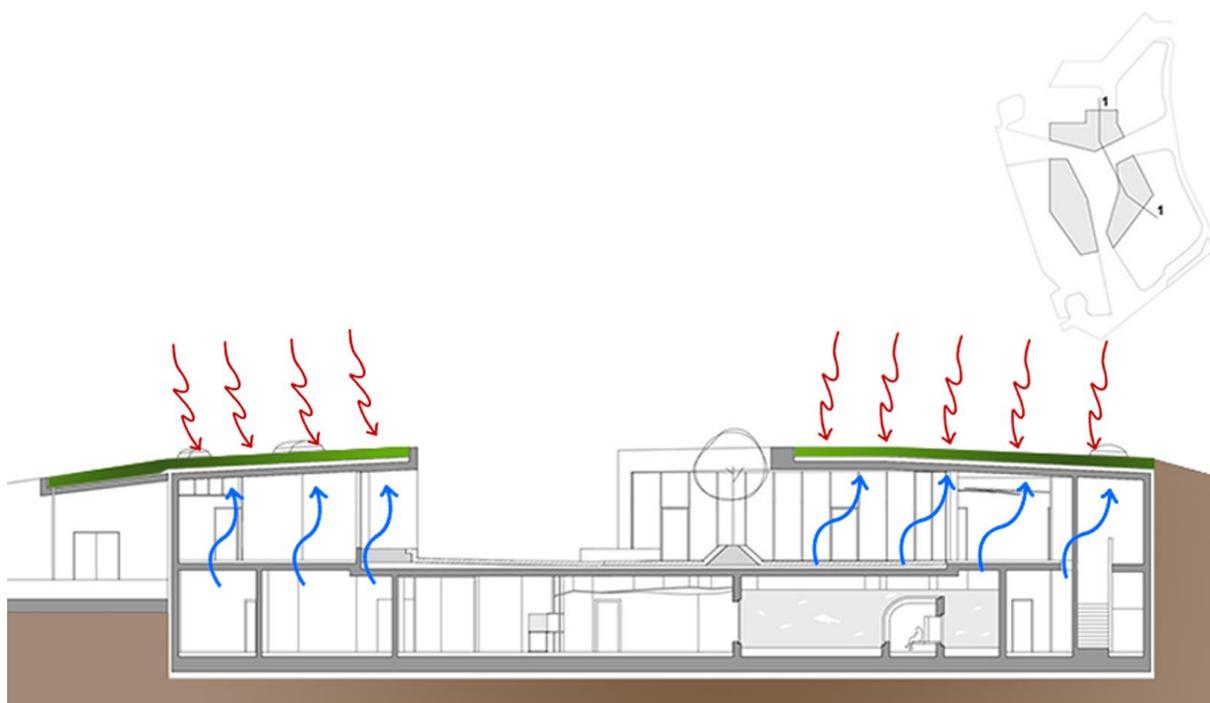


Figure 109 Coupe 1 KARLOVAC FRESH WATER AQUARIUM, source : www.archdaily.com

Chapitre 03 : Approche conceptuelle

La coupe du projet illustre un choix de conception judicieux, l'enterrement du projet et la couverture végétale constituent un élément primordiale pour préserver les conditions les paramètres climatique et physiologique intérieur du bâtiment et donc fournir un microclimat dans les bassin pour permettre le bien être des écosystèmes.

IV.2.3.6 Les façades :

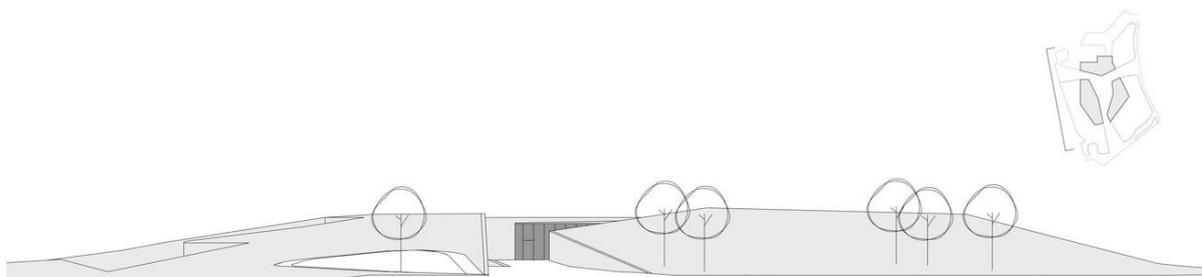


Figure 110 Façade KARLOVAC FRESH WATER AQUARIUM, source : www.archdaily.com

Le choix de l'architecte quant à l'enterrement du projet se projette directement sur les façades ce qui donne lieu à des façades végétalisées.

Synthèse

Ce projet permet d'illustrer l'importance d'une bonne intégration du projet vis-à-vis du site tant au niveau fonctionnel qu'au niveau urbain par la volonté des architectes de créer une continuité urbaine par le prolongement des flux piétons urbain même au sein du projet au moyen des rampes.

Il démontre également l'efficacité des toitures végétales en matière de d'isolation et maintien du bien être intérieur pour les écosystèmes vivants et les usagers.

IV.3 Programmation

Introduction

Le Programme est un moment fort du projet. C'est une information obligatoire à partir de laquelle l'architecture va pouvoir exister. C'est un point de départ mais aussi une phase préparatoire¹.

La programmation est une étape cruciale dans la démarche conceptuelle de notre projet, elle permet de mettre en pratique les informations retenues de l'analyse des différents exemples existants afin de les confronter aux exigences spécifiques pour ce type de projet pour en faire ressortir un programme spatial qui prend en considération toutes les données requise pour l'élaboration de ce projet.

IV.3.1 L'objectif de la programmation:

- Définir les fonctions et les activités de l'équipement et leur hiérarchisation.
- Etudier les différents modes de relations fonctionnelles.
- Définir un schéma général d'organisation spatial du projet.
- Traduire le besoin en programme d'espaces et des surfaces.
- Etablir le programme de base

IV.3.2 Type d'utilisateurs

- a- **Le grand public** : spectateurs, les visiteurs les touristes et les invités 'honneurs.....etc. Les familles (parents, jeunes enfants, adolescents).
- b- **Groupes spécialisés** : médecins et les présentateurs de spectacle.
- c- **Les étudiants et les chercheurs**
- d- **Administrateurs** : directeur, gestionnaire, comptable, secrétaire, aide administratif....
- e- **Les employés** (vendeurs et commerçants, ...)
- f- **Personnels de coordination** d'entretien et de service : responsable des salles de filtration animateurs, programmeurs, responsable de communication, techniciens (lumière, son,..).

¹ Centre de la nature chapitre 5 approche programmatique

IV.3.3 Architecture et organisation des espaces

IV.3.3.1 Disciplines liées aux aquariums

a- L'aquaculture :



Figure 111 Ferme aquacole à Kotor, Montenegro source : www.photocontest.smithsonianmag.com

C'est l'activité professionnelle qui consiste à s'occuper d'organismes aquatiques dans une ferme d'aquaculture ou un élevage aquacole¹.

b- L'aquariologie (science de l'aquarium) :

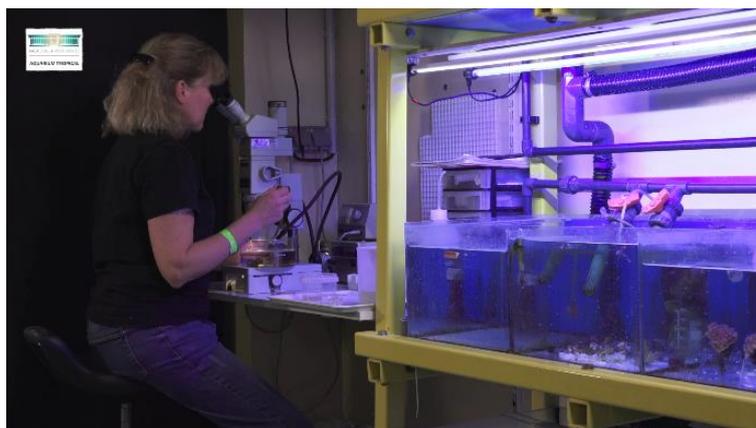


Figure 112 Aquarium de recherche en laboratoire, source : www.aquarium-tropical.fr

¹ www.aquariophilie.wikibis.com

Chapitre 03 : Approche conceptuelle

L'**aquariologie** est la science de l'aquarium et de la vie aquatique en captivité. L'étude porte sur les faunes en ichtyologie et les flores en botanique aquatique, dans un écosystème captif tel que l'aquarium et le bassin de jardin. Elle regroupe quelques étapes importantes des sciences de divers domaines d'activités avec l'eau: aquaculture, aquariophilie, biologie, zoologie, etc¹.

c- L'aquariophilie :



Figure 113 Bassin aquatique, source : www.aquaportail.com

C'est le loisir qui consiste à s'occuper d'organismes aquatiques dans un aquarium domestique ou un étang privé.

IV.3.3.2 Normes de circulation

L'aquarium public comme tout équipement contenant de l'exposition a certaines dimensions à respecter pour offrir aux visiteurs un circuit fluide et confortable. Notamment au niveau des couloirs d'expositions , De ce fait on s'est référé aux normes de leur dimensions dans les musées qui se présentent comme suit² :

¹ www.aquaportail.com

² Neufert edition 11 , page 250

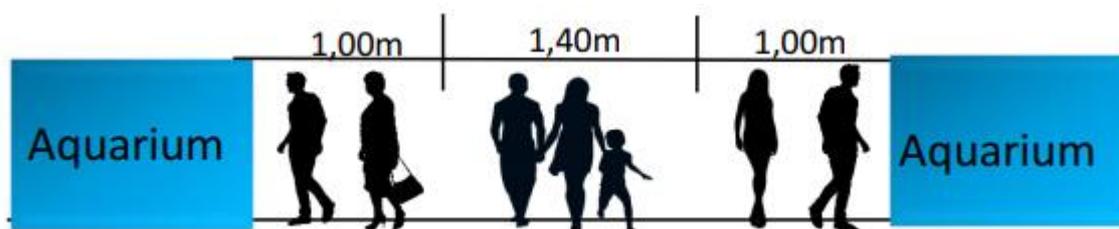


Figure 114 Dessin montrant les normes de circulation dans les aquariums, source : MEMOIRE DE MASTER EN ARCHITECTURE Aquarium Public "Le secret du rocher noir " présenté par G. Yahi et C. Metref

IV.3.3.3 Les différents espaces des aquariums publics

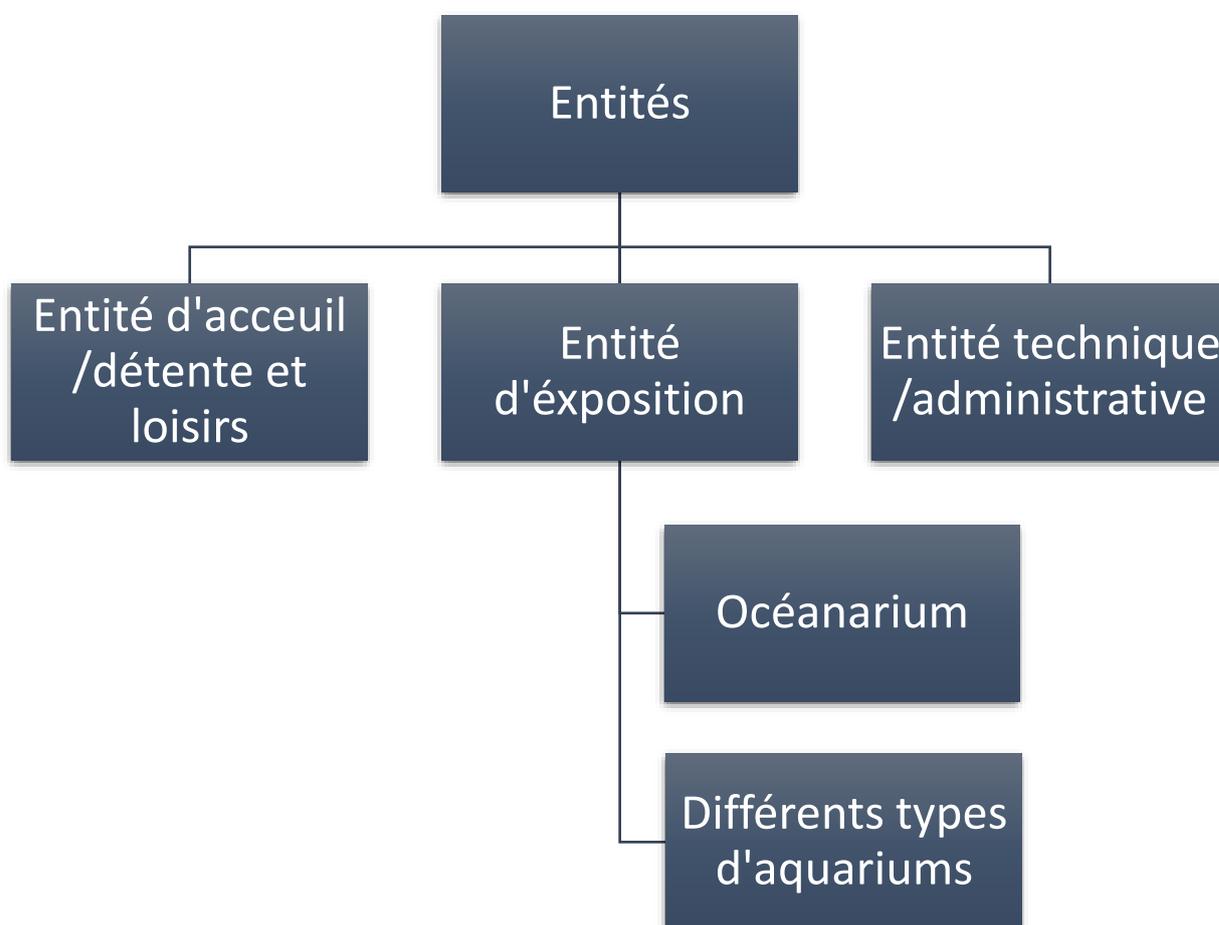


Figure 115 Schéma des entités d'aquariums, source : auteurs

IV.3.3.3.1 Accueil, restauration et boutique

Entité indispensable dans tout équipement public, présentant un espace d'accueil information/billetterie : pour la bonne gestion de l'équipement, une partie boutique pour achat de souvenir et un restaurant dont la conception reste plus ou moins facultative.

IV.3.3.3.2 Détente et loisir :

Le loisir est une activité qui apporte des satisfactions, ses objectifs sont d'assurer un équilibre psychologique et la détente. Il englobe les activités qui n'ont rien à voir avec la fonction de vulgarisation et exposition. Il permet d'assurer une grande rentabilité et créer une ambiance et une convivialité à l'intérieur de l'équipement

IV.3.3.3.3 Les types d'aquariums

L'exposition des êtres marins se fait dans plusieurs types de bassins selon la taille et la constitution. Les aquariums se classifient selon leur utilisation, la composition de leur eau et sa température et le peuplement des poissons.

a- Selon l'utilisation

- **Aquarium décoratif**
- **Aquarium de reproduction** (meilleur contrôle des paramètres de confort)
- **Aquarium d'élevage**
- **Aquarium de quarantaine** (soins/ prévention)

b- Selon la composition de l'eau

- **Aquarium marin** (concentration saline entre 30 et 40 g/l): poissons habitants la mer/océan
- **Aquarium eau saumâtre** (concentration saline entre 1 et 30 g/l (certaines rivières) se rapproche de l'aquarium régional
- **Aquarium d'eau douce** (lacs , étang , rivières) concentration saline inférieure à 1g/l . habitat lacustre , fluvial

c- Selon la température de l'eau

- **Aquarium d'eau froide** Entre 5°C et 15°C
- **Aquarium eau tempérée** : entre 18°C et 22°C pour poissons exotiques résistants (durant l'hiver une résistance électrique empêche que la température s'abaisse)
- **Aquarium tropical** : entre 23°C et 30°C (grâce à l'utilisation d'une résistance électrique reliée à un thermostat.)

d- Selon le peuplement

- **Aquarium communautaire**: contenant des variétés qui ne se côtoient pas normalement dans la nature .(l'adaptation à une nouvelle qualité d'eau est nécessaire)
- **Aquarium spécifique** : conçu pour l'élevage d'une unique espèce de poisson
- **Aquarium régional** des espèces de poissons et de plantes appartenant à un même habitat
- **Aquarium récifal** : dans lequel pousse un récif de corail (nécessite des dispositifs de filtration plus complexes du a la santé fragile du corail)
- **Aquarium hollandais** : domestique contenant principalement des plantes et peu de poissons
- **Aquarium fish only** : contenant que des poissons donc moins onéreux et moins complexe

Le point commun de tous les types d'aquarium : le bien-être de la faune et de la flore. Ainsi, l'utilisation de tests d'eau avec bandelettes, comme des tests bandelettes ou des tests colorimétriques, est indispensable pour connaître le milieu de vie des habitants du bac¹.

IV.3.3.3.4 Océanarium

C'est un aquarium géant spécialisé dans la présentation d'espèces animales/végétales marines, vivant dans un habitat océanique ou pélagique, au sein d'aquariums de grande taille contenant plusieurs millions de litres d'eau de mer².

¹ www.aquaportail.com

² www.wikizero.com

IV.3.3.5 Entité technique et administrative

Cette entité englobe les espaces techniques essentiels au bon fonctionnement des différents dispositifs présent au sein du projet ainsi que les espaces administratives qui ont pour but la gestion et la coordination entre les différentes fonctions.

IV.3.4 Programme retenue

IV.3.4.1 Tableau comparatif des exemples

Projets	Karlovac Freshwater		The blue planet		Antalya aquarium		Espace retenu
Entités	Espace	Surface (m ²)	Espace	Surface (m ²)	Espace	Surface (m ²)	
Fonction d'accueil	Hall d'accueil	90			Hall d'accueil	25	Hall d'accueil
			Espace centrale	150			Espace centrale
Exposition	Parcour avec aquarium d'eau douce	360					
			Zone ocean	900	Zone ocean	350	Zone mediteranienne
			zone amazone	600			Zone atlantique
			Grottes	300	Grottes	170	Grottes
			Zone tropicale	250	Zone tropicale	80	Zone tropicale
			Les recifs	300			Les recifs
			Lacs et mers nordique	1000			
					Bassins des requins	200	
					Concept du monde aquatique	120	
					Zone d'exhibition	270	Zones d'exhibition
Formation et enseignement					Points d'observation	200	Points d'observations
					Bassins tactiles	150	Bassins tactiles
	Bibliothèque	70					Bibliothèque
	Auditorium	120	Auditorium	150			Auditorium
	Classe pédagogique	80	Classe pédagogique	120			Classe pédagogique

Chapitre 03 : Approche conceptuelle

Commerce et service	Bar	100						
	Magasin de souvenir	90	Espaces de ventes	350	Espaces de ventes			
			Restaurant	360	Restaurant			
				Cafeteria (2)	210 + 320	Caféteria		
Détente et loisir	Aires de jeux				Aires de jeux			
					Amphithéâtre	200	Amphithéâtre	
					Plateforme	80		
					Chambres des neiges	600		
Gestion et coordination	Administration	150	Administration	160	Administration		Administration	
					Stand d'informations	25	Stands d'informations	
Loceaux techniques	Salles des machines	250	Salles des machines	350	Salles des machines (3)	285 + 136 + 324		
	Laboratoire d'analyse d'eau	160						
	Téchnologie d'aquariums	250						
					Climatisation	50		
					Réservoir d'eau salé	60		
					Réservoir d'eau d'incendie	40		
					Réservoir d'eau propre	60		
				Chambre des filtres	20			
				Salles des commandes				
Stationnement	Parckings		Parckings		Parckings		Parckings	

IV.3.4.2 Programme retenue

Programme retenu						
Enités	Sous entités	Espaces	Nombre	Surface	Total	
Fonction d'accueil	Acceuil	Hall d'accueil	1	300	300	340
	Orientation	Stands d'information	2	20	40	
Exposition et vulgarisation	Exposition méditeranienne	Aquarium	1	3500	3500	9100
		Exposition	1	400	400	
	Exposition Dauphins	Aquarium	1	2000	2000	
		Exposition	1	200	200	
	Exposition divers	Aquarium	1	1000	1000	
		Exposition	1	200	200	
	Les recifs coraliens	Aquarium	1	500	500	
		Exposition	1	100	100	
		Enclos Otaries	1	1000	1000	
		Bassins tactiles	1	200	200	
Fonction éducatives		Bibliothèque	1	400	400	900
		Auditorium	1	500	500	
Commerce et services	Restauration	Restaurant	2	400	800	1700
		Caféteria	3	200	600	
	Services	Zones de ventes	10	30	300	
Détente et loisir		Delphinarium	1	500	500	900
		Aires de jeux	1	150	150	
		Sports aquatiques clubs			0	
		clubs	5	50	250	

Chapitre 03 : Approche conceptuelle

Gestion et administration	Bureau de directeur	1	60	60	600
	Bureau de secrétaire	1	30	30	
	Bureau	8	40	320	
	Salle de réunion	1	80	80	
	Salle de tirage	1	40	40	
	Archives	1	30	30	
	Sanitaires	2	20	40	
Loceaux techniques	Laboratoire d'analyse d'eau	2	200	400	2770
	Salle des machines	1	300	300	
	Climatisation	2	60	120	
	Reéservoir d'eau d'incendie	1	100	100	
	Chambre des filtres	1	500	500	
	Reservoir d'eau salé	1	300	300	
	Salle de quarantaine	5	100	500	
	Dépôt de nourriture	1	150	150	
	Dépôt de materiel	1	400	400	
	Salles des commandes			0	
	Stationnement	Terrestre	Parckings		
Aquatique		Port de plaisance			
Total				16310	

Conclusion

Cette démarche suivie nous mène à mieux cerner la thématique de l'équipement avec toutes les exigences qu'il comporte elle me permet aussi de définir les premières lignes directrices de la conception et le but recherché dans cette étude est d'acquérir une capacité de concevoir un équipement digne de sa fonction épousant le contexte dont il a été imaginé.

IV.4 Analyse de site

Introduction

L'aboutissement du projet a sa réussite en fonction de la pertinence d'implantation approprié dans un tissu adéquat qui permettra l'attractivité, le bon fonctionnement de l'équipement et sa lecture ne sont possible qu'à travers les vérification et les relation qui sont défini par le choix de projet.

IV.4.1 Présentation de la ville de ANNABA :



Figure 116 Vue aérienne Annaba, source : www.Alamyimages.fr

C'est la quatrième ville d'Algérie en nombre d'habitants, après la capitale Alger, Oran et Constantine, dits Annabis (également appelés Bônois et Bônoises). L'agglomération englobe les villes d'El Bouni, El Hadjar et Sidi Amar, qui forment à présent une véritable couronne autour de la ville d'Annaba et dont les liens avec cette dernière sont de plus en plus denses. La ville

Chapitre 03 : Approche conceptuelle

s'est considérablement développée depuis l'implantation de l'usine d'El Hadjar (à une dizaine de kilomètres au sud) qui draine de la main d'œuvre de toute la région ¹.

IV.4.2 Présentation de la commune de CHETAIBI :



Figure 117 Vue aérienne de Chetaibi, source : www.commons.wikimedia.org

Erigée au rang de chef-lieu de Daïra au dernier découpage, elle continue à rayonner sur un territoire bien déterminé conformément aux composantes des influences respectives au territoire physico spatial et socio-économique. Elle s'inscrit dans le massif de l'Edough, occupe une grande forêt de chêne liège s'étalant sur une superficie de 11129 ha, très peu de terrains sont exploités par l'agriculture et la population des zones rurales et les mechtas².

¹ www.solitaire23.unblog.fr

² Mémoire de magister, ESSAI D'EXPLOITATION DE L'ECOTOURISME DANS LA COMMUNE DE CHETAIBI

Chapitre 03 : Approche conceptuelle

Le système urbain de Chetaibi est dominé par son agglomération chef-lieu et ses agglomérations secondaires d'El –Ezla et Zaouia qui ne répondent qu'à leur propre besoin. La concentration du niveau de développement se localise dans l'agglomération chef-lieu, et répond à toutes activités et tous les équipements que dispose la commune.

Des atouts appréciables liés à sa position géographiques et à l'importance des ressources touristiques, lui permettant d'organiser un territoire plus large que le contexte de la commune, son influence pourrait s'étendre jusqu'à la commune d'El Marsa (wilaya de Skikda)¹.



Figure 118 Situation de la commune de Chetaibi, source : Auteur

¹ ESSAI D'EXPLOITATION DE L'ECOTOURISME DANS LA COMMUNE DE CHETAIBI, MEMOIRE DE MAGISTER PAR CHABBI KARIMA

Chapitre 03 : Approche conceptuelle

La commune de chetaibi est un village cotier située entre deux pôles économiques importants du pays à savoir Annaba et Skikda. A 60 Km du chef-lieu de la wilaya d'annaba, et à la limite Ouest de la wilaya de Skikda.

- Au Nord par la mer méditerranéenne
- Au Sud par la commune de Tréat
- A l'Est par la commune de Seraidi et la commune d'Oued El Aneb
- A l'Ouest par la commune d'El Marsa (wilaya de Skikda)

IV.4.3 Aperçu historique :



Figure 119 Ancienne photo de chetaibi

L'histoire de Chetaibi remonte à plus de 8 siècles avant Jésus-Christ. Elle a été fondée par les phéniciens comme comptoir commercial, prise ensuite par les Romains (appelée Tacatua un nom berbère qui signifie « forteresse »)¹.

Au point de vue administratif, Chetaibi est l'une des plus vieilles communes d'Algérie, elle a été érigée en 1869, d'abord nommée Takouch puis Herbillon (nom d'un général français) durant la période de la colonisation, en 1965 elle a pris le nom de Chetaibi (martyr de la région).

¹ ESSAI D'EXPLOITATION DE L'ECOTOURISME DANS LA COMMUNE DE CHETAIBI, MEMOIRE DE MAGISTER PAR CHABBI KARIMA

Chapitre 03 : Approche conceptuelle

- Le port était le seul atout économique de la commune autour duquel a été conçue la première structure urbaine.
- En 1990, la commune a évolué en devenant un chef-lieu de daïra.) La carte no4, nous montre l'évolution urbaine de la commune de Chetaibi

IV.4.4 Le relief :



Figure 120 Carte topographique de la zone de chetaibi, source : google maps

Selon la carte des pentes, on remarque une bande large couvrant la partie Nord de la commune, dont les pentes sont supérieures à 25%. Par contre dans la partie Sud, les pentes sont comprises entre 12% et 25%. La classe comprise entre 0 % et 5% est faible, elle se trouve au sud de l'aire communale.

En effet, d'après les classes dominantes des pentes, on peut dire que le relief de la commune est très accidenté dans la presque totalité du territoire communal, ce qui favorise l'érosion et les glissements de terrains, problème majeur dans la commune.

IV.4.5 Présentation du site d'intervention :



Figure 121 Vue aérienne de la commune de Chétaibi, source : google earth

Le site se situe au nord est de la commune de Chétaibi a 2km du centre urbain dans une zone classé a potentiel touristique et se trouve a la fin de l'extension du boulevard de front de mer prévu par le P.D.A.U.



Figure 122 Vue aérienne du site, source : google earth

Le site est donc accessible depuis cette extension qui constitue l'unique accès mécanique et piéton au site. Le site dispose d'une relation directe avec la mer.

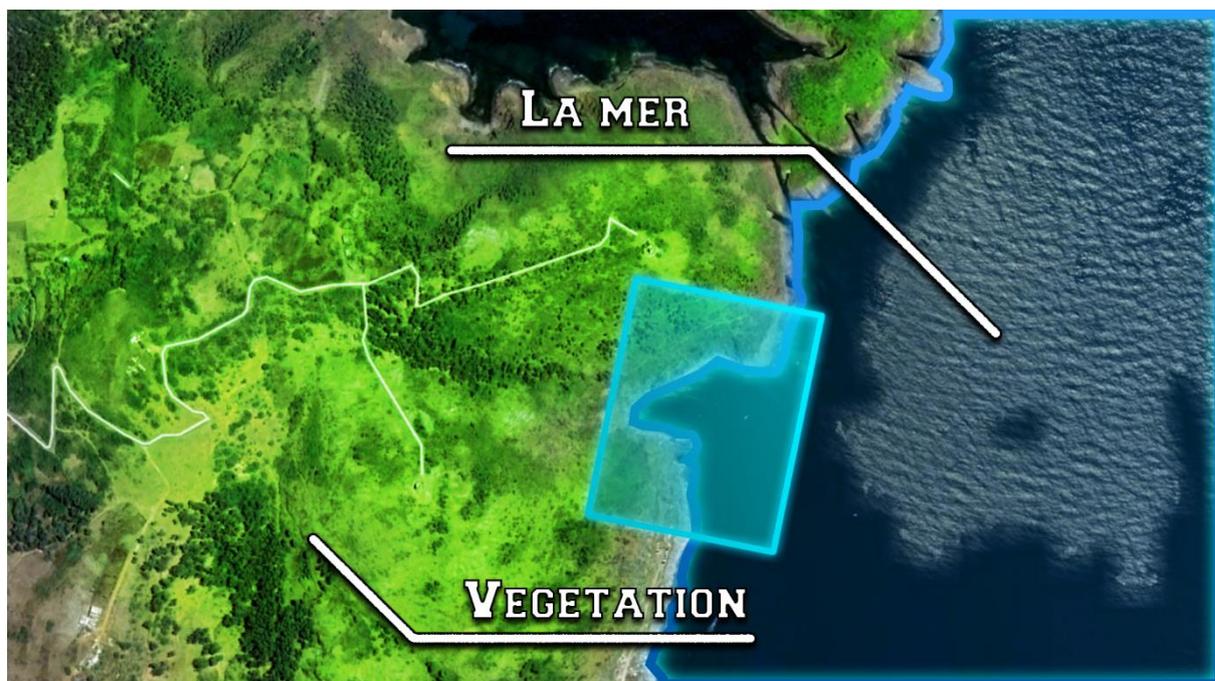


Figure 123 Vue aérienne du site avec environnement naturel, source : Auteur

Le site est situé dans un milieu naturel non urbanisée, d'où la présence massive de végétation aux alentours et dispose également d'une relation directe avec la mer qui lui procure une vue panoramique sur la mer



Figure 124 Photo du site, source : Auteur



Figure 125 Photo du site, source : auteur



Figure 126 Photo du site, source : Auteur

Le site choisi se compose d'un terre plein préalablement terrasse en vue de l'extension du boulevard principale du village



Figure 127 Photo du site, source : Auteur



Figure 128 Photo du site, source : Auteur

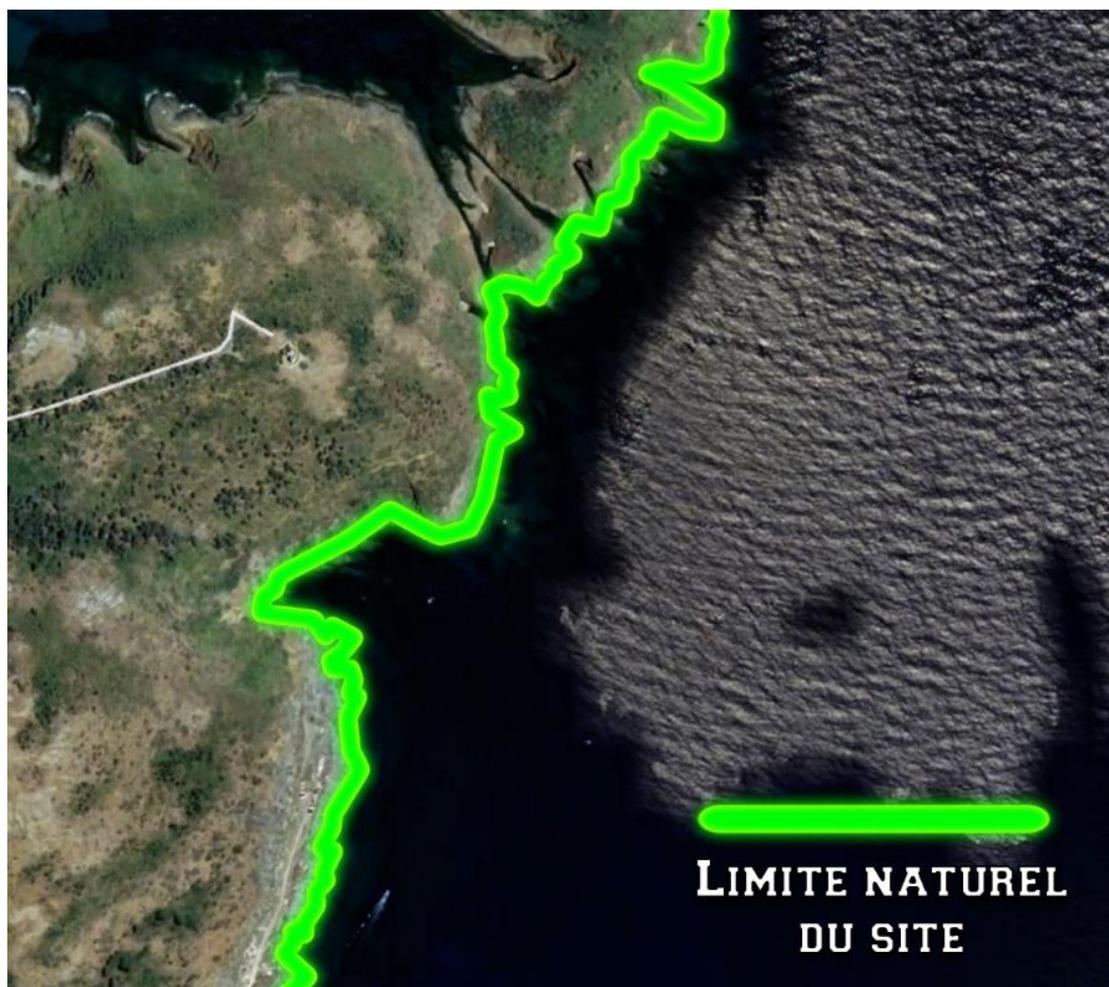


Figure 129 Le maillage naturel du site, source : google earth réinterprété

Le tracé du relief naturel donne un tracé irrégulier qui est caractéristique des baies, ce qui en fait un terrain riche d'un point de vue formel

IV.4.6 Analyse climatique :

Le climat de la région de Chetaibi est influencé par la proximité de la mer, et par le relief.

- Une pluviométrie importante
- Une température douce.

Donc la région est caractérisée par un climat méditerranéen avec des étés chauds et secs et des hivers doux et pluvieux. Il s'agit de la zone la plus humide d'Algérie avec des précipitations annuelles variant de 400 – 1000 mm. Le territoire de Chetaibi est donc intégré en majeure partie au domaine bioclimatique **Humide** et **Sub-Humide** ¹.

¹ ESSAI D'EXPLOITATION DE L'ECOTOURISME DANS LA COMMUNE DE CHETAIBI, MEMOIRE DE MAGISTER PAR CHABBI KARIMA

IV.4.6.1 Températures et précipitations moyennes :

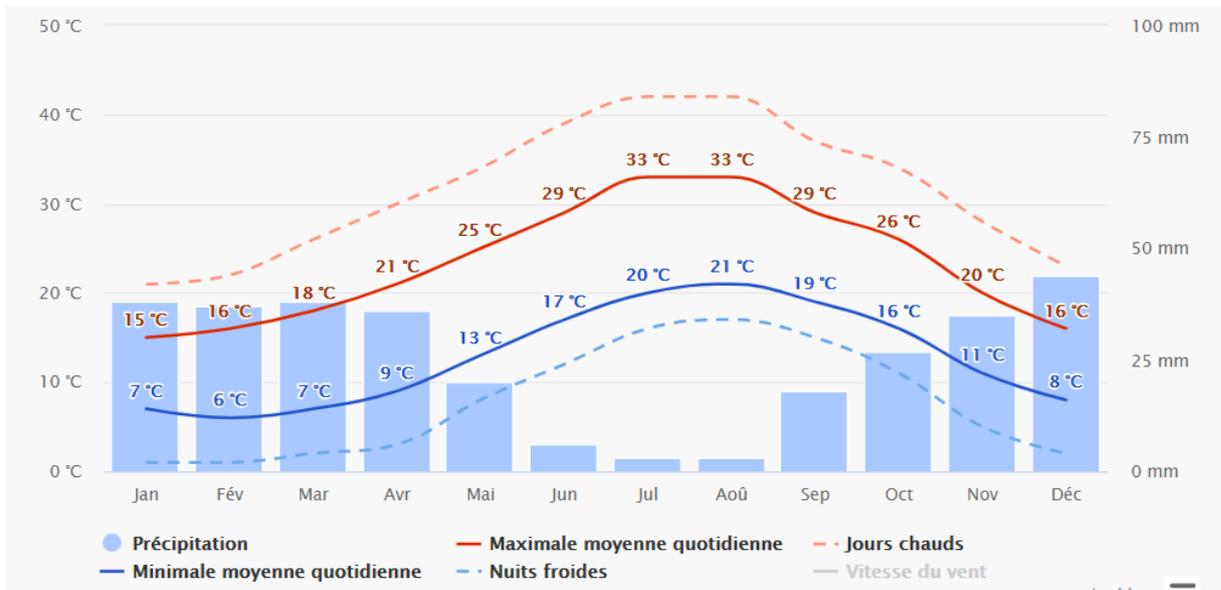


Figure 130 les courbes de températures et précipitations moyennes, source : www.météoblue.com

La "maximale moyenne quotidienne" (ligne rouge continue) montre la température maximale moyenne d'un jour pour chaque mois pour Chetaibi. De même, «minimale moyenne quotidienne" (ligne bleu continue) montre la moyenne de la température minimale. Les jours chauds et les nuits froides (lignes bleues et rouges en pointillé) montrent la moyenne de la plus chaude journée et la plus froide nuit de chaque mois des 30 dernières années. Pour la planification de vacances, vous pouvez vous attendre à des températures moyennes, et être prêt à des jours plus chauds et plus froids. La vitesse du vent n'est normalement pas affichée, mais peut être ajustée en bas du graphique ¹.

¹ www.meteoblue.com/fr/meteo/historyclimate/climatemodelled/chetaibi

IV.4.6.2 Distribution des jours ensoleillé, nuageux et les jours de précipitation :

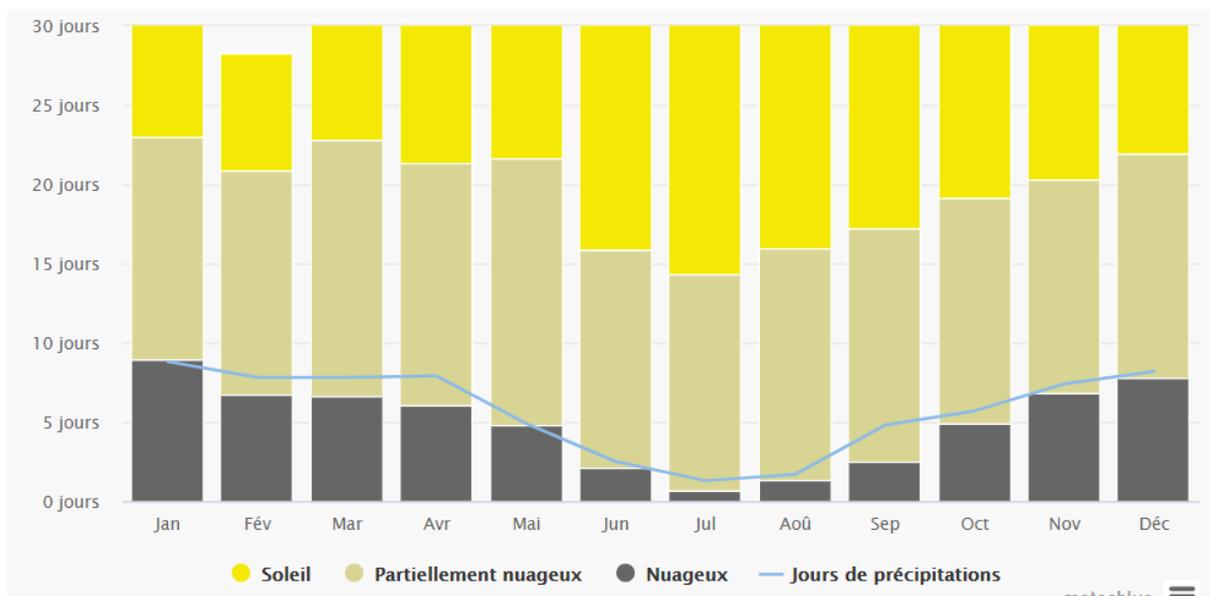


Figure 131 Distribution des jours ensoleillé, nuageux et les jours de précipitation, source : www.meteoblue.com

Le graphique montre le nombre mensuel de jours ensoleillés, partiellement nuageux, nuageux et de précipitations. Les jours avec moins de 20% de la couverture nuageuse sont considérés comme des jours ensoleillés, avec 20-80% de de la couverture nuageuse, comme partiellement ensoleillés et plus de 80% comme nuageux ¹.

¹ www.meteoblue.com/fr/meteo/historyclimate/climatemodelled/chetaibi

IV.4.6.3 Les températures maximales :

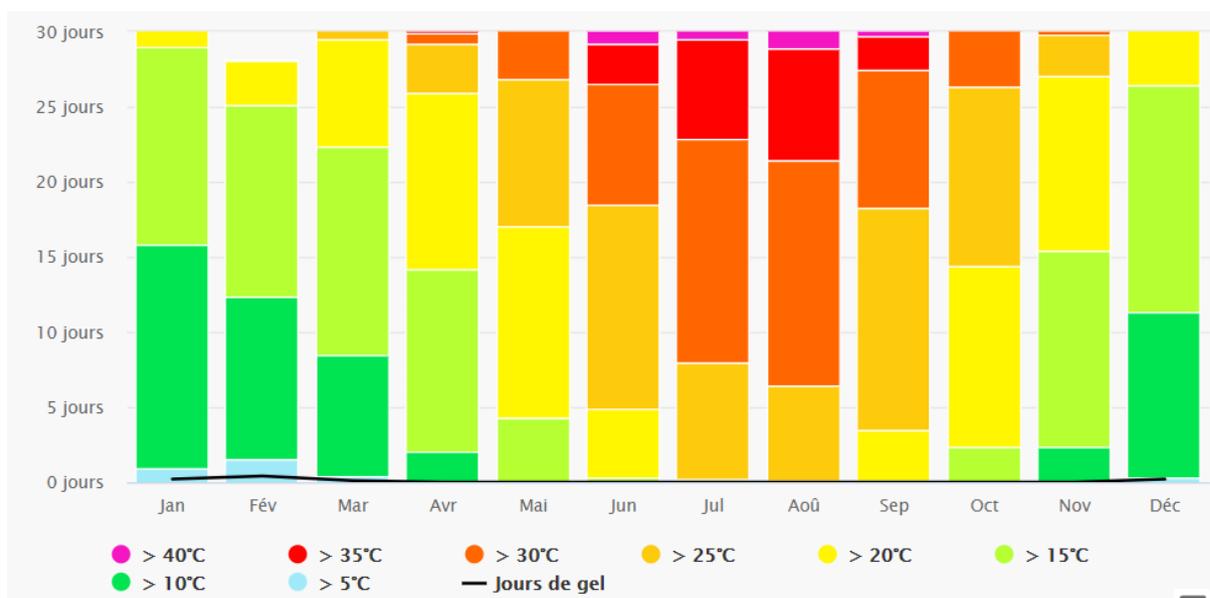


Figure 132 Les températures maximales, source : www.meteoblue.com

Le diagramme de la température maximale à Chetaibi montre le nombre de jours par mois qui atteignent certaines températures ¹.

IV.4.6.4 Quantité de précipitations :

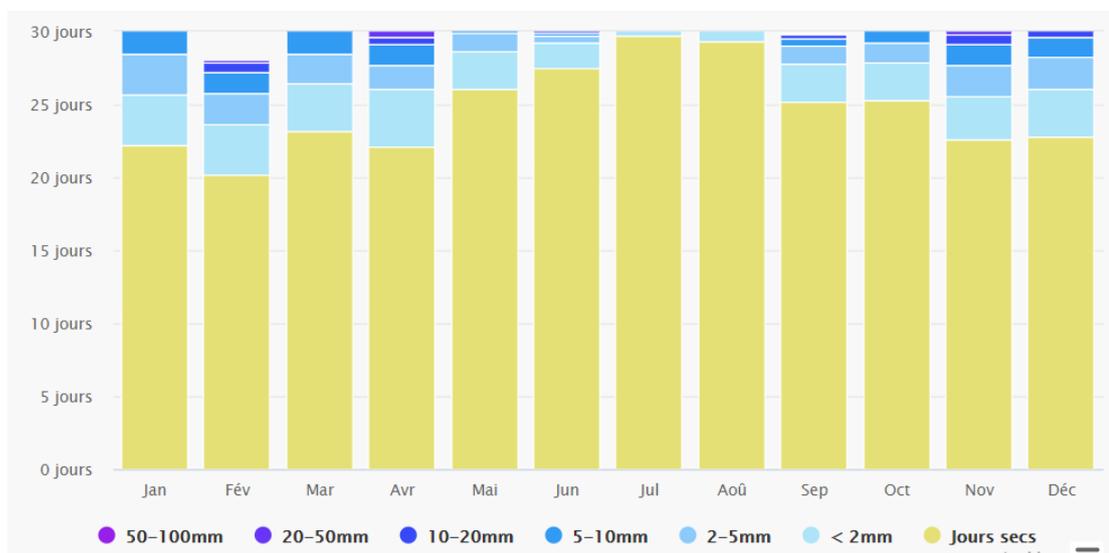


Figure 133 Les quantités de précipitations, source : www.meteoblue.com

¹ www.meteoblue.com/fr/meteo/historyclimate/climatemodelled/chetaibi

Chapitre 03 : Approche conceptuelle

Le diagramme de la précipitation pour Chetaibi indique depuis combien de jours par mois, une certaine quantité de précipitations est atteinte ¹.

IV.4.6.5 Vitesse du vent :

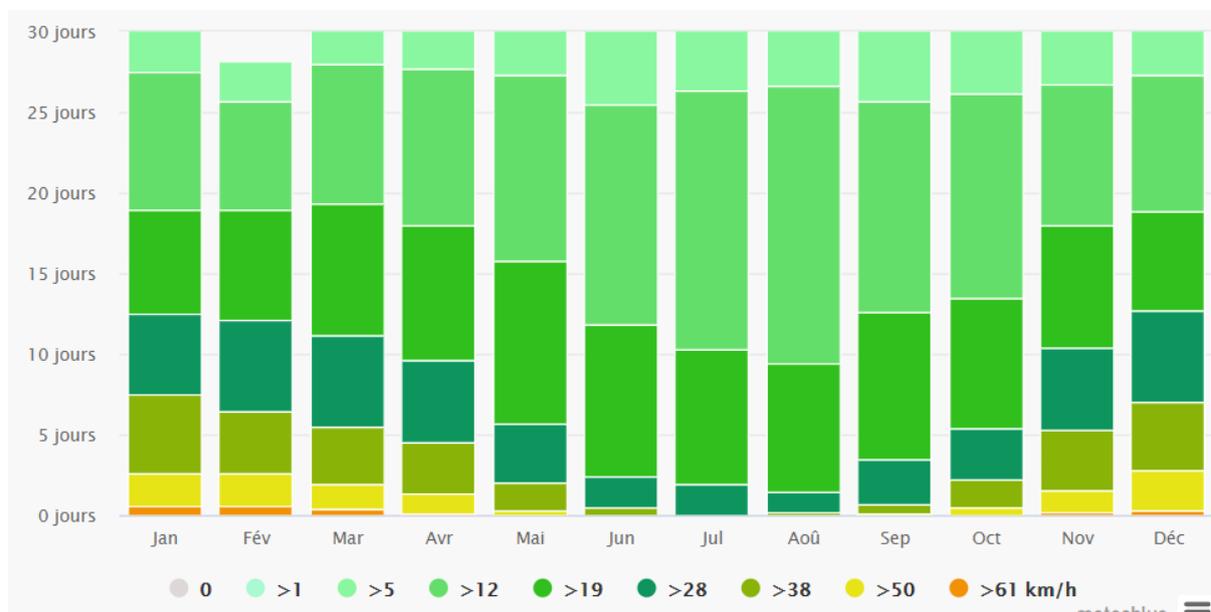


Figure 134 Les vitesses du vent, source : www.meteoblue.com

Le diagramme de Chetaibi montre les jours par mois, pendant lesquels le vent atteint une certaine vitesse.

¹ www.meteoblue.com/fr/meteo/historyclimate/climatemodelled/chetaibi

IV.4.6.6 Rose des vents :

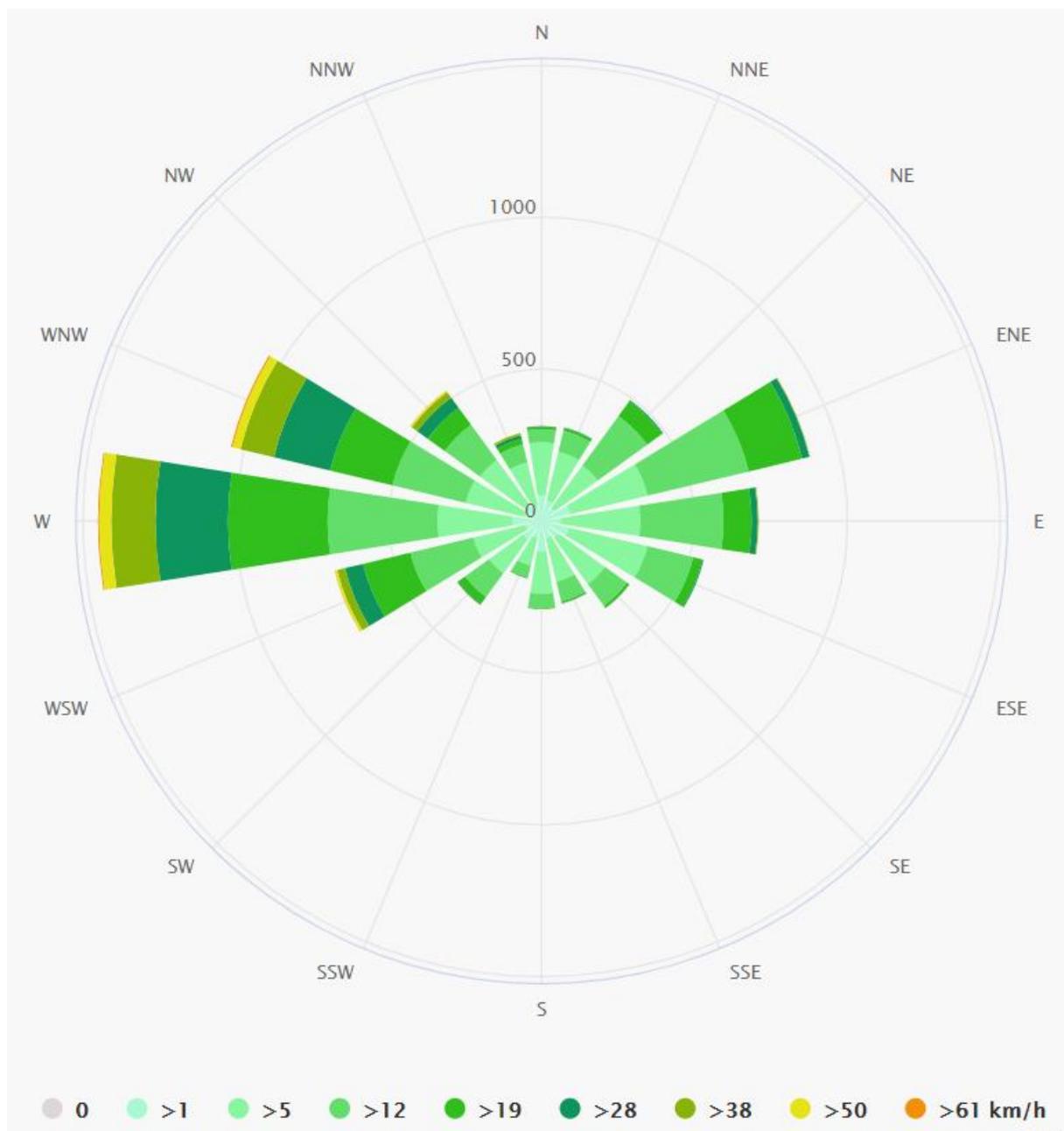


Figure 135 La rose des vents, source : www.meteoblue.com

La Rose des Vents pour Chetaibi montre combien d'heures par an le vent souffle dans la direction indiquée ¹. On peut ainsi remarquer que les vents dominants de la zone en question viennent de la direction OUEST.

¹ www.meteoblue.com/fr/meteo/historyclimate/climatemodelled/chetaibi

Chapitre 03 : Approche conceptuelle

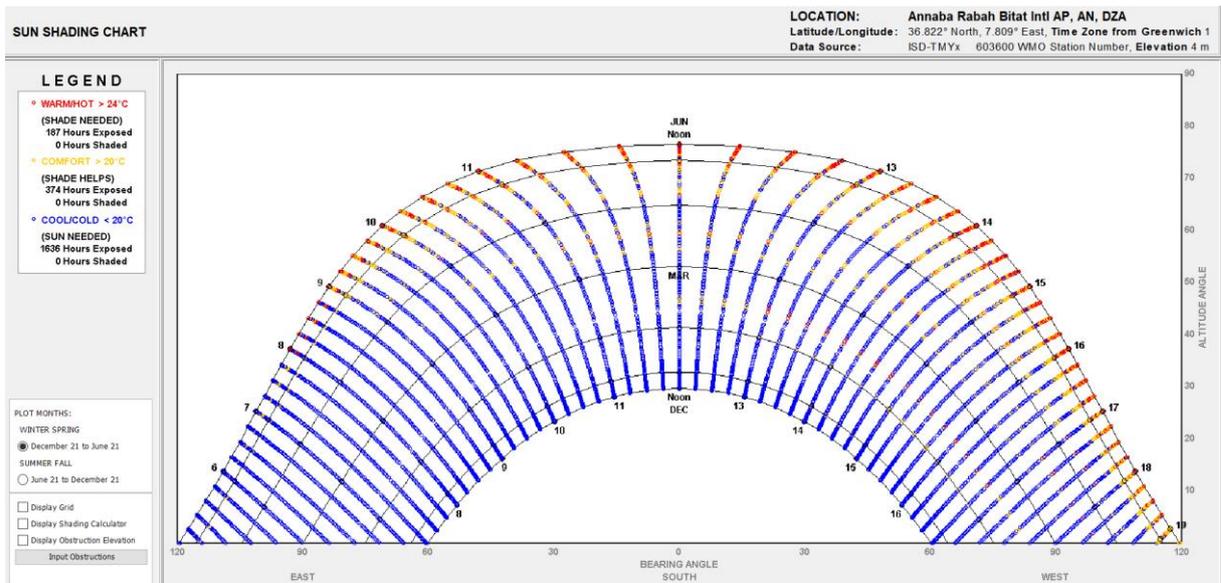


Figure 136 Diagramme de protection solaire, source : Climate

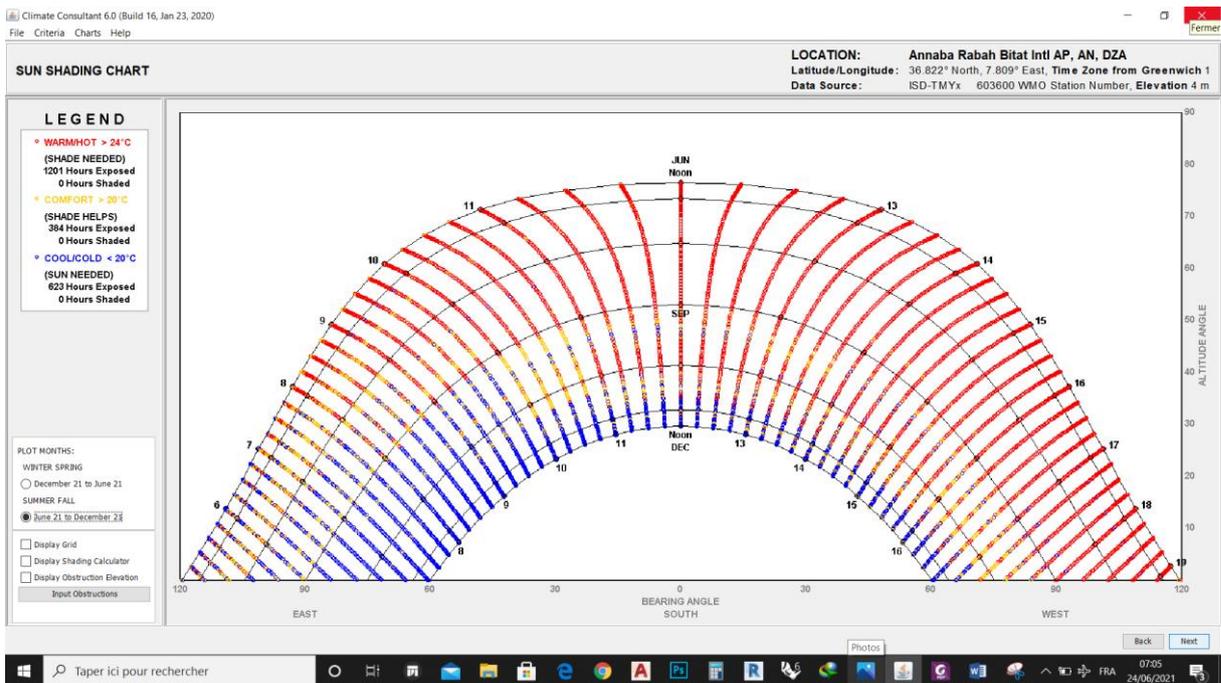


Figure 137 Diagramme de protection solaire, source : climate

Chapitre 03 : Approche conceptuelle

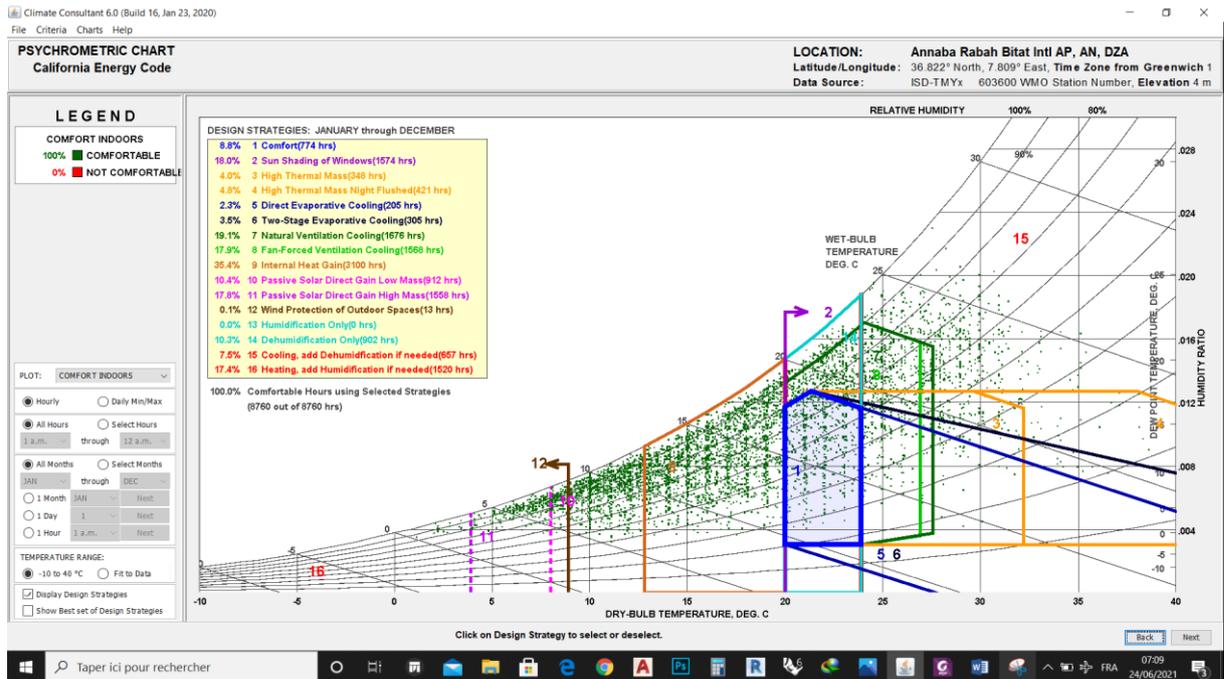


Figure 138 Diagramme de Givonni, source : Climate

Synthèse

D'après l'analyse de site, on peut constater plusieurs éléments à prendre en considération lors de la démarche conceptuelle

- Le site se trouve à la fin de l'extension du boulevard touristique du village, ce qui favorise l'emplacement d'un projet à caractère touristique de cette envergure
- La relation directe avec la mer permet de créer un climat de symbiose pour les visiteurs vis-à-vis de la mer et les écosystèmes marins exposés, ce qui renforce le lien entre l'homme et l'océan tout en gardant une démarche de sensibilisation du public sur la fragilité des écosystèmes marins.
- L'organisation de la volumétrie du projet en escalier permet de le protéger des vents marins.
- La relation directe avec la mer permet également d'optimiser le projet sur un plan technique en ce qui concerne les systèmes de filtration et pompage d'eau de mer qui est nécessaire à l'alimentation du projet. Elle permet également d'évacuer cette même eau d'une manière gravitaire.
- L'extension horizontale en terme de volumétrie est la méthode la mieux adaptée à ce type de projet, elle permet en l'occurrence de maximiser le profit des vues panoramiques et étaler l'entité d'exposition selon un parcours attirant pour les visiteurs.

Chapitre 03 : Approche conceptuelle

- L'exposition des écosystèmes marins tout en restant dans un cadre écologique soucieux du bien-être des espèces marines nécessite de s'inspirer au mieux des conditions naturelles dans lesquelles vivent ces écosystèmes et donc recréer le lien entre les bassins et l'extérieur afin recréer le cycle d'azote naturel qui consiste en l'oxygénation de l'eau des bassins, les procédés de filtration seront également basés sur des techniques biologiques et non chimiques.
- L'utilisation des terrasses jardins est très bénéfique afin de créer des espaces de rencontres et d'offrir aux visiteurs un 2^{ème} niveau d'observation pour les bassins.
- Les bassins rendant l'aération quelque peu difficile des espaces d'exposition, l'utilisation de Patio est nécessaire afin de maintenir un flux d'air suffisant pour l'aération du projet.
- Maintenir la continuité avec le boulevard touristique permet de créer une certaine diversité au sein du projet entre exposition, vulgarisation, loisir, regroupement.

IV.5 Démarche conceptuelle

Les analyses ainsi que recherches que nous avons effectuées précédemment nous ont permis d'aboutir à cette étape cruciale qui est la traduction des résultats en formes architecturale qui concrétise au mieux la philosophie du projet ainsi que son intégration au site.

IV.5.1 Sheema de principe

Comme cité précédemment, le site se compose d'un terre-plein réalisé préalablement dans le cadre de l'extension du boulevard touristique, nous avons profité de cette opportunité pour utiliser ce terre-plein et mettre le projet en position de destination du boulevard touristique.

IV.5.1.1 La genèse d'idée

Lors de la conception du projet, nous avons été très inspiré par les écosystèmes marins qui sont au cœur de notre thèse de recherche, c'est donc dans cette optique que nous avons choisi de concevoir un projet qui serait en symbiose avec lui-même et qui regrouperait plusieurs activités qui se superposent sans pour autant entrer en conflit,

C'est donc pour cela que notre projet se dessine sur 2 plans, le premier est planimétrique et le second est volumétrique. En matière de volumétrie, nous avons opté pour le corail qui se trouve être un parfait exemple d'écosystème marin.



Figure 139 Illustration d'un récif corallien, source : google images

Etape 01 :

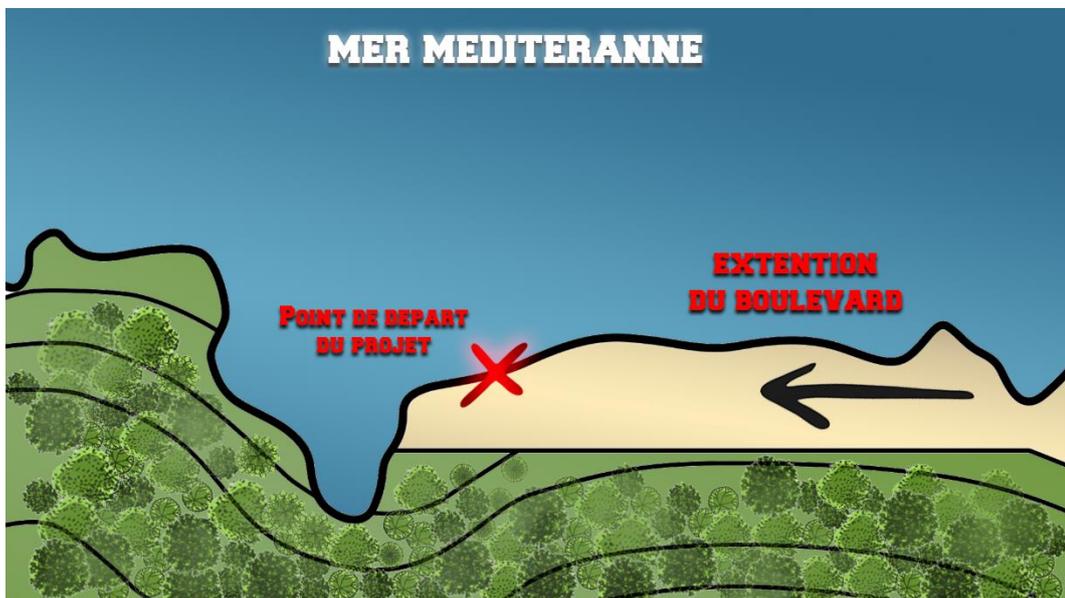


Figure 140 Etape 01 schéma de principe, source : Auteur

Toute chose doit commencer quelque part, et nous avons décidé de débuter avec un point.

Etape 02 :

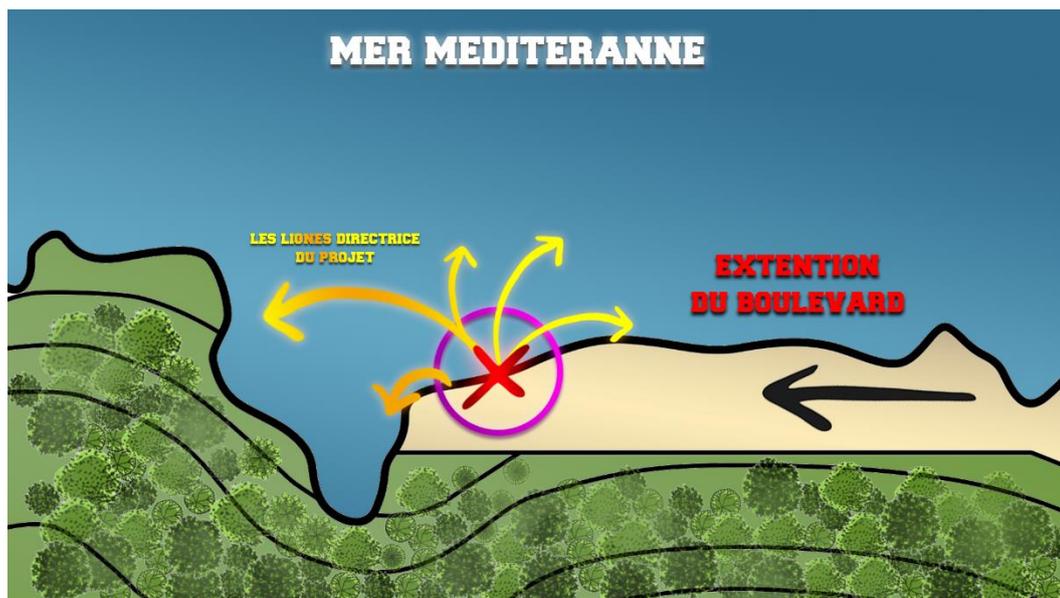


Figure 141 Etape 02 schéma de principe, source : Auteur

Après le point viennent les axes de distribution, ce qui rend le point à l'origine d'un cercle qui va être un volume centrale autour duquel les diverses activités vont être disposés de manière concentrique.

Etape 03 :

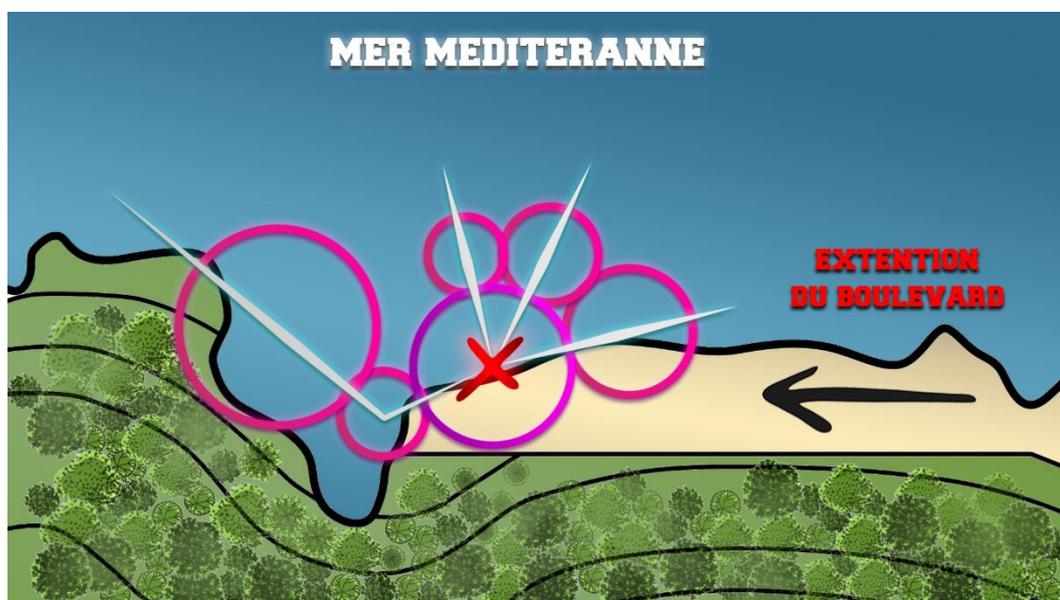


Figure 142 Etape 03 schéma de principe, source : Auteur

Nous avons disposé d'autres cercles sur les axes structurant du projet, ce qui donne naissance à cette composition géométrique

Etape 04 :

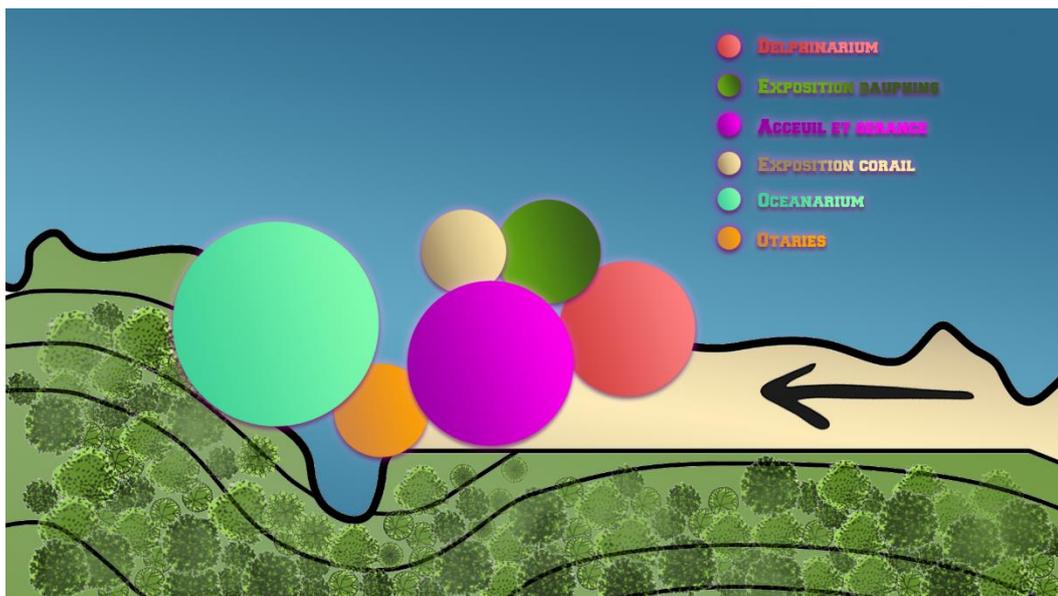


Figure 143 Etape 04 schéma de principe, source : Auteur

Les cercles se transforment en volume concrets, ils abriteront une fonction d'exposition surplombé par des terrasses jardins qui serviront d'espaces de détente et de loisir.

Etape 05 :

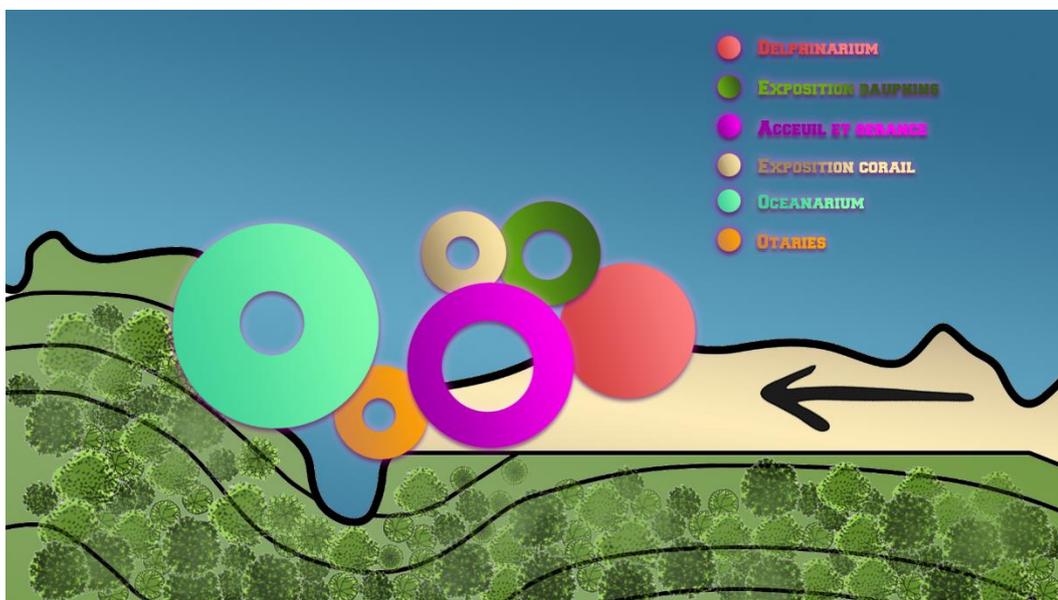


Figure 144 Etape 05 schéma de principe, source : Auteur

Pour assurer la bonne ventilation les volume subiront une soustraction afin de créer des patio.

Etape 06 :

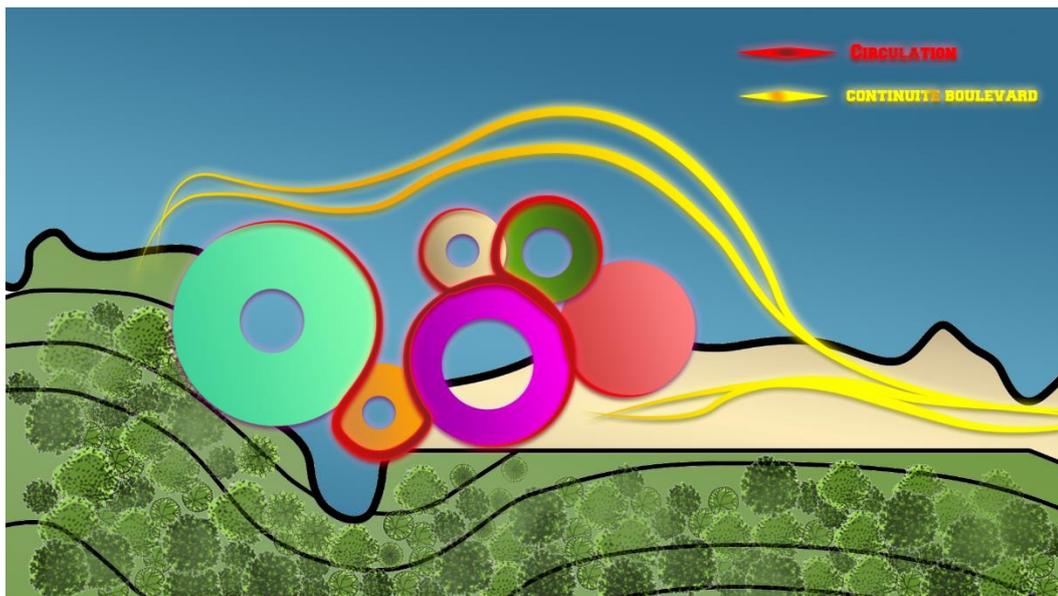


Figure 145 Etape 06 schéma de principe, source : Auteur

Pour finir, la fonction de circulation est assurée par une liaison entre tous les volumes, et la continuité du boulevard touristique maintenue par la protection du projet contre les forces de l'océan.

IV.6 La démarche écologique

IV.6.1 Les toitures végétalisées

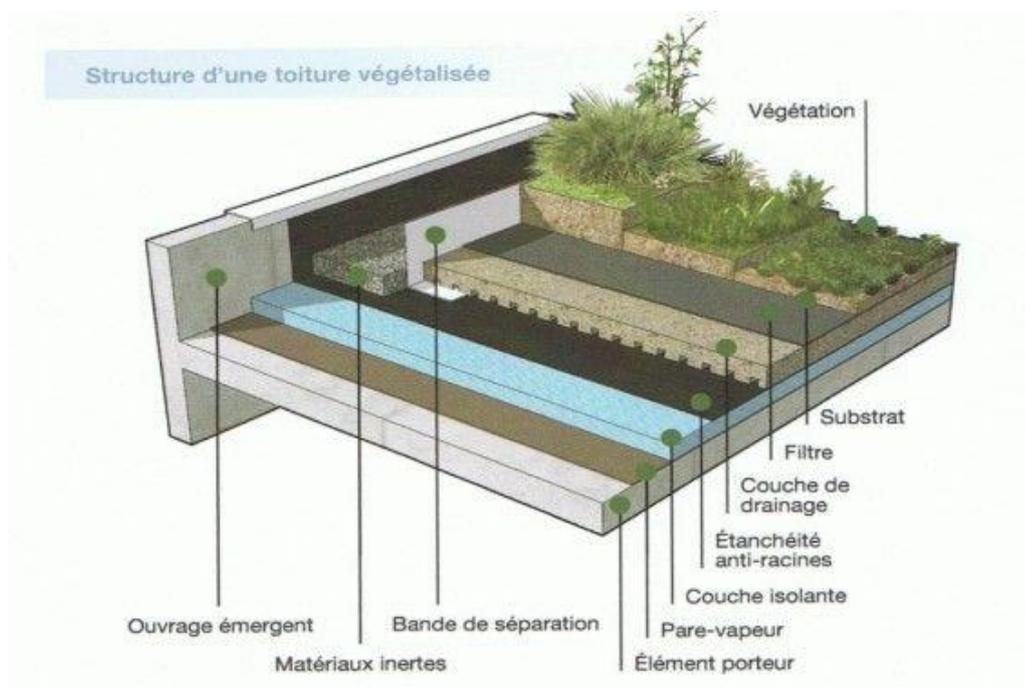


Figure 146 Illustration des composants d'une toiture végétalisée, source : google image

Chapitre 03 : Approche conceptuelle

Le **toit végétal** constitue une stratégie bioclimatique par une isolation thermique en diminuant les dépenses énergétiques.

La végétalisation renforce l'isolation acoustique et thermique des toitures et prolonge la durée de vie de la couverture en limitant la température de surface. Les végétaux filtrent naturellement la poussière et régulent l'humidité du microclimat.

L'utilisation du toit végétal dans quelques parties du projet afin de :

- Protéger l'enveloppe du projet des chaleurs excessives d'été et préserver les températures intérieures des écosystèmes marins.
- Minimiser les déperditions thermiques.
- Humidifier l'air et participer à la création du micro climat.
- Récupération et filtration des eaux pluviales. (Système actif)

IV.6.2 Utilisation de la végétation

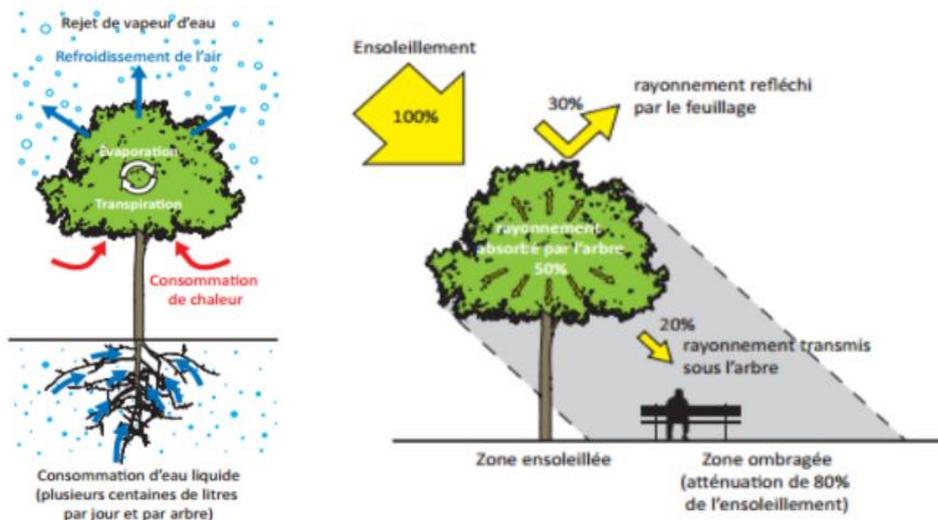


Figure 147 Illustration montrant les effets de la végétalisation, source : google image

La végétation contribue à atténuer localement la chaleur. Les arbres jouent un rôle important dans le confort thermique des bâtiments, dans la capacité de stockage du carbone, dans l'infiltration des eaux pluviales, dans la captation de certains polluants. Les arbres apportent un caractère qualitatif au paysage urbain, un support d'éducation à l'environnement, à la biodiversité, ils sont de puissants régulateurs du climat urbain par l'ombrage qu'ils apportent et le phénomène d'évapotranspiration. L'arbre est ainsi capable d'utiliser la chaleur et l'eau comme

flux nécessaires à la photosynthèse pour véhiculer les nutriments. L'évapotranspiration permet ainsi de libérer des molécules d'eau dans l'atmosphère et ainsi de le rafraîchir¹.

IV.6.3 Oxygénation des aquariums

Dans le principe idéal d'un cycle d'échange gazeux entre végétaux et poissons dans un aquarium, les animaux puisent l'oxygène dissout dans l'eau, le transforment et rejettent du dioxyde de carbone (CO_2). En contrepartie, et sous l'effet de la lumière (photosynthèse), les plantes absorbent ce gaz carbonique, s'en nourrissent et le transforment en oxygène pur (O_2). C'est donc dans un cycle perpétuel d'échange et de transformation gazeuse que cet oxygène sera à nouveau consommé par les poissons ainsi que par la faune microbienne responsable de l'équilibre biologique du milieu, et ainsi de suite... Néanmoins, pour que cet équilibre soit réellement autonome et fonctionnel il serait nécessaire de combiner trois facteurs essentiels : peu de poissons + grand volume d'eau + végétation importante².

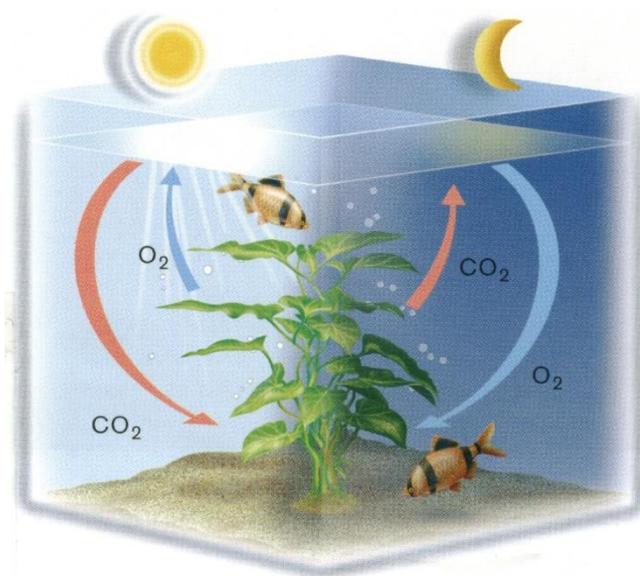


Figure 148 Illustration montrant le cycle de l'azote dans un aquarium, source : google image

Le phytoplancton désigne l'ensemble des organismes végétaux vivants en suspension dans l'eau, comme les plantes terrestres, le phytoplancton ou « plancton végétal » fabrique sa substance à partir du gaz carbonique CO_2 et des sels minéraux contenu dans l'eau de mer, phosphates, potassium, azote, silice...

¹ www.arbre-en-ville.fr

² www.zolux.com

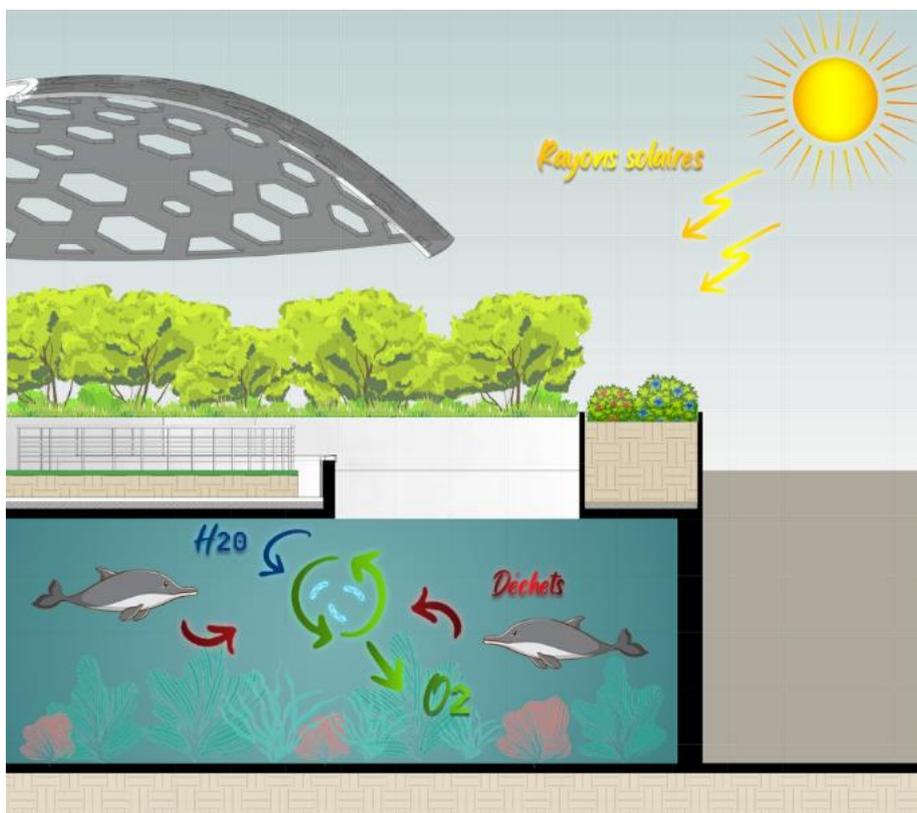


Figure 149 Coupe sur le projet montrant le cycle de l'azote dans un bassin d'aquarium, source : auteur

IV.6.4 Des toitures particulières

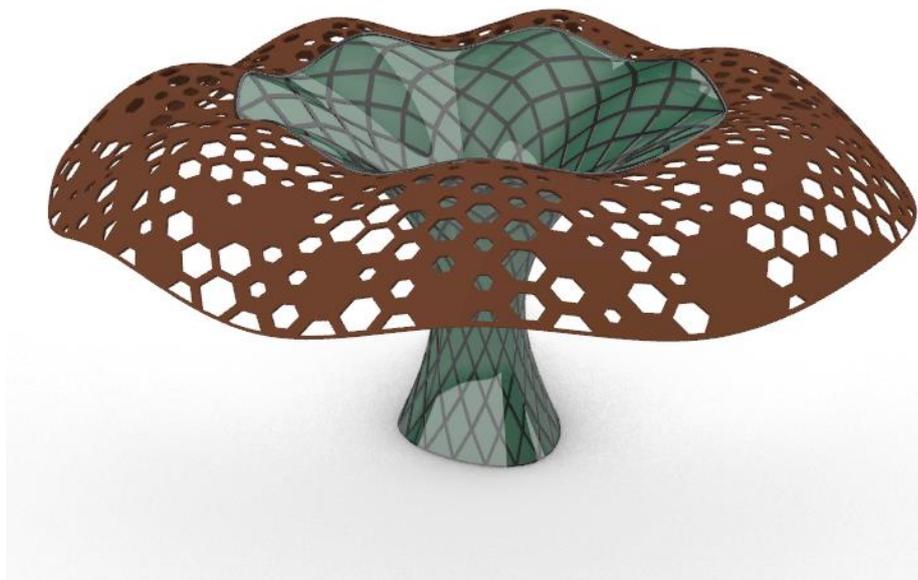


Figure 150 Illustration d'un élément de toiture du projet , source : auteur

Chapitre 03 : Approche conceptuelle

Les éléments qui couvrent les terrasses jardin ont une forme particulière et accomplissent diverses fonctions notamment l'ombrage, la récupération des eaux pluviales et la régulation des flux d'air dans le but de ventiler les espaces inférieurs.



Figure 151 Illustration d'un élément de toiture du projet , source : auteur

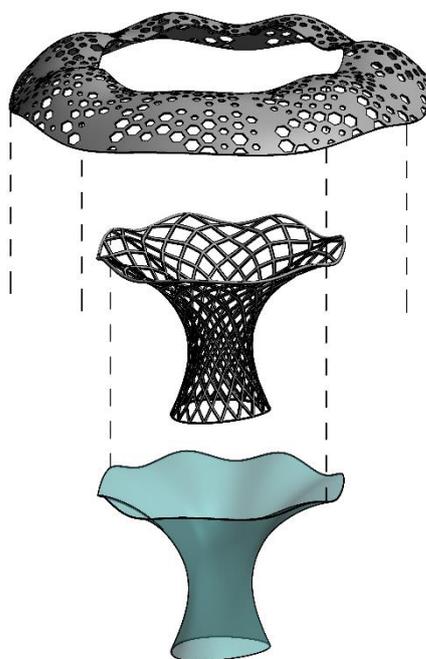


Figure 152 Vue explosé d'un élément de toiture du projet, source : auteur

IV.6.4.1 Récupération des eaux pluviales

La zone de Chetaibi présente un certain taux de pluviométrie qui offre la possibilité d'en tirer avantage et ce grâce à la forme particulière des éléments qui recouvrent les terrasses jardins. Cette forme particulière permet de collecter l'eau des pluies qui est ensuite transmise vers des bassins de stockage dans le Sous-Sol.

IV.6.4.2 Ventilation passive

L'impossibilité de disposer des ouvertures latérales dans les parois du projet à cause des aquariums et la sensibilité des écosystèmes vivants présents à l'intérieur fait que l'utilisation de patio est primordiale afin d'assurer une ventilation naturelle pour les espaces intérieurs, là aussi la forme particulière des toitures joue un rôle essentiel dans la régulation des flux d'air afin de profiter des brises marines.

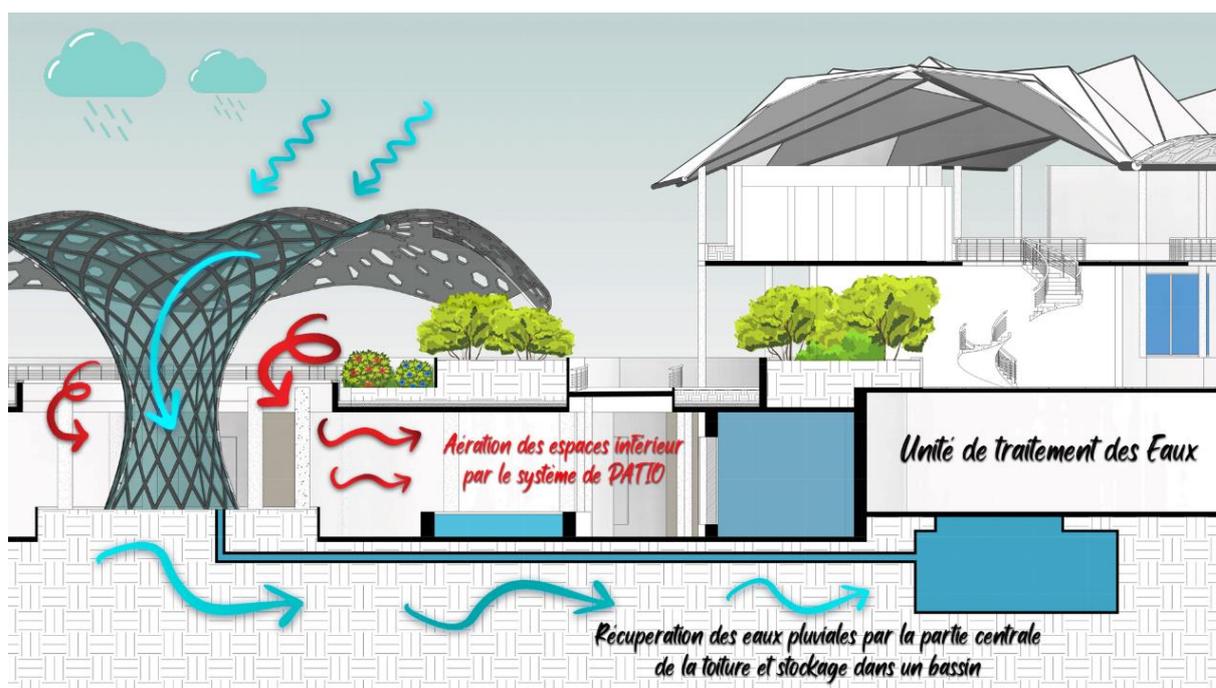


Figure 153 Coupe démontrant la récupération des eaux pluviales et la ventilation passive, source : auteur

La disposition du projet associée à la forme des toitures permet également de générer un effet pyramide qui constitue une protection contre les vents dominants.

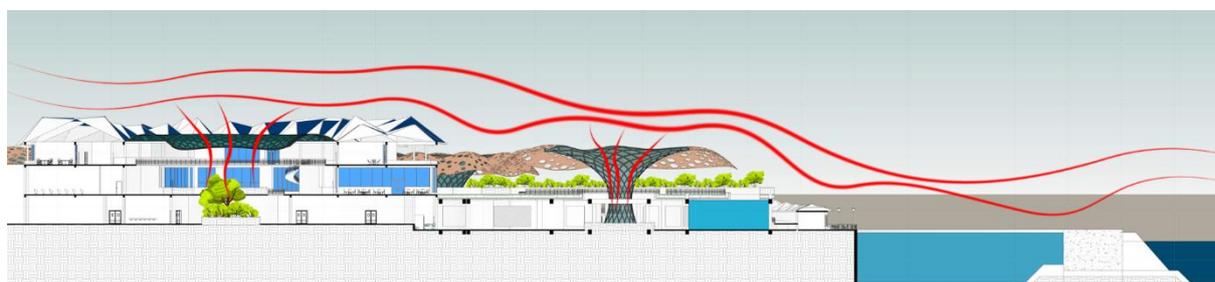


Figure 154 Coupe du projet démontrant l'effet de la volumétrie en escalier contre les vents marins, source : auteur

IV.6.5 Utilisation des énergies renouvelables

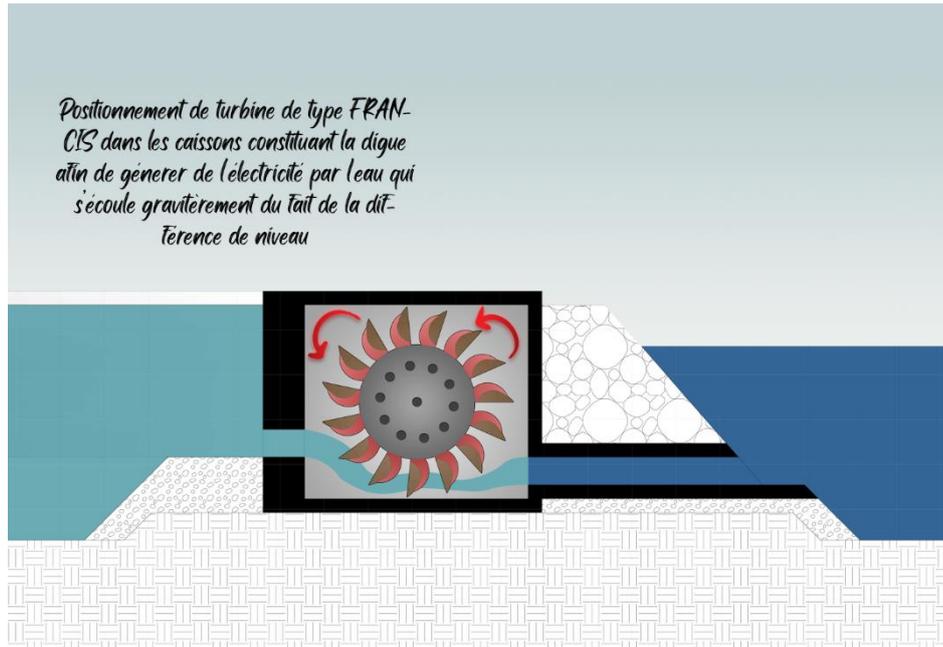


Figure 155 Coupe démontrant l'intégration d'une turbine hydraulique dans la digue de protection du projet, source : auteur

Conclusion générale :

Il est aujourd'hui incontestable que les effets des changements climatiques sont perceptibles dans les océans et particulièrement en mer méditerranée, ils sont à l'origine de l'augmentation du taux d'extinction des espèces marines ainsi que la dégradation de la biodiversité et l'effondrement des écosystèmes.

La protection des écosystèmes marins est un cas de conscience générale qui doit être entamé à toutes les échelles, néanmoins l'architecture peut contribuer grandement à cette protection puisque le secteur de la construction reste l'un des secteurs majeurs en relation avec le milieu naturel, les principes de l'architecture bioclimatique permettent de se diriger vers des constructions plus soucieuses de l'environnement et donc contribuent à la diminution du changement climatique qui est à l'origine des dégradations occasionnées à l'encontre de la biodiversité marine.

Il est donc clair qu'au jour d'aujourd'hui, se dessine un besoin alarmant qui est l'adoption de nouvelles techniques architecturales qui visent à exploiter les ressources naturelles tout en restant dans une démarche de conservation de l'environnement et d'intégration dans l'environnement surtout pour les projets de construction et d'aménagement marin afin de préserver cette biodiversité qui rend d'innombrables services à l'humanité.

Pour finir, le projet d'architecture demeure en soit en perpétuelle évolution, et ce n'est que qu'une humble tentative de réponses à des exigences et directives concrètes posées en amont, auxquelles nous espérons avoir grandement répondu.

Bibliographie

- Agriculture et climat, cers des fermes zéro Carbonne, par Jeanne Camirand et Christine Gingras
- ANDERSON & UNDERWOOD, 1994 ; ANDERSSON *et al.*, 2009 ; GIANNANTONIO *et al.*, 2009
- Architecture en 30 secondes Edward Denison, Marie-Noëlle Antolin
- ARCHITECTURE ET EFFICACITE ENERGETIQUE DES PANNEAUX SOLAIRES CAS D'EUDE : SIMULATION SOUS TRNSYS16.1 D'UN APPARTEMENT D'UNE TOUR MULTIFONCTIONNELLE A CONSTANTINE
- Azam et Malfatti 2007
- BONTEMPS, 2015
- Boudouresque C.F., 1996. *Impact de l'homme et conservation du milieu marin en Méditerranée. 2ème édition GIS Posidonie Publications (Marseille-France), 243p*
- BULLERI & CHAPMAN, 2010 ; FIRTH *et al.*, 2013
- Bureau 2E, 2017
- CEGIBAT, 2018
- Centre de la nature chapitre 5 approche programmatique
- Chisholm 1995; Behrenfeld *et al.* 2001
- Contribution à la connaissance de la biodiversité des fonds chalutables de la côte algérienne : les peuplements ichthyologiques des fonds chalutables du secteur oriental de la côte algérienne
- Corinne Le Quéré *et al.*, « Global carbon budget 2015 », *Earth System Science Data*, vol. 7, n° 2 (décembre 2015), 349-396 (371).
- Damien Lambert, 2014
- DEVILLERS *et al.*, 2009 ; PERKOL-FINKEL & SELLA, 2014 ; CUADRADO-RICA *et al.*, 2015 ; SOUCHE *et al.*, 2016
- DGE/ISMAL, 2000. *Etude de classement des îles Habibas en réserve naturelle. Marché DGE/ISMAL/001/97, 215 p.*
- DONG *et al.*, 2010 ; PIOCH *et al.*, 2011
- EC2 Modélisation, 2018
- Econome Energie, 2016
- ESSAI D'EXPLOITATION DE L'ECOTOURISME DANS LA COMMUNE DE CHETAIBI, MEMOIRE DE MAGISTER PAR CHABBI KARIMA
- Fredj G., Bellan-Santini D., Meinardi M., 1992. *Etat des connaissances sur la faune marine méditerranéenne. Bulletin Institut Océanographique, Monaco, n.s., 9 : 133-145.*
- Futura-Sciences, 2014
- GIEC, 2007. Bilan 2007 des changements climatiques. *Contribution des groupes I, II et III au quatrième Rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat. GIEC, Genève, Suisse. 103 p.*
- GUILBEAU *et al.*, 2003 ; LEE *et al.*, 2008 ; MANSO *et al.*, 2014
- www.coml.org/
- www.oceanographyconference.com

- Hughes L., 2000. *Biological consequences of global warming: is the signal already apparent?* Trends in Ecology and Evolution 15 : 56-61. Troisième édition. Lausanne, Presse polytechniques et universitaires romandes.
- Impact des changements climatiques sur la biodiversité marine et côtière en Mer Méditerranée *Etat actuel des connaissances.*
- Intégration des systèmes solaires photovoltaïques dans le bâtiment : Approche architecturale M. BENAMRA Mostefa Lamine
- L'architecture face à la biodiversité Caroline Rainette page7
- L'écoconception maritime : une révolution pour les maitres d'ouvrages, Marie SALGUES 1, Sylvain PIOCH 2, Jean-Claude SOUCHE 1, Klaartje DE WEERDT
- L'Océanographie (Français) Broché – 14 mai 2017
- La simulation thermique dynamique Un outil au service de la performance énergétique
- Larousse, 2019
- Le bioclimatisme - apere
- Le Développement Durable *et l'Architecture Durable*, Pierre Neema Architecte DPLG
- Linternaute, 2019
- LUCKHURST & LUCKHURST, 1978 ; PAIS *et al.*, 2013
- MCGUINNESS & UNDERWOOD, 1986 ; PIOCH *et al.*, 2015 ; COOMBES *et al.*, 2015
- Mdph35, 2015
- Mémoire de magister, ESSAI D'EXPLOITATION DE L'ECOTOURISME DANS LA COMMUNE DE CHETAIBI
- Mémoire de master L'OCEANOGRAPHIE ET LE TOURISME AQUARIUM D'ORAN
- Neufert edition 11 , page 250
- NR+, 2017
- PIOCH *et al.* 2018
- PNUE-PAM-CAR/ASP, 2008. *Impact des changements climatiques sur la biodiversité en Mer Méditerranée. Tunis, CAR/ASP. Pp.: 1-62.*
- Projet MATE-PNUD-FEM, Février 2015. *Projet MATE-PNUD-FEM, rapport final, Etude diagnostique sur la biodiversité et les changements climatiques en Algérie.*
- ROUANET *et al.*, 2015
- Sénova, 2016
- The First Global Integrated Marine Assessment (World Ocean Assessment I) (United Nations, 2016).
- Thesis Univ Biskra, 2012
- TRAN *et al.*, 2012 ; STRAIN *et al.*, 2018
- Typologie des enjeux environnementaux et usage des différentes méthodes d'évaluation environnementale B.DE CAEVEL, M. OOMS – RDC- ENVIRONNEMENT – BRUXELLES synthèse d'étude
- UNEP-MAP RAC/SPA. 2009. *Identification of important ecosystem properties and assessment of ecological status and pressures to Mediterranean marine and coastal*

biodiversity. By Bazairi, H., Ben Haj, S., Torchia, G., Limam, A., Rais, C., and Cebrian, D., Ed. RAC/SPA, Tunis; 100 page.

- Www.aquaportail.com
- Www.aquariophilie.wikibis.com
- Www.arbre-en-ville.fr
- Www.atlantico.fr
- Www.encyclopedie-environnement.org
- Www.environnement.gouv.qc.ca
- Www.e-rt2012.fr
- Www.etudier.com
- Www.Graitec.com
- Www.infociments.fr
- Www.meteoblue.com/fr/meteo/historyclimate/climatemodelled/chetaibi
- Www.ocean-climate.org
- Www.prodware-innovation-design.fr
- Www.seaboost.fr
- Www.solitaire23.unblog.fr
- Www.techno-science.net
- Www.wikipedia.org
- Www.wikizero.com
- Www.youmatter.com
- Www.zolux.com
- Wwz.ifremer.fr
- Xpair, 2013