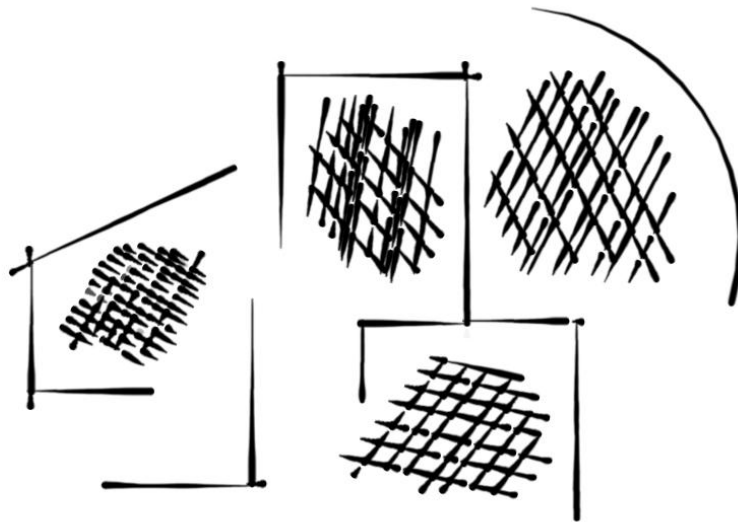


REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE  
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE MOULoud MAMMERI DE TIZI-OUZOU  
FACULTE DU GENIE DE LA CONSTRUCTION  
DEPARTEMENT D'ARCHITECTURE

Mémoire de master II en vue de l'obtention du diplôme d'architecte  
Option : « Architecture et environnement »

# L'ECO-REHABILITATION DU DEPARTEMENT D'ARCHITECTURE DE TIZI-OUZOU, ACTUEL HABITAT : PREMICES D'UNE NOUVELLE ECOLE



Présenté par :

BOUDJEMA Yasmie  
CHERIF Ouarda

Encadrées par :

Mr SELMI.H

Soutenu le 21.06.2016

## Avant-propos

Depuis quelques décennies, plusieurs études ont mis en évidence l'accélération de la dégradation de l'environnement en soulignant son caractère irréversible.

Une dégradation dont les conséquences seront encore accrues par l'impact du changement climatique dont l'origine est une aggravation de l'effet de serre.

Face à ce constat alarmant établi par la communauté scientifique, les gouvernements se devaient de réagir et adopter une alternative à une stratégie de développement qui mettait de plus en plus en péril l'avenir des générations futures.

En 1987 émergea cette alternative : le développement durable. Un développement fondé sur l'interdépendance de ses trois piliers: le développement économique, l'équité sociale et la protection de l'environnement. Cette question environnementale, c'est imposé comme un enjeu vital de tout développement socio-économique des décennies à venir.

Le débat sur l'environnement est au cœur des questionnements actuels. Mais quels sont les impacts sur l'architecture.

Le bâtiment est un important secteur d'activité qui contribue à l'émission de gaz à effet de serre, et à la production de déchets. C'est aussi un gros consommateur de ressources naturelles et d'énergie. Les maîtres d'ouvrages et les maîtres d'œuvre deviennent de ce fait, des acteurs clés dans la quête d'un développement durable. Une prise de conscience de l'ensemble des acteurs du secteur de la construction de l'impérieuse nécessité de construire autrement imposa le débat environnemental au sein de ce secteur.

L'architecture étant le début du processus de construction d'un bâtiment, l'architecte se trouve ainsi interpellé en premier pour « concevoir durablement » et donc prendre en compte la question environnementale. D'un environnement agressé, nous devons passer à « une qualité environnementale ». Tel est l'objectif de l'option « Architecture et Environnement ».

Cette qualité environnementale qui reste une notion à mieux définir et à cerner. Car la prise en compte de l'impact des bâtiments sur l'environnement est une problématique complexe et répondant à une approche multicritères et transdisciplinaire. Ce qui a entraîné dans divers pays développés des recherches sur des démarches de conduite de projet de construction s'inscrivant dans une démarche environnementale.

Des concepts ont été créés. La haute qualité environnementale, la classification LEED qui, aux yeux de certains acteurs de la construction, ne sont que des labels, il n'en demeure pas moins qu'ils constituent des éléments de repères et de références pour toute construction durable.

A cette préoccupation environnementale, s'ajoute pour nous une autre problématique : celle de l'impact de l'environnement sur l'homme. Car le développement humain est l'un des trois piliers du développement

durable. Et la on est tenté d'écrire environnements avec un s, car il y en a plusieurs qui peuvent affecter l'homme dans sa santé, son confort, son équilibre psychique et son développement économique.

Dans notre atelier on parlera d'environnement physique comme de psychologie environnementale. Il ne s'agit pas de choisir les dernières technologies de panneaux photovoltaïques, ou d'employer les derniers revêtements à la mode, mais il s'agira d'exploiter au maximum les opportunités offertes par chaque site d'implantation du projet et avoir aussi comme référence notre architecture vernaculaire riche en leçons lorsqu'il s'agira d'entrer en symbiose avec son environnement.

Le PFE est un projet d'école. L'étudiant peut aller de ses phantasmes, de ses délires, mais aussi c'est une dernière leçon avant de rejoindre le monde professionnel où d'autres impératifs et enjeux s'imposent. Nous essayerons d'obtenir un juste équilibre entre le phantasme de la création et la rationalité de l'objet architectural dans un contexte qui est le notre. Le projet une solution architecturale créative qui doit intégrer les contextes environnementaux, spatiaux, économiques et historiques.

Pour devise nous reprenons la citation d'André Ravéreau : « l'architecture populaire est là essentiellement pour servir l'homme, ce qui est mon objectif, et c'est entre autres pourquoi elle m'instruit ; je ne cherche pas à plaire, je cherche à satisfaire tous les sens de celui qui vivra dans mon architecture, qu'il se sente accueilli, qu'il ait frais quand il fait trop chaud dehors, qu'il est chaud au bon moment, qu'il soit respecté dans son intimité, qu'il soit aussi respecté dans ses perspectives visuelles, que ce soit vis-à-vis du lieu que j'ai conçu pour lui, ou vis-à-vis de son environnement... cette architecture respectueuse des lieux a souvent été spontanée avec pour seule prétention de satisfaire les besoins élémentaires de l'homme, qui sont justement ceux les plus négligés au profit du gigantisme et de voyeurisme ».

Je saisis cette opportunité pour remercier l'ensemble de mes collègues qui ont participé soit à l'animation des séminaires, des cours ou pour leurs interventions au niveau de l'atelier.

Je n'oublierais pas de remercier aussi l'ensemble des membres de jury qui ont répondu à nos sollicitations.

L'ENSEIGNANT : Mr. SELMI HACENE

## Remerciements

L'élaboration de ce mémoire et sa soutenance marquent la fin d'une riche expérience dans le monde des études supérieures et de l'aventure humaine. Nous voulons témoigner toute notre reconnaissance à ceux qui nous ont accompagnés tout le long de ce parcours au sein du département d'architecture et d'urbanisme de l'université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou.

Nos remerciements vont à Mr SELMI Hacene pour son encadrement et le matériel mis à notre disposition afin d'effectuer le relevé technique.

Nous adressons toute notre gratitude à Mr TOUBAL Ramdane et Mr MEDJBER Mohamed pour leur disponibilité et leurs précieux conseils. Merci à vous de vous être portés volontaires à la réalisation du levé topographique. Merci pour votre rigueur et votre enthousiasme.

Nous désirons spécialement remercier Mr SALHI, professeur en sociologie du département qui, par ses réponses à nos questions, a guidé notre réflexion et a contribué à son alimentation.

Nous ne voulons pas oublier Mr BEN ABDERRAHMANE Lyes à qui nous souhaitons témoigner notre reconnaissance pour sa générosité d'esprit et ses apports techniques. Vous nous avez fourni les outils nécessaires à la réussite du projet.

Sincères remerciements à toutes ces personnes qui nous ont encouragées d'une manière ou d'une autre, en particulier les employés de la résidence universitaire pour nous avoir sympathiquement ouvert les portes de leurs bureaux et de leurs pensées.

Merci à tous les enseignants du département pour ces cinq années passées ensemble, pour leurs cours dispensés et pour certains échanges qui nous ont particulièrement forgés. Un grand merci au personnel de la bibliothèque, aux agents et à tous les intervenants pour leur coup de main.

Pour terminer, nous rendons grâce à nos familles et amis pour leur support inestimable et leurs soutiens inconditionnels tout au long de cette période de réflexion et de découverte.

## Dédicaces

A peine la rédaction de ce mémoire terminée que j'ai envie de le dédier spécialement à la personne à qui je dois tout : ma mère, mon modèle et mon ancre qui n'a cessé de m'encourager à suivre mes ambitions et sans qui, je ne serais pas devenue la personne que je suis aujourd'hui.

Mes dédicaces vont également :

A mes grands parents maternels, notamment à ma Mami et sa jeunesse d'esprit pétillante qui a contribué au travail par son profond intérêt, son soutien et sa générosité.

A mon père pour son amour déterminant et à ma sœur Lina à qui je souhaite milles réussites à son tour.

A mes tantes, Soussou et Sissa qui représentent beaucoup pour moi.

A mes oncles de l'autre bout du monde et leurs femmes, je souhaiterai plus particulièrement consacrer ce travail à tonton Yazid en guise de reconnaissance pour sa philanthropie qui a ému mon être au plus haut degré.

A mes cousins et cousines Wahid, Sofiane, Assia, Shanez, Maël, Orane et Ilyes.

A tous mes amis qui ont su me transmettre leur bonne humeur et qui ont réussi le formidable exploit de me faire passer une année sympathique.

Et pour terminer, à ma complice de travail Ouarda.

BOUDJEMA Yasmine

## Dédicaces

Je dédie ce modeste travail :

A Dieu Le Tout Miséricordieux,

Ton amour, Ta miséricorde et tes grâces m'ont fortifiée pour pouvoir finir ce travail.

A mes très chers grands parents, surtout « Yemma khwali » qui représente depuis ma tendre enfance une deuxième mère pour moi que j'ai trouvé toujours à mes cotés .

A mes très chers parents, qui sans eux celui-ci n'aurait jamais pu avoir lieu et à qui je dois tout.

A mes adorables frères Mourad, Said et la meilleure sœur du monde Zakia .

A tous mes oncles, leurs femmes et adorables enfants, surtout « Khali Farid » qui étaient pour moi l'exemple de travail, de persévérance et professeur, pour son amour, sacrifice, sans que j'oublie « Dada Smail » pour son soutien et encouragements qui m'ont été d'une aide très précieuse.

A mes adorables tentes Faroudja et Djamila qui m'ont énormément aidé à surmonter toutes les difficultés que j'ai rencontré durant cette période.

A mon très cher fiancé Khaled qui m'a toujours encouragée et qui m'a été d'une aide énorme pendant tous le cursus, ainsi que toute sa famille.

Je ne saurai terminer sans citer ma binôme Yasmine et mes amis: Fahima, Malika, Zina, Lynda, Fazia, Kahina, Sylia.

Enfin je remercie tous ceux qui ont contribué à la réussite de ce travail de près ou de loin.

CHERIF Ouarda

## Résumé

Les nouveaux modèles architecturaux produits durant ces dernières décennies en Algérie, qu'on appelle « constructions modernes» sont de plus en plus inadaptées et gros consommateurs d'énergie.

Très souvent, ces constructions négligent les aspects climatiques.

La consommation énergétique et les contraintes environnementales sont un défi considérable pour le développement économique et social à l'échelle de la planète. Le bâtiment de demain doit s'inscrire dans une démarche durable qui économise les ressources et remet en cause les matériaux polluants. Ce bâtiment se veut de qualité, durable, adapté au climat et aux usagers. Néanmoins il faut agir en urgence sur les bâtiments existants, afin d'éviter une dégradation rapide qui ne fera qu'accentuer la crise environnementale. L'amélioration de la performance énergétique des bâtiments est une démarche évidente. Leur isolation constitue un des éléments clés de la réponse à cette problématique.

Pour affirmer ces recherches, nous nous sommes penchées sur le cas du département d'architecture de Tizi-Ouzou. Un bâtiment potentiel à une opération d'éco-réhabilitation. Pour ce faire, une analyse approfondie de son état physique, la connaissance de ses occupants et de son fonctionnement ont été définies pour arriver à un diagnostic ouvrant des perspectives d'intervention afin de satisfaire le confort des usagers dans le respect de l'environnement. Nous avons supposé que l'économie d'énergie maximale peut être obtenue en utilisant des techniques simples nécessitant aucun mécanisme technologique tel que la durabilité des matériaux, l'éclairage naturel, la ventilation naturelle, l'orientation ou l'inertie thermique.

**Mots clés : consommation énergétique – dégradation – performance énergétique – isolation – réhabilitation – diagnostic – confort des usagers - économie d'énergie - durabilité**

# Sommaire

Avant-propos	
Remerciements	
Dédicaces	
Résumé	

## Chapitre introductif

Introduction générale	02
Problématique générale	03
Problématique spécifique	04
Objectifs	05
Hypothèses	05
Méthodologie de recherche	06
Structure du mémoire	07

## Chapitre I « L'architecture dans son unité pédagogique »

Introduction	09
I.L'architecture, un art multiple	09
I.1.Définitions	09
I.2.L'enseignement de l'architecture	10
II.L'école, notions et programme	12
II.1.Définitions et organisation spatiale	12
II.2.Espaces spécifiques à une école d'architecture	13
II.3.Organigramme spatial	14
II.4.Spécifications techniques	15
II.5.Equipements de sécurité réglementaires	16
III. Analyse d'exemples	16
III.1.L'Ecole Polytechnique d'Architecture et d'Urbanisme d'Alger	16
III.2.L'Ecole Nationale Supérieure d'Architecture de Nantes	18
III.3.Faculté d'Architecture de l'Université de Porto	21
Conclusion	27

## Chapitre II « L'éco-réhabilitation, une contribution au développement durable »

Introduction	29
I.L'écologie comme retour à la Nature	29
I.1.Remise en cause de l'industrie du bâtiment	29

I.2.Le concept de Nature .....	29
I.3.L'Homme et son rapport à la Nature en architecture .....	31
I.4.Les éléments potentiels de la Nature .....	31
I.4.a. Microclimat .....	31
I.4.b. Topographie .....	32
I.4.c. Matériaux .....	32
I.4.d. Végétation .....	33
I.4.e. Rayonnement solaire .....	34
I.4.f. Vents .....	36
I.4.g. Précipitations .....	37
I.5.Les tendances de l'architecture écologique contemporaine .....	38
<b>II. Réhabilitation ou construire dans le construit .....</b>	<b>39</b>
II.1.Définition du processus .....	39
II.2.Intentions et enjeux .....	40
II.3.Les degrés de réhabilitation .....	41
II.4.Etapes d'une opération de réhabilitation .....	42
II.5.Les pathologies du bâtiment .....	49
II.5.a. Infrastructures .....	49
II.5.b. Structure et gros œuvre .....	50
II.5.c. Toiture et charpente .....	51
II.5.d. Enveloppe et revêtement .....	52
II.6.Les facteurs de dégradation .....	53
II.7.Quelques techniques de réhabilitation .....	54
II.7.a. Renforcement des fondations .....	54
II.7.b. Intervention sur les murs et piliers .....	54
II.7.c. Intervention sur les planchers .....	55
II.7.d. Entretien des couvertures .....	56
II.7.e. Nettoyage des façades .....	56
II.7.f. Revêtement des sols .....	57
II.7.g. Isolation des fenêtres .....	58
II.7.h. Traitement de l'humidité .....	59
<b>III. Une démarche durable pour la réhabilitation .....</b>	<b>59</b>
III.1.Présentation de la notion d'éco-réhabilitation .....	59
III.2.Objectifs de l'éco-réhabilitations .....	62
III.3.Développement durable et basse consommation, deux enjeux de l'éco-réhabilitation .....	71
III.4.Les bâtiments basse consommation .....	72
III.4.a. Définition .....	72
III.4.b. Outils et dispositifs .....	73
<b>Conclusion .....</b>	<b>80</b>

## Chapitre III « L'éco-réhabilitation de l'EX-HABITAT et sa reconversion en école d'architecture »

Introduction .....	82
<b>I. Analyse du contexte .....</b>	<b>82</b>
I.1.Echelle urbaine .....	82
I.2.Echelle de la parcelle .....	83
I.2.a. Morphologie .....	83
I.2.b. Végétation .....	84
I.2.c. Températures et ensoleillement .....	85
I.2.d. Vents .....	86
I.3.Echelle du bâtiment .....	87
I.3.a. Domaine historique .....	87
I.3.b. Domaine social .....	87
I.3.c. Typologie et organisation spatiale .....	87
I.3.d. Traitements de façade .....	89
I.3.e. Systèmes constructifs et matériaux .....	89
I.3.f. Dégradations observées .....	90
I.4.Constat et diagnostic .....	91
<b>II. Programme spatial .....</b>	<b>91</b>
<b>III. Esquisse du projet .....</b>	<b>93</b>
III.1.Schéma de structure .....	93
III.2.Schéma d'organisation .....	94
III.3.Concepts .....	95
III.4.Formalisation du projet d'extension .....	96
III.5.Image mentale .....	98
<b>IV. Projet .....</b>	<b>99</b>
IV.1.Présentation générale .....	99
IV.2.Fonctionnement du projet .....	100
IV.3.Confort et environnement .....	100
IV.4.Façades et expression architecturale .....	106
IV.5.Eco-matériau .....	107
IV.6.Aspect technique .....	110
IV.7.Aspect sécuritaire .....	113
<b>Conclusion .....</b>	<b>113</b>
Conclusion générale .....	115
Références bibliographiques .....	116
Liste des figures .....	119
<b>Annexes</b>	

# CHAPITRE INTRODUCTIF

## Introduction générale

En un siècle, la croissance démographique mondiale et le développement économique notamment des pays émergents auront généré une tension considérable sur les ressources (énergie, matières premières, eau, alimentation, etc.) et les rejets.

En 2050, la population aura atteint 9 à 10 milliards d'habitants et il nous faudra faire un choix lourd en termes d'ambition de réduction de la consommation énergétique.

Les bâtiments consomment 40% de l'énergie globale dont 25% en éclairage et 75 % en chauffage et eau chaude sanitaire. Ils contribuent à plus de 30% des émissions planétaires de gaz à effet de serre<sup>1</sup>. Au total, le bâtiment produit chaque année plus de 120 millions de tonnes de dioxyde de carbone, principal GES après le méthane.<sup>2</sup>

A l'époque, les problèmes de performance énergétique en Algérie ne faisaient pas véritablement figure de préoccupation majeure. Avec l'abondance du pétrole et ses triomphes sur les marchés, les priorités étaient de reconstruire le pays en solutionnant rapidement la crise du logement. L'homme s'est ainsi transformé en mangeur d'espace. Les constructions de lotissements peu denses détruisirent l'espace agro-pastoral. A ce rythme, en termes d'espaces naturels, l'équivalent de la surface d'une commune disparaîtra tous les dix ans au profit des espaces construits.

Cependant, les préoccupations environnementales devraient être aujourd'hui de plus en plus présentes. La prise de conscience de l'impact de l'Homme sur son environnement viendra modifier notablement sa relation à l'énergie. Avec le transport, la construction est en première ligne en termes de production de gaz à effets de serre et la question de l'efficacité énergétique est devenue un enjeu majeur.

Dérèglement climatique et consommation énergétique sont intimement liés. L'Etat algérien s'est d'ailleurs engagé, notamment depuis la COP 21 de fin 2015, à une réduction de 7% des gaz à effet de serre, réalisée avec des moyens nationaux, à l'horizon 2030.

En effet, l'énergie et le bâtiment doivent être le creuset de l'espoir et de la renaissance industrielle à l'horizon 2050. Les enjeux d'aujourd'hui, à savoir, ceux de la transition énergétique par une construction durable et responsable et ceux d'habiter respectueusement notre planète, nous obligent à penser et à dépasser le cadre strictement « technique » pour réfléchir en transversalité, en humanisme, en comportement et en innovation à une société énergétiquement raisonnable.

L'efficacité énergétique est un levier de premier ordre pour relever les défis énergétiques qui sont devant nous. Ceci est vrai à l'échelle mondiale : l'Agence Internationale de l'Energie réaffirme régulièrement, qu'à l'horizon 2030, environ 40% des réductions de CO2 requises pour tenir une trajectoire « +2°C », pourraient découler des seuls progrès d'efficacité énergétique.

---

<sup>1</sup> ROCHETTE ANDRE, président d'Ecosystem « Les bâtiments : une source de bénéfices environnementaux et économiques à exploiter dès maintenant », mémoire pour la Commission sur les enjeux énergétiques du Québec, 2013

<sup>2</sup> ATHEBA, « Amélioration thermique du bâti ancien ».

Les bâtiments offrent le plus grand potentiel d'économie d'énergie. Investir dans l'amélioration globale du bâti existant apportée aux systèmes de chauffage, de ventilation et d'éclairage peut générer, en plus des économies financières, un meilleur confort des usagers et une valeur verte des bâtiments.

En matière de mutations des villes à vivre, défaire devient plus important que faire, c'est-à-dire, qu'on devrait penser, préalablement à toute décision de construire, à comment reconquérir les immeubles construits. La recherche d'une bonne solution de réhabilitation est toujours la recherche d'un compromis entre performance énergétique, confort des occupants et maintien de la salubrité du bâti. L'éco-réhabilitation du bâti existant est par ailleurs susceptible de procurer des bénéfices importants dans les trois dimensions, environnementale, économique et aussi sociale, en contribuant à la réduction de la précarité énergétique et à la création d'emplois non délocalisables.

## Problématique générale

L'énergie grise d'un bâtiment correspond à la somme de toute l'énergie investie de sa conception à sa destruction, donc pour sa construction (extraction des matériaux, déplacements, livraisons...), son entretien et sa démolition. Cette dernière englutit une quantité importante d'énergie lorsque l'on casse les structures et transporte les gravats pour les recycler ou les enfouir.

Malgré la crise écologique, on continue de construire du neuf et de détruire de l'ancien. Faute de temps pour réfléchir à la réhabilitation, la question de l'énergie grise des bâtiments existants est passée sous silence. Pourtant, mettre la créativité au service du déjà-construit est écologiquement très rentable et peut donner des résultats ingénieux et exemplaires. Détruire au motif de reconstruire du très économe en énergie n'est pas toujours un gain environnemental. Cela mobilise l'équivalent de 25 à 50 ans<sup>3</sup> de la consommation énergétique annuelle du bâtiment, ce qui ne va pas dans le sens de l'objectif de sobriété recherché pour parer aux urgences climatiques.

Perte d'image, mal-être des salariés, diminution de productivité, manque de flexibilité et d'adaptabilité du bâtiment, sont autant d'obsolescences qui poussent à la construction de nouvelles structures plus adaptées. Mais la conviction qui doit se développer aujourd'hui est que l'enjeu porte sur la rénovation et sur les performances réelles des bâtiments quel que soit leur âge. Il faudra désormais penser à recycler les bâtiments en refusant leur démolition. La durée de vie d'un bâtiment inclura ainsi sa transformation future en permettant l'adaptation de son usage à de nouvelles fonctions.

Les manières de nommer l'intervention sur le bâti existant sont nombreuses : rénovation, réhabilitation, renouvellement, requalification, transformation, réfection, modernisation, restructuration, reconversion, restauration, entretien... Chacune d'entre elles évoquent des rapports au patrimoine et des degrés d'action différents. L'expression «éco-réhabilitation» peut paraître réductrice vis-à-vis de la problématique abordée puisqu'il signifie «remise à neuf» et se rapproche le plus souvent d'une mise aux normes techniques et sanitaires, lorsqu'il n'est pas

---

<sup>3</sup> ECOLOGIK 16, « Energie grise »

associé à la sauvegarde patrimoniale. Mais elle apparaît comme une alternative pertinente à la démolition-reconstruction. Les bâtiments existants, en tant que «ressource renouvelable», constituent une matière disponible dont il faut tirer parti. Si rien sur le plan urbain, social et humain n'impose de démolir un bâtiment, il faut le conserver et le rénover quels que soient les difficultés et le coût de l'opération. C'est une question de cohérence en matière d'émissions de gaz à effet de serre et de bilan énergétique.

Cependant, investir plus de 40 % de la valeur d'un immeuble pour le réhabiliter n'est pas économique car cela exige trop d'interventions sur la structure en place. Il faut alors lui trouver une autre destination pour rester au plus près de ce que sa structure d'origine peut offrir.

De cet état de fait, deux questions sont dégagées comme suit :

- **Quelles sont les actions à opérer pour réduire les consommations énergétiques et ainsi l'impact du bâti existant sur l'environnement ?**
- **Comment inscrire un vieux bâti dans une durabilité et l'optimiser en vue d'une qualité architecturale ?**

## Problématique spécifique

Outre la question technique de l'énergie, les enjeux liés aux établissements scolaires sont multiples. Une évidence réside dans le manque en terme de quantité : le nombre d'inscrits à l'université de Tizi-Ouzou est, au 19 septembre dernier, de 8904, or, seules 6700 places pédagogiques seront libérées, ce qui donne à première vue un déficit de près de 2000 places. Les promesses de 4 000 places pédagogiques à Tamda sont très attendues<sup>4</sup>. Mais pourquoi construire de nouvelles structures si, dans le même temps, nombreux immeubles devenaient vétustes chaque année s'ils n'étaient pas remis à neuf ? L'EX-HABITAT, actuel département d'architecture de Tizi-Ouzou, reposant sur une vaste superficie, est en état de dégradation et son annexion à Tamda engendre des soucis en termes de gestion et d'économies dues à un dédoublement des fonctions. De plus, l'étalement urbain, est une cause majeure de pollution et d'émission de gaz à effet de serre, liée notamment aux déplacements réguliers que le tissu pavillonnaire entraîne de par son éloignement.

Il est concevable aujourd'hui de construire des bâtiments mutables capables de fonctionner dans le changement. Le bâtiment durable doit être capable de changer de destination : les hôpitaux, les bureaux, doivent être transformables en écoles ou en logements. En conséquence, le bâtiment durable doit être flexible, et par là même modifiable : des cloisons légères ou glissantes peuvent faire varier la surface intérieure ; des coursives extérieures permettent au moment opportun de rajouter une aile ou une porte.

L'évolutivité des bâtiments doit donc inciter les architectes à fournir d'emblée la faisabilité d'une autre destination programmatique de leur demande.

---

<sup>4</sup> JOURNAL LIBERTE « Déficit d'encadrement à l'université de Tizi-Ouzou »

Les économies substantielles générées par des améliorations peuvent servir de levier financier permettant de répondre à d'autres nécessités, telles que les déficits d'entretien, le renouvellement des biens ou autres besoins allant de l'embauche de nouveaux employés jusqu'au financement de nouvelles activités.

Notre problématique spécifique sera formulée ainsi :

- Est-il raisonnable de détruire un bâtiment de 40 ans à peine, porteur d'une mémoire du lieu ?
- Quelle deuxième vie imaginer pour cet ensemble afin de répondre aux besoins quantitatifs et qualitatifs liés à l'enseignement de l'architecture ?
- Comment marier les différentes temporalités bâties et créer un ensemble homogène ?

## Objectifs

1. Si la question de l'énergie est centrale, les questions de bien-être, de confort et de santé, occuperont une place prépondérante. L'Homme est mis au cœur de la réflexion. On ne pensera plus « contenant » mais « contenu », car le vrai enjeu de demain sera moins sur la performance des bâtiments eux-mêmes que la maîtrise, à travers des comportements responsables, de l'ensemble des besoins et dépenses énergétiques.
2. Ne plus penser le bâtiment dans son individualité mais le penser dans son interaction avec l'ilot, en exploitant intelligemment les possibilités de mutualisation et d'échange. Ce qui nous conduira à raisonner autrement en termes de construction et de démolition.
3. Incitation à lancer une réhabilitation lourde mais rentable en entrant dans une approche environnementale multicritères sur l'ensemble du cycle de vie intégrant consommation d'énergie, émission de gaz à effet de serre et production de déchets.
4. Connaître et comprendre le bâti existant en établissant un diagnostic de l'enveloppe et en déterminant les améliorations possibles afin de programmer et concevoir des opérations d'amélioration efficaces.
5. Elaborer une stratégie d'éco-réhabilitation en améliorant la gestion de l'énergie, en choisissant les matériaux adaptés et en concevant des détails d'exécution.

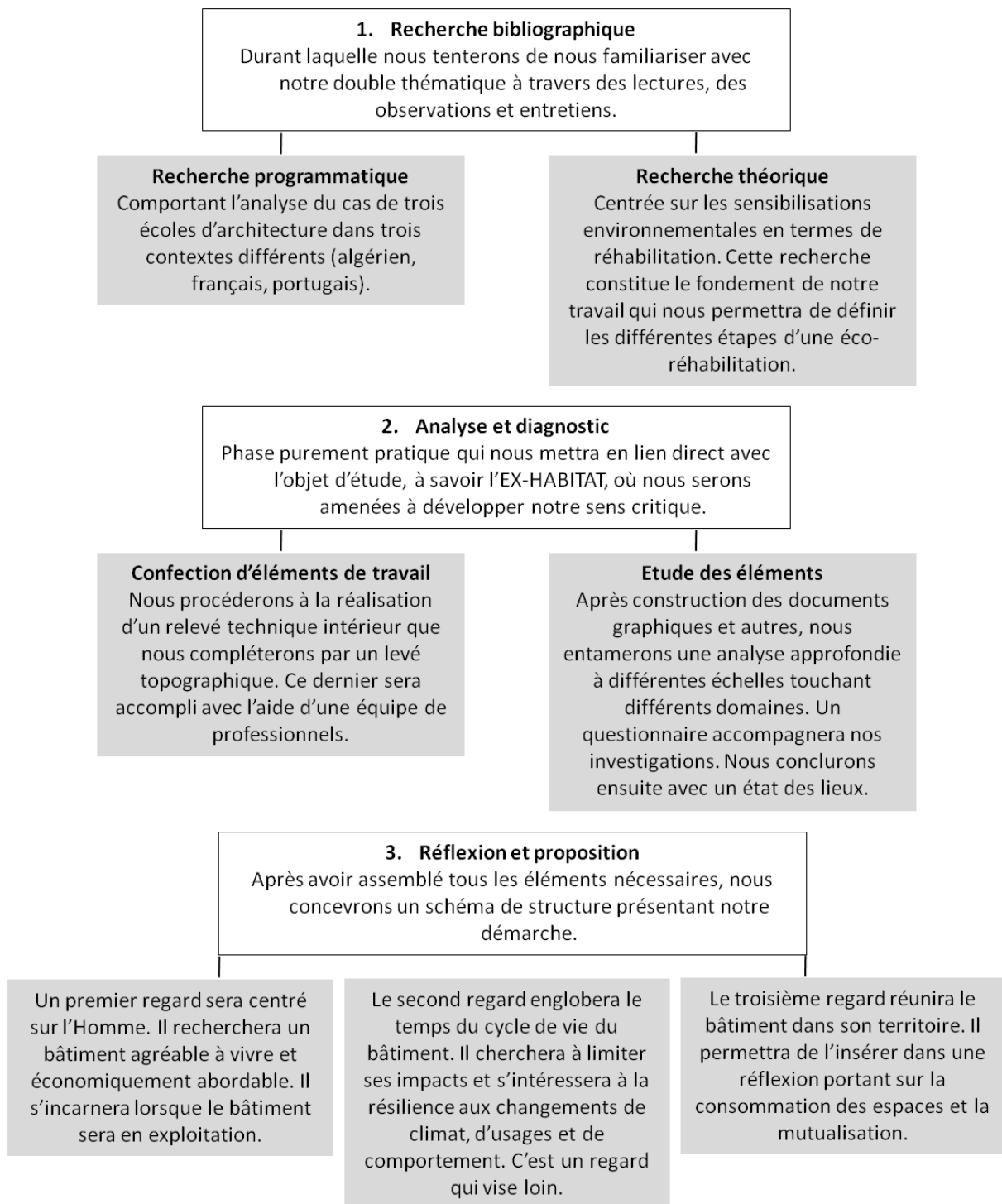
## Hypothèses

1. L'isolation thermique est l'une des pistes possibles offerte à l'amélioration de la performance thermique des bâtiments existants.
2. Privilégier les interventions sur l'enveloppe avant les interventions sur les équipements énergétiques. Mieux vaut réduire les besoins en énergie plutôt que d'améliorer les moyens d'en produire. Donc profiter des énergies renouvelables pour arriver à des bâtiments basse consommation.

# Méthodologie de recherche

Ce travail de mémoire se base essentiellement sur une prospection documentaire, parfois complétée par des échanges avec les enseignants et professeurs fortement impliqués dans la question environnementale.

Pour tenter de répondre à la problématique posée et ainsi à la question du rôle de l'architecte dans l'éco-réhabilitation, nous procéderons à la méthodologie suivante :



## Structure du mémoire

Quatre parties, qui sont les suivantes, structurent ce travail de recherche :

1. Un chapitre introductif cerner dans un premier temps, notre thème de travail en introduction générale. Se succèderont ensuite les problématiques générales et spécifiques, les hypothèses, les objectifs et la méthodologie d'approche.
2. Un corpus théorique divisé en deux chapitres constituera le socle de notre recherche.

### CHAPITRE 1

#### « L'architecture dans son unité pédagogique »

Ce premier chapitre est une rétrospective des études, plus précisément de l'enseignement de l'architecture et son évolution à travers le temps. On ne manquera pas d'aborder des analyses d'exemples qui serviront à l'élaboration du programme.

### CHAPITRE 2

#### « L'éco-réhabilitation, une contribution au développement durable »

Chapitre qui portera sur des définitions théoriques, à savoir l'écologie et la réhabilitation. Il mettra en exergue les manières d'allier les deux notions afin d'aboutir à une démarche suivant des étapes et procédures.

3. Un troisième chapitre ayant pour titre « **L'éco-réhabilitation de l'EX-HABITAT et sa reconversion en école d'architecture** » met en avant l'objet d'étude à travers une analyse du contexte et les différentes étapes qui nous feront aboutir à une proposition architecturale, fruit de toutes ces investigations.
4. Une conclusion générale viendra clôturer ce mémoire. Elle répondra aux questionnements de l'introduction générale et synthétisera les résultats de la recherche.

# CHAPITRE I

« L'architecture dans  
son unité pédagogique »

## Introduction

L'architecture est trop souvent assimilée aux monuments antiques de l'ancienne époque. Mais l'architecture est aussi toute manière d'habiter. Les édifices sont architectures tout comme les sentiers ou les jardins. L'architecture est toute fabrication humaine intelligente qui doit être au centre des pratiques pédagogiques car il s'agit d'un enjeu de société, de développement durable et de qualité environnementale. La formation à l'architecture est des plus indispensables.

L'acte de construire est un élan vital et un acte de responsabilité dont la dimension est fondamentale à l'égard des générations actuelles mais aussi futures. C'est aussi la concrétisation du regard éthique d'un nouveau rapport au monde. Nous avons tous conscience depuis Vitruve, que l'architecture, qui « *s'acquiert par la pratique et la théorie* » exige une large palette tant de connaissances que de compétences.

La transmission de l'architecture revêt une dimension plurielle, celle d'une approche sensible en faisant l'expérience des lieux, d'une approche culturelle en inscrivant les édifices dans un contexte, d'une approche sociale en mettant en avant les usagers et d'une approche expérimentale.

Former un architecte praticien est donc long et difficile. Cinq années sont proposées pour obtenir un diplôme en architecture. Ce cursus en école, a pour but premier de former des architectes sanctionnés par un diplôme professionnel qui leur délivre, sous l'autorité du Gouvernement, le droit de bâtir sous leur responsabilité. Avec l'Histoire des arts et au-delà du monde scolaire, c'est l'ensemble des lieux d'éducation, de diffusion des savoirs et des cultures qui sont concernés par cette capitalisation d'expériences et d'investissements.

## I. L'architecture, un art multiple

### I.1. Définitions

Le terme « architecture » du latin « architectura » désigne à l'origine, la nécessité pour les hommes de créer un habitat approprié aux conditions environnantes. C'est un art de bâtir qui illustre une époque, une culture et une société. Il concerne à la fois le champ pictural, le champ sculptural et le champ de l'espace interne construit.

Pour l'architecte romain Vitruve, l'architecture doit être synonyme de solidité, d'utilité et d'élégance. Un trinôme qui renvoie toute la complexité de l'architecture de par ses aspects techniques (fermeté et sécurité), fonctionnels (destination et programme) et esthétiques (harmonie et beauté). Cependant en 1920, Le Corbusier affirme que « l'architecture est le jeu savant, correct et magnifique, des volumes sous la lumière », il soutient aussi sa théorie du logement comme « machine à habiter ».<sup>5</sup>

L'architecture est donc un carrefour entre le « dire » et le « faire » qui peut être considérée comme une culture vivante en constante évolution. En plus de se manifester dans une réalité matérielle (constructions matérielles) elle se manifeste également dans une réalité intellectuelle

---

<sup>5</sup> Le petit LAROUSSE illustré, ed 2015

(messages et langages). L'architecture est à la fois science de la conception, art de l'organisation et technique de la construction de l'espace.<sup>6</sup>

## I.2.L'enseignement de l'architecture

L'organisation de l'environnement bâti nécessite des savoir-faire autres que techniques, à savoir, l'intégration de disciplines touchant le paysage, l'urbanisme et l'aménagement du territoire. Ces disciplines se rapportent à l'architecture qui est un élément fondamental de l'histoire, de la culture et du cadre de vie de chacun des pays. Les acteurs intervenants dans l'acte de bâtir portent donc sur leurs épaules une grande responsabilité du fait de l'aspect culturel et économique que suscite l'architecture. La formation de ces acteurs se doit d'être de rigueur.

L'architecte doit-il toujours posséder « *de la facilité pour la rédaction, de l'habileté pour le dessin, des connaissances en géométrie ; il doit avoir quelque teinture de l'optique, posséder à fond l'arithmétique, être versé dans l'histoire, s'être livré avec attention à l'étude de la philosophie, connaître la musique, n'être point étranger à la médecine, à la jurisprudence, être au courant de la science astronomique qui nous initie aux mouvements du ciel* » Liv. I, chap.1. La pédagogie, tout comme l'architecture est un art ; celui de transmettre des connaissances, des théories et d'en favoriser l'intégration dans la pratique.<sup>7</sup>

Enseigner, c'est donc savoir donner, écouter et comprendre le niveau de demande de l'apprenant dans le but d'élaborer un programme adapté aux exigences. C'est aussi communiquer un savoir et accompagner. L'enseignement de l'architecture, dans l'Histoire, n'a jamais été dispensé au sein d'Universités mais uniquement au sein d'Écoles. Des travaux récents tels que ceux de Frédéric Morvan, Malik Chebahi ou Franck Storne ont été spécialement consacrés à l'École des Beaux-arts, à l'École Polytechnique ou à l'École des arts décoratifs. La formation au métier d'architecte a connu une évolution indéniable. De l'enseignement professionnalisant, à sa décentralisation, sa démocratisation puis sa massification, autant de conquêtes sous des périodes et contextes différents.

D'abord au Moyen-âge, période pendant laquelle on délivrait en France le « Magister Operis » après la formation de « maître d'œuvre » pour l'attribution du grade de constructeur. Les choses demeurèrent inchangées jusqu'à la Renaissance, plus précisément le 31 décembre 1671, où Louis XIV créa l'Académie Royale d'Architecture ainsi que la première école pour 12 étudiants, d'une durée de trois années, qui aura pour but la formation d'architectes au service du Pouvoir uniquement et non au service du grand public qui se contentait des maîtres d'œuvre.

Nous assistons à une architecture de qualité, intégrant besoins et moyens tout en respectant l'environnement urbain et rural. Cette architecture favorisait la créativité par l'emploi de gammes de matériaux et par l'établissement de relations claires entre ces matériaux, ce qui conduisait progressivement à une discipline respectée par tous.

<sup>6</sup> COURBIERES Caroline et FRAYSSE Patrick, « Langage de l'architecture/architecture des langages », 7<sup>ème</sup> colloque du chapitre français de l'ISKO, p9

<sup>7</sup> VIVIER Alain, Président de la MAF et Membre de la SFA

Il fallut attendre le XIX<sup>ème</sup> siècle pour voir disparaître cette harmonie avec la société industrielle qui introduisit un nouvel ordre, celui des spécialistes. La société a désormais de nouveaux besoins et il est donc indispensable de diviser le champ d'intervention du maître d'œuvre en deux disciplines : Architecture – Ingénierie. C'est à partir de là que furent créées les écoles publiques d'architecture.

En France, le système Beaux-arts est mis en mouvement ou en crise à trois reprises : en 1903, date de la création des premières écoles régionales ; en 1940, date d'une réorganisation de l'enseignement (dans la foulée de la réorganisation de la profession) accordant un monopole de l'enseignement à l'École des Beaux-arts et déposant de leur habilitation les écoles d'ingénieurs et d'arts décoratifs ; et enfin en mai 1968, avec l'éclatement de l'École des Beaux-arts et la création des « unités pédagogiques d'architecture », devenues aujourd'hui les « écoles nationales supérieures d'architecture ».<sup>8</sup>



**Figure 1 :** L'école nationale d'Alger des Beaux-arts. Cours de dessin 1965



**Figure 2 :** Ecole régionale d'architecture de Strasbourg. L'atelier dessin au premier étage du Palais du Rhin vers 1930

En Algérie, précisément en 1881, un atelier d'architecture est fondé à l'École nationale des Beaux-arts d'Alger. Jusqu'en 1940, les programmes, les concours, ainsi que les jugements et les récompenses dépendent de patrons et de jurys locaux. À partir de 1940, l'atelier devient régional et intègre le giron de l'École des Beaux-arts de Paris. C'est la seule structure appartenant à l'empire colonial français à s'être vu accorder ce statut. Alors que l'évolution des pensées architecturales et urbaines d'Alger durant la période française a fait l'objet de nombreuses recherches, l'histoire de la formation des architectes dans cette ville est quant à elle demeurée inexplorée.<sup>9</sup>

L'Etat accorda une priorité au quantifiable, ignorant l'art de vivre, l'urbanité, le respect de l'environnement et du paysage. C'est alors qu'émergèrent des bureaux d'étude qui ont diminué les activités traditionnelles de l'architecte.

A la différence de l'histoire de l'enseignement supérieur, l'histoire de l'enseignement de l'architecture a été faite jusqu'ici plutôt de façon « horizontale » que « verticale », par établissement plutôt que par discipline. L'étude de l'enseignement de la construction a connu un

<sup>8</sup> SCHWEITZER Roland, professeur à l'École d'Architecture PARIS TOLBIAC-U.P.7 (1969-1991) et membre de la Commission Enseignement de l'U.I.A. 2008-2011

<sup>9</sup> CHEBAHI Malik, « L'enseignement de l'architecture à l'École des Beaux-arts d'Alger et le modèle métropolitain », réceptions et appropriations 1909-1962

grand développement, fruit de l'engouement que connaît aujourd'hui l'histoire de cette discipline pour laquelle, depuis 1985, six associations ont été créées. D'autres sujets témoignent du renouvellement de l'historiographie, comme l'arrivée des femmes dans les écoles d'architecture, la constitution et l'action des associations d'élèves...<sup>10</sup>

L'enseignement et la recherche doivent aujourd'hui se focaliser sur les besoins à long terme de la société. La complexité proliférant des technologies ainsi que la sensibilité croissante à l'environnement et à la raréfaction des ressources naturelles ont engendré une modification du système de valeurs. La science et la recherche doivent s'intégrer plus manifestement dans la société. Par ailleurs, il est indispensable d'inscrire dans le cursus des écoles d'architecture l'enseignement du rôle social de l'architecte dans la société et de développer ses facultés pour saisir les relations entre les hommes et les créations architecturales d'une part, les créations architecturales et leur environnement d'autre part. L'architecte intervient en tant que créateur des espaces de vie, contribuant ainsi comme d'autres métiers au bien de la société et non pas comme un professionnel élitiste soucieux de marquer sa différence.<sup>11</sup>

Tous ces enseignements doivent se faire au niveau de l'atelier d'architecture qui le centre permanent de la formation, perçu comme lieu d'apprentissage par le biais de la communication et le dialogue entre jeunes étudiants et anciens architectes. Enseigner l'architecture aujourd'hui, c'est penser que l'on peut résister à la tendance contemporaine, celle d'une architecture commerçante et d'argent et ainsi se replacer dans l'Histoire pour donner ses lettres de noblesse au temps et à la durée.

« Je résumerai ainsi mon souhait essentiel : l'existence dans chaque école d'une très grande salle d'exposition, déployant la confrontation, l'émulation pour fédérer les étudiants entre eux, les enseignants entre eux, les écoles avec leur voisinage et enfin l'avenir avec le passé, grâce à un présent confrontant et tolérant. » Michel MAROT, architecte français.<sup>12</sup>

## II. L'école, notions et programme

### II.1. Définitions et organisation spatiale

Une école est un établissement scolaire permettant d'accueillir des étudiants afin de leur dispenser un enseignement de façon collective. Les enseignements peuvent être théoriques mais aussi pratiques.

Le fonctionnement est centré sur la classe et privilégie les relations entre les groupes, ce qui amène à ne plus considérer isolément la classe qui ne représente plus une entité autonome. Cependant la classe reste un lieu de référence et constitue l'élément d'un tout. L'ouverture des classes sur un même espace s'avère impossible en raison de l'importance de la circulation. La

---

<sup>10</sup> Le Comité d'Histoire du ministère de la culture et de la communication, France

<sup>11</sup> SCHWEITZER Roland, professeur à l'Ecole d'Architecture PARIS TOLBIAC-U.P.7 (1969-1991) et membre de la Commission Enseignement de l'U.I.A. 2008-2011

<sup>12</sup> Société française des architectes SFA, bulletin n°49, 2011/2012

répartition se fait donc par petits groupes autour d'un espace commun ouvert. Cet espace de liaison doit être organisé sans que les activités qui s'y déroulent ne soient dérangées.

Il convient d'éviter toute proximité et interférence entre locaux calmes et bruyants sauf isolation efficace. Comme il convient aussi d'assurer le passage rapide de l'entrée de l'école aux classes et des accès directs tant des classes aux cours et jardins ainsi que des classes aux espaces collectifs.

Le hall d'accueil assure la fonction de contrôle des entrées et des sorties des étudiants, des enseignants et du personnel de service. Il est aussi un point de rencontre et point de distribution de toutes les parties intérieures de l'école. Le hall d'accueil, peut donc être conçu comme un espace très ouvert permettant de percevoir dès l'entrée une grande partie des autres lieux de l'école. En matière d'aménagement et d'équipement, il est à noter que l'accueil intègre des panneaux d'affichage, des vitrines ainsi qu'une signalétique pour s'orienter dans l'ensemble de l'établissement. A l'extérieur, les accès piétons et voitures doivent être clairement différenciés.<sup>13</sup>

## II.2.Espaces spécifiques à une école d'architecture

L'atelier est l'espace indispensable au fonctionnement pédagogique d'une école d'architecture. C'est un lieu où s'exécutent des travaux manuels sous la direction d'un enseignant. Un endroit qui permet de mettre en pratique les savoirs acquis des cours théoriques, en classe ou en amphithéâtre. Il accorde aussi à l'étudiant une liberté créative et artistique lui permettant de développer concepts et pensées.

### ▪ Ateliers de conception architecturale

Destinés à la conception architecturale, ils peuvent accommoder, en moyenne, des groupes de 10 à 20 étudiants. Tous les étudiants disposent d'un espace personnel et exclusif composé d'une table de travail munie d'un bloc-tiroir et de rangement sécurisé, une table de référence et un tabouret ergonomique.

### ▪ Atelier-maquette

Le projet architectural ne peut se passer de maquette. L'atelier-maquette est un lieu dédié à l'expérimentation et à la mise en œuvre de la matière dans un but pédagogique et de recherche. Il est équipé de sorte à ce qu'il permette la réalisation d'exercices pratiques mais aussi la construction d'outils éducatifs novateurs. On y pratique des travaux de menuiserie, de ponçage et de découpe de matériaux.

L'atelier-maquette doit être muni de :

- 1/ Machines fixes telles que les scies circulaires, les scies sauteuses, les lapidaires, les perceuses à colonne, les meuleuses, les machines à polir le plexiglas...
- 2/ Machines à main telles que les ponceuses à bande, les ponceuses circulaires, les rabots électriques, les perceuses, les pistolets pression à clou, les fers à souder...<sup>14</sup>

### ▪ Ateliers de découpe numérique

<sup>13</sup> MURET Jean-Pierre et DERRIEN Albert, « L'école et les collectivités locales », ed Moniteur, p114

<sup>14</sup> <https://www.arc.ulaval.ca> [EN LIGNE]

A l'ère du numérique, de nombreuses écoles d'architecture disposent d'un atelier de découpe numérique qui est muni de découpeuses digitales conception et fabrication de maquettes. Le but de cet atelier est la production d'éléments préfabriqués en représentation architecturale et graphique mais également l'innovation dans le domaine.

La table de découpe est dotée d'outils de coupe à lame tangentielle, à lame oscillante, avec foret pour découper à 2 axes et demi l'ensemble des matériaux plats pour la confection de maquettes (carton, acrylique, MDF, contre-plaqué...) à diverses épaisseurs et dimensions.

Il y a également la découpe à 3 axes, avec une toupie pour forets et pouces de diamètre pour découper des volumes de bois, de polystyrène et autres matériaux à différentes dimensions.

Les dessins d'atelier de découpe se font à partir des logiciels AutoCAD, Illustrator ou Rhino.<sup>15</sup>

#### ▪ Matériauthèques

Ces endroits sont des sortes de bibliothèques d'échantillons de matériaux, destinées à une libre utilisation par les étudiants et par les enseignants qui désirent exposer certains matériaux ou assemblages dans leurs cours. Les échantillons de matériaux sont classés et ordonnés selon leur classification. Ces matériaux sont fournis par des compagnies, des fabricants et même des étudiants.

### II.3. Organigramme spatial

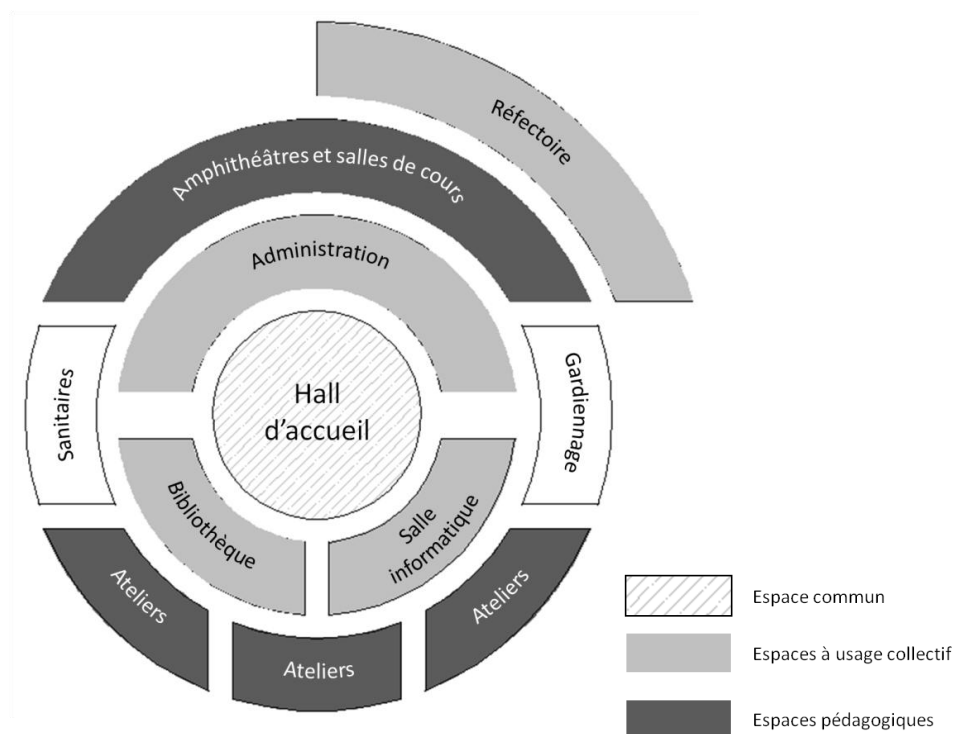


Figure 3 : Organigramme général des fonctions

<sup>15</sup> <http://www.esa-paris.fr> [EN LIGNE]

## II.4. Spécifications techniques<sup>16</sup>

### ▪ Choix des matériaux

Il doit tenir compte des critères tels que la cohérence avec les activités exécutées, la résistance, la durabilité, l'entretien facile, l'isolation acoustique et thermique.

### ▪ Choix des couleurs

Si le choix d'une couleur neutre, uniformément répartie, n'est plus adopté, il convient d'éviter le choix d'une gamme trop importante de coloris, aboutissant parfois à un bricolage excessif.

### ▪ Eclairage

Il faut tenir compte de certains paramètres tels que le niveau d'éclairement, la répartition lumineuse, les ambiances adaptées à chaque activité et les coûts. Ceci pour définir un éclairage naturel où il faut trouver un juste équilibre entre surfaces vitrées et surfaces pleines en fonction de la spécificité des lieux et de leur orientation. Ou alors un éclairage artificiel, qui, tout en restant fonctionnel, doit participer à l'ambiance des volumes et être pris en compte comme un élément d'animation et de décoration.

### ▪ Acoustique

Une bonne isolation phonique doit être recherchée. Cette préoccupation conditionne notamment l'implantation des locaux entre eux et par rapport à la rue ou à la cour, le choix des matériaux et la conception des circulations.

### ▪ Evolutivité

La conception des locaux et leur distribution doit tenir compte de leurs différents modes d'utilisation, des possibilités d'évolution de la pédagogie, des activités pratiquées, du matériel utilisé notamment au niveau des ateliers où les activités peuvent varier, des classes où les enseignements dispensés peuvent demander un aménagement traditionnel ou souple, de l'équipement général en câblage et alimentation...

### ▪ Accessibilité

Conformément aux textes réglementaires en vigueur, il faut prévoir l'accès des handicapés mais aussi prendre des dispositions particulières concernant le dimensionnement des circulations.

### ▪ Sécurité

Les contraintes de sécurité dans un bâtiment scolaire comportent trois aspects différents :

- 1/ La sécurité contre l'incendie et la panique est fondamentale et doit être prise en compte dès la conception du projet
- 2/ La sécurité contre les accidents qui influe sur le choix des matériaux, l'aménagement des cours, l'aménagement des garde-corps...
- 3/ La sécurité contre le vol qui influe sur le traitement des abords et des accès tout en évitant de donner à l'établissement un aspect carcéral.

---

<sup>16</sup> MURET Jean-Pierre et DERRIEN Albert, « L'école et les collectivités locales », ed Moniteur, p83

## II.5. Equipements de sécurité réglementaires

- **Extincteurs**

Les extincteurs de 6l sont préférables pour des raisons de poids et de facilité de manipulation. Un extincteur doit être prévu pour 200m<sup>2</sup> de surface. Les appareils doivent être facilement décrochables cas d'une poignée de portage à 1,20 m du sol.

- **Eclairage de sécurité**

Il doit permettre de reconnaître sans ambiguïté le parcours vers les sorties en cas de catastrophe.

- **Système d'alarme**

Asservi à un système de détection automatique, il doit être installé afin de permettre une évacuation rapide dès les premiers instants du sinistre. La reconnaissance de ce système d'alarme doit être bien marquée.<sup>17</sup>

## III. Analyse d'exemples

### III.1. L'Ecole Polytechnique d'Architecture et d'Urbanisme d'Alger

L'architecture en Algérie était enseignée à l'école des Beaux-arts avant la création de l'EPAU jusqu'en 1973. L'EPAU est donc une école pionnière dans le pays. Ses locaux ont été conçus en plusieurs phases par de grands architectes.

#### Situation

L'école est située dans la commune d'El Harrach, à environ 12Km à l'Est d'Alger. Elle a été conçue en 1970 sur un terrain de 4 hectares, elle est implantée dans un environnement universitaire et est entourée d'autres écoles telles que l'ENV, l'INA et l'ENP, ainsi que la Cité Universitaire Bouraoui Ammar qui assure aux étudiants l'hébergement et la restauration.

#### Phases de création

##### 1/ Oscar Niemeyer

En 1970 O. Niemeyer conçoit la première partie prévue pour une centaine d'étudiants. Cette partie était composée de deux amphithéâtres circulaires de 24 mètres de diamètre, d'un bloc de salles d'ateliers, d'un autre bloc pour les salles de TD et d'un dernier bloc destiné à l'administration. Les trois blocs sont en liaison grâce à des galeries et allées.<sup>18</sup>

##### 2/ Jean-Jacques Deluz

L'EPAU a connu une déstabilisation après la croissance rapide des inscriptions en architecture. Le ministère de l'enseignement supérieur veut alors porter la capacité de l'école à six cents étudiants. Au début des années 80, Jean-Jacques Deluz conçoit l'extension de l'EPAU à l'Est du projet de Niemeyer. Deluz a projeté un bâtiment administratif, 31 salles de travail (ateliers d'architecture et salles TD), deux centres de recherche, une cafétéria ainsi qu'une bibliothèque.

<sup>17</sup> MURET Jean-Pierre et DERRIEN Albert, « L'école et les collectivités locales », ed Moniteur, p182

<sup>18</sup> DIRAHOUI Mohamed Adlene, « Caractérisation de la qualité de l'environnement lumineux à l'intérieur des ateliers d'architecture de l'EPAU », mémoire de magister soutenu le 12.02.15, EPAU Alger, p54

### 3/ Bureau d'Études de Recherche et d'Engineering Général

Enfin, lors de la dernière décennie, le BEREG conçoit la troisième extension de l'école après une croissance importante du nombre d'étudiants en architecture. La conception est composée d'un amphithéâtre, d'un bloc administratif et d'un bloc pour les laboratoires.<sup>19</sup>

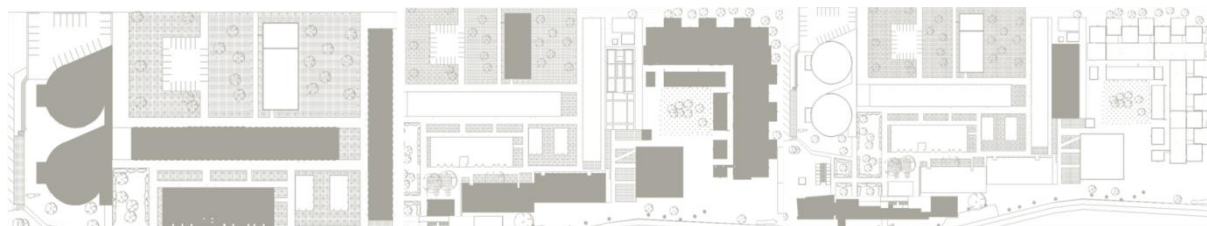


Figure 4 : Partie Niemeyer

Figure 6 : Partie Deluz

Figure 5 : Partie BEREG

### Programme spatial



Figure 7 : Niveau RDC



Figure 8 : Niveau R+1



Figure 9 : Niveau R+2

<sup>19</sup> DIRAHOUI Mohamed Adlene, « Caractérisation de la qualité de l'environnement lumineux à l'intérieur des ateliers d'architecture de l'EPAU », mémoire de magister soutenu le 12.02.15, EPAU Alger, p55

### Critique

L'EPAU a connu de nombreuses extensions dans le but de régler des besoins quantitatifs, ceux du nombre croissant des étudiants en architecture. Cependant, les nouvelles affectations sont venues bouleverser l'organisation de base des espaces. En effet, il y a absence de hiérarchie des entrées, la restauration n'a pas été prise en compte pour les pauses-déjeuné et les étudiants se plaignent de l'étroitesse de la bibliothèque.

## III.2. L'Ecole Nationale Supérieure d'Architecture de Nantes

Le projet est implanté dans un lieu connu de son passé industriel et de sa relation à la Loire et s'affiche comme un outil architectural ouvert sur la ville, visible et disponible. C'est un lieu d'échange, de débat, d'évènements et d'exposition pour Nantes et sa région sur les questions de l'architecture, l'art, l'urbanisme, l'aménagement.

### Situation

La nouvelle école d'architecture de Nantes est située sur l'île de Nantes en front de Loire, entre le Palais de Justice signé par Jean Nouvel et le pont Haudaudine. Les architectes Anne Lacaton et Jean-Philippe Vassal ont conçu une structure de grande capacité qui «invente un dispositif capable de créer un ensemble de situations riches et diverses, intéressant l'école d'architecture, la ville et le paysage.»<sup>20</sup>

### Caractéristiques

Construite en 2008 par un groupe d'architectes (Anne Lacaton, Jean-Philippe Vassal, Florian De Pous et Frédéric Hérard), l'école nationale supérieure d'architecture de Nantes a été retenue pour illustrer les thèmes du minimalisme économique, de la méthode, de la réalisation, de l'esthétique, de la réalité technique et enfin, de la préfabrication. Son architecture est donc définie par le mécano de la structure qui est générateur du projet, par les trames habitables, par l'unité du volume global et par les partitions internes multipliables et évolutives.

### Programme

L'ENSA de Nantes est conçue pour accueillir 1 000 étudiants sur un terrain de 26 000 m<sup>2</sup>. Elle se développe sur 4 niveaux composés de plusieurs espaces, à savoir:

- Altitude 0 : le rez-de-chaussée de plain-pied avec la rue, crée une relation directe entre l'école et le tissu urbain.
- Altitude 9.80 m : le niveau de référence 1 ouvre des vues vers la Loire au Nord et dégage des espaces extérieurs protégés du vent au Sud.
- Altitude 16.40 m : le niveau de référence 2, offrant des vues dégagées à 360° au niveau des toits de l'île de Nantes, se caractérise par de larges terrasses accessibles à l'Ouest et au Sud-ouest.
- Altitude 23.24m : le niveau de référence 3, entièrement extérieur, ouvre sur la ville une terrasse panoramique et permet d'accueillir des activités expérimentales.<sup>21</sup>

<sup>20</sup> <http://www.explorations-architecturales.com> [EN LIGNE]

<sup>21</sup> Ibidem

- La rampe extérieure constitue un large passage piéton vers les niveaux supérieurs et permet l'accès des vélos. L'accès aux étages se fait par deux noyaux principaux de circulation intérieure qui regroupent ascenseurs, monte-charge et escaliers. Ils canalisent les flux principaux.

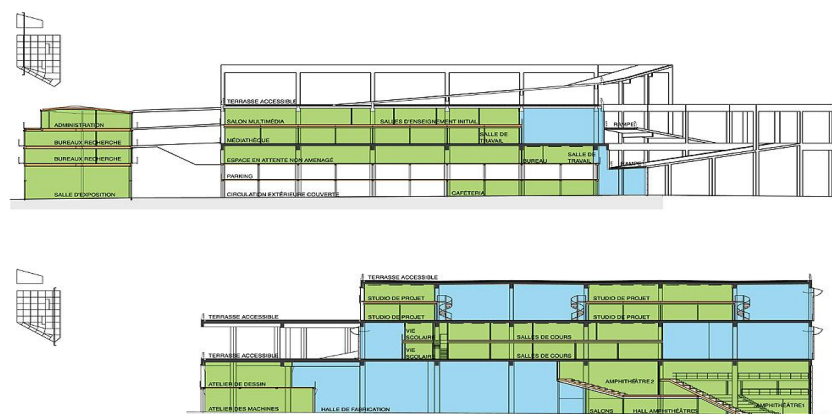


Figure 10 : Vues en coupe

Le rez-de-chaussée est très perméable au regard, de plain pied avec la rue, il est conçu comme une extension de l'espace urbain à vocation très publique et s'apparente à un espace sous pilotis. Il reçoit les amphithéâtres, la cafétéria, la grande halle de montage et les ateliers annexes, des bureaux associatifs, salons étudiants et enseignants. L'espace d'exposition, vitrine sur la ville, est situé dans le bâtiment Loire adjacent au volume principal.

Le premier étage constitue le cœur de l'école. Organisé autour d'un espace tampon central, il abrite la documentation, le pôle multimédia, les salles de cours, des studios de projets et la vie scolaire. Il est au carrefour des circulations et des échanges. Les centres de recherche, l'administration et une grande salle sont accessibles par une passerelle, dans le bâtiment Loire.

Le second niveau est plus privé. Les studios de projets y sont associés à des espaces tampons double hauteur et se prolongent vers des terrasses extérieures.

Le dernier niveau en terrasse est tourné vers la ville. Le lien direct avec le sol, par le monte-charge, en fait un lieu de prolongement extérieur de la halle pour des travaux spécifiques ou des événements temporaires. La rampe permet l'accès exceptionnel des véhicules.



Figure 11 : Vues en plan du RDC



Figure 12 : Vues en plan du R+1

### Structure<sup>22</sup>

- La structure primaire est réalisée en béton armé suivant une trame de poteaux de 10,66m x 10,71m.
- Les trois planchers de référence à 9m 16m et 22m sont constitués de dalles alvéolaires précontraintes en béton appuyées sur des poutres porteuses dans le sens Est-Ouest.
- La structure secondaire s'insère à l'intérieur de l'ossature en béton. Elle se compose de poteaux, poutres et solives métalliques qui reposent sur la structure primaire.
- Des planchers mixtes, au droit du parking, assurent une isolation thermique et acoustique et sont coupe-feu 2h.
- Des planchers secs s'insèrent dans la structure béton, dans les niveaux supérieurs, en s'appuyant à la fois sur les poteaux primaires et sur les planchers béton par le biais d'une trame secondaire. Le complexe de plancher sec comporte : un sol souple sur platelage bois, un système de solivage en profils pliés, un plafond coupe feu en plaques de plâtre et une isolation acoustique en laine minérale.
- Cette structure légère divise les 6m de hauteur en deux espaces superposés de 2,70m. Elle est traitée pour une stabilité au feu de 1h.
- Le bâtiment Loire, de même que la passerelle, est en structure métallique : poteaux, poutres, planchers sur bacs collaborant.

### Aspect bioclimatique

Conçu selon des principes bioclimatiques, le projet assure un confort permanent pour les utilisateurs grâce à ces spécificités :

- Des terrasses protégées avec des vues panoramiques.
- Des espaces tampons protégés du vent et de la pluie par des façades écrans en polycarbonate transparent et profitant des apports solaires.
- Des espaces vitrés pour profiter de l'ensoleillement et de la lumière naturelle, aussi ils limitent les déperditions et les écarts de température.

<sup>22</sup> <http://www.explorations-architecturales.com> [EN LIGNE]

- En été, les surchauffes sont régulées par stores brise-soleil et les larges possibilités d'aération par les façades ouvrantes.
- Les façades peuvent évoluer du plus fermé au plus ouvert selon les besoins et les désirs de lumière, de transparence ou d'intimité, de protection ou d'aération.

### III.3. Faculté d'Architecture de l'Université de Porto

Porto est une ville à topographie importante. La Faculté d'Architecture de Porto d'Alvaro Siza a donc été conçue, en suivant la topographie, telle une acropole.

L'ensemble est composé de deux parties distinctes :

1. Au Nord, donnant sur l'autoroute, la partie comportant les activités collectives.
2. Au Sud, donnant sur le fleuve Douro, la partie destinée aux pratiques pédagogiques.

La variété des espaces intérieurs et extérieurs crée un mélange de sensations spatiales très diversifiées.

#### Contexte d'émergence

En 1985, la Faculté d'architecture souhaite déménager afin de se libérer du carcan académique de l'école des Beaux-arts où elle était jusqu'alors installée. C'est l'ancien élève de la Faculté, Alvaro Siza, qui fut choisi pour la conception du projet après s'être fait connaître par ses talentueuses réalisations.

#### Caractéristiques du site

Le site recouvre 87 000 m<sup>2</sup> de superficie. Anciennement parcelle agricole, il en résulte un relief dégringolant en une succession de terrasse escarpées d'Est en Ouest et de Nord en Sud.

L'autoroute reliant Porto à Lisbonne délimite la partie Nord tandis que la partie Sud s'ouvre sur les berges abruptes de la rivière. De là on perçoit le grand pont Da Arrabida qui découpe l'estuaire jusqu'à la rive opposée, en face de la parcelle.

Le terrain choisi, de forme triangulaire, est situé en périphérie du centre-ville. Sur sa plus haute cote est implantée une maison de maître « Quinta da Povoia » avec son jardin.<sup>23</sup>

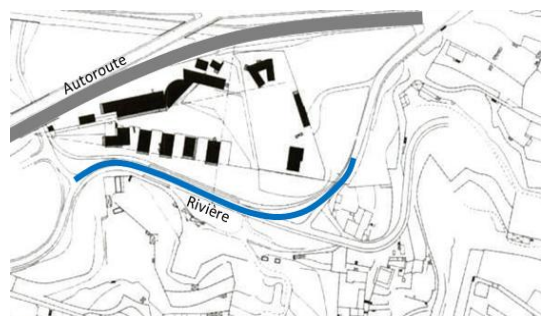


Figure 13 : Délimitations du site



Figure 14 : Vue en plan du projet

#### Esquisse du projet

<sup>23</sup> BEAULE, LAROCHE, LIZOTTE et ROBITAILLE, « Des modèles de pensée constructive. Les lauréats du prix Pritzker, Alvaro Siza prix 1992 », ARC-6021, p4

L'idée de base était celle d'un bâtiment ouvert sur un patio. Cependant, après analyse du site, le premier réflexe de l'architecte fut de vouloir protéger la faculté des nuisances sonores de l'autoroute Nord mais aussi d'exploiter les splendides paysages des berges de la rivière Sud. Aussi, il prit conscience de la difficulté d'intégrer un volume unifié à un site en relief.

L'architecture de cette école sera donc reliée aux lignes dominantes du site. De plus, Alvaro Siza tentera de répondre à la complexité du programme par l'éclatement des fonctions à travers le campus. Le volume unifié est alors complexifié.<sup>24</sup>

### Phases de construction

La construction de la Faculté d'Architecture de Porto s'est faite en deux phases :

- Première phase (1985-1987) qui dura deux années durant lesquelles fut érigé le pavillon Carlos Ramos.
- Deuxième phase (1986-1996) qui dura une décennie, temps nécessaire à l'édification du reste de la faculté, soit dix bâtiments au total.

### Première phase

L'action initiale fut la rénovation de la villa « Quinta da Povoá » qui se situe sur le plus haut point à l'Est de la parcelle. Le pavillon « Carlos Ramos » fut ensuite construit à l'opposé extrême de la villa. Une allée principale droite relie les deux bâtiments.

#### *Le pavillon Carlos Ramos*

Construit comme une annexe à la villa, il abrite les ateliers et studios des élèves de 1<sup>ère</sup> année au Nord-est de la parcelle au sein de grands arbres, arbustes et promenades.

En forme de « U » et tournant le dos à l'autoroute Nord, il s'ouvre sur une cour intérieure trapézoïdale. Ses deux ailes pointent et se referment vers l'ancienne villa.

Les façades tournées vers l'intérieur de la cour sont complètement vitrées et créent des vues entre les usagers à l'intérieur du bâtiment, travaillant chacun dans leurs ailes, séparées par la cour. Les façades du pourtour sont, quant à elles, presque entièrement opaques.

Ces façades se concentrent autour d'un portique : l'escalier menant à l'intérieur du bâtiment. Les murs, tout blancs, reprennent la couleur des maisons portugaises du 18<sup>e</sup> siècle et signalent l'acte contemporain. La relation entre le pavillon, la villa et l'espace délimité du site introduit les bases de référence pour le développement de la deuxième phase du projet.<sup>25</sup>

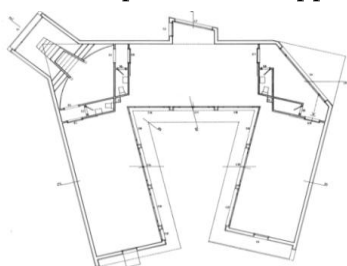


Figure 16 : Plan RDC du pavillon



Figure 15 : Pavillon Carlos Ramos

<sup>24</sup> BEAULE, LAROCHE, LIZOTTE et ROBITAILLE, « Des modèles de pensée constructive. Les lauréats du prix Pritzker, Alvaro Siza prix 1992 », ARC-6021, p6

<sup>25</sup> Ibidem, p4

## Deuxième phase

Le reste du projet avoisine le pavillon Carlos Ramos et la villa Quinta da Povoá. Il comporte tous les équipements nécessaires au fonctionnement de l'école : ateliers, bureaux administratifs, amphithéâtres, bibliothèque et salle d'exposition.

Cette seconde partie naît d'un désir de vouloir se tourner vers la rivière tout en créant un patio central unificateur. Les proportions des tours Sud sont définies à partir de celles de la Quinta tandis que le bâtiment Nord, positionné en fonction d'un angle du pavillon, se présente comme une barrière entre le projet et l'autoroute.<sup>26</sup>

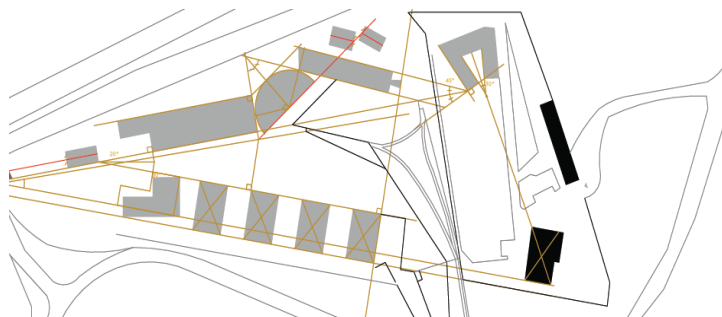


Figure 17 : Relations géométriques entre les parties du projet

### *Ecole et pavillon Carlos Ramos*

L'école est semblable au pavillon Carlos Ramos à une plus grande échelle. Autour d'une cour non aménagée, elle se divise aussi en deux ailes suivant la forme d'un « U » qui convergent vers la pointe de la parcelle triangulaire où se situe l'entrée de la faculté.<sup>27</sup>

### *Aile Sud*

En hommage aux tours des années 50 aux alentours, elle est composée de quatre volumes d'au plus cinq étages. Séparés les uns des autres par des espaces gazonnés, ils donnent sur la rivière Douro et établissent la relation au paysage.

La tour la plus à l'Ouest se réoriente de manière à poursuivre l'axe de l'entrée tandis que la plus à l'Est s'élève afin d'aligner sa toiture avec la corniche de la villa Quinta da Povoá. Les bâtiments ont la même organisation interne, soit un noyau de service au centre puis, à chaque étage, deux bureaux et deux studios de dimensions restreintes pour encourager le travail par petits groupes. On remarque, à l'Ouest du premier volume partant de la Quinta, la base d'une tour non réalisée pour des raisons d'équilibre d'ensemble et de volonté d'ouvrir la cour sur la rivière.<sup>28</sup>

### *Aile Nord*

Articulée à partir d'un angle du Pavillon Carlos Ramos, elle marque un contraste avec l'aile Sud par son aspect monolithique. Cependant, on distingue dans les formes trois volumes qui s'imbriquent l'un dans l'autre. D'abord un rectangle qui abrite l'amphithéâtre ainsi que les

<sup>26</sup> VITA Florence, « Alvaro Siza vs Alvar Aalto, liens et influences », mémoire de master et de séminaire « patrimoine, théories et dispositifs », soutenu le 28.05.2015, ENSA Toulouse, p90

<sup>27</sup> LALIBERTE-VINCENT, MARINE et MICHAUD, « Etude d'une pensée constructive d'architecte, faculté d'architecture université de Porto », ARC-6021, p4

<sup>28</sup> Ibidem, p11

bureaux administratifs, ensuite une figure semi-circulaire pour la salle d'exposition et de nouveau un rectangle occupé par la bibliothèque de la faculté. Dans le but de se protéger du bruit qui provient de la circulation autoroutière, les façades de l'aile Nord sont opaques pour satisfaire une fonction essentielle au niveau des ambiances acoustiques.

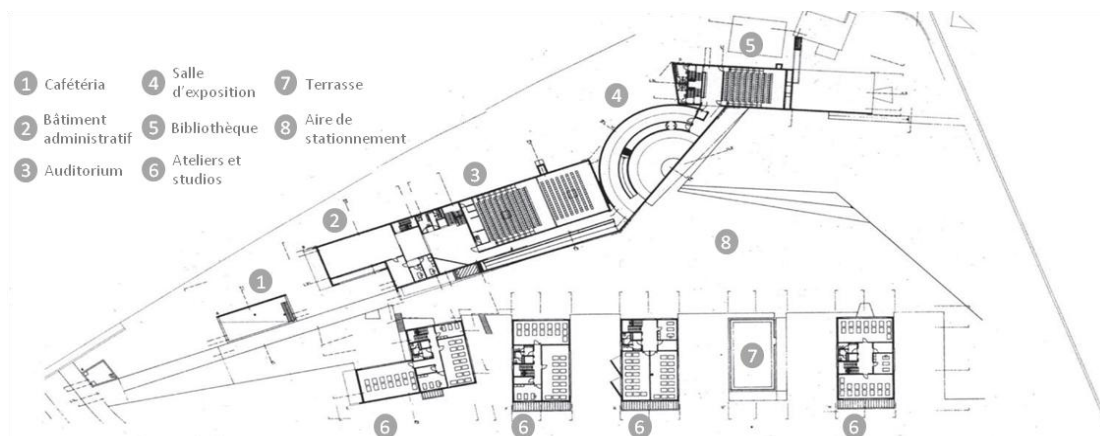


Figure 18 : Répartitions des fonctions

### Circulation et topographie

Le dénivelé du terrain aide à multiplier les trajets entre les bâtiments. Ces derniers grimpent en suivant un système de terrasses ascendantes d'Ouest vers Est.

De la villa Quinta da Povia descendent l'aile Nord, puis l'aile Sud et enfin la terrasse occupée par la cour du café. Siza rend possible les circulations entre ces différents niveaux à l'aide de plans inclinés, de rampes et d'escaliers. De l'entrée Ouest on peut apercevoir quatre niveaux qui donnent accès au RDC des tours, à l'aire de stationnement, à la cour centrale et enfin à la villa Quinta da Povia.<sup>29</sup>

La circulation entre les ailes Nord et Sud se fait soit en passant par la cour extérieure qui devient la plaque tournante des circulations, soit en passant par le couloir souterrain qui fait le tour de la faculté et qui abrite les casiers des étudiants.

La circulation de l'aile Nord se fait en flanc de façade avec des plans inclinés matérialisés par d'obliques bandeaux de fenêtres à l'extérieur.

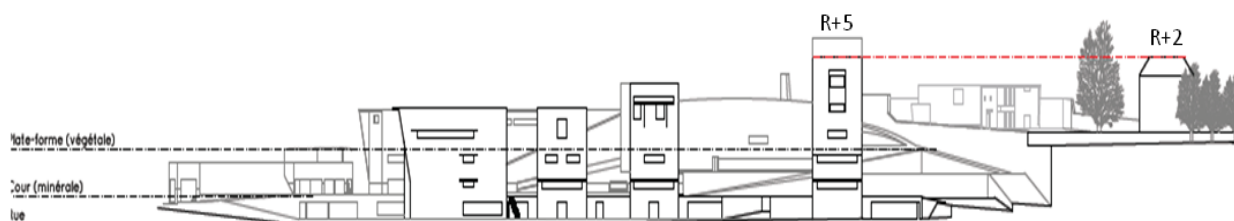


Figure 19 : Coupe longitudinale

<sup>29</sup> VITA Florence, « Alvaro Siza vs Alvar Aalto, liens et influences », mémoire de master et de séminaire « patrimoine, théories et dispositifs », soutenu le 28.05.2015, ENSA Toulouse, p60

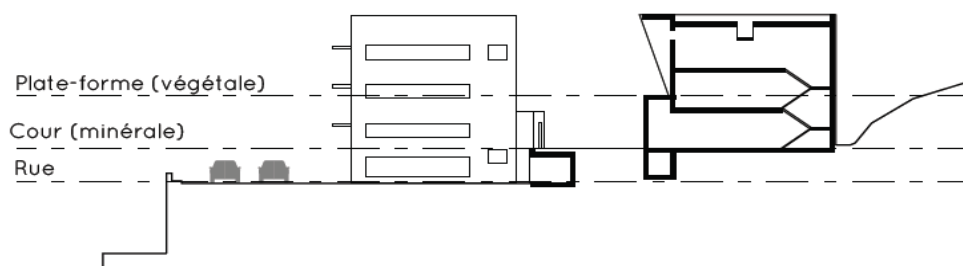


Figure 20 : Coupe transversale sur la cour montrant les différents jeux de hauteur et de dialogue entre les plateformes du site

### Ouvertures et éclairage

Les ouvertures ne sont pas souvent manifestées et, dans la majorité des cas, sont couvertes d'un pare-soleil au crépissage blanc tel que les murs extérieurs. Mais il existe des ouvertures qui ont pour unique fonction de laisser entrer la lumière. Pour exemple, les ouvertures de la plus haute tour qui sont zénithales et cachées par une crête d'iroquois. Ces interfaces pour capter la lumière du Nord, sont soutenues par une structure métallique particulière à cette crête. Les saillies du toit, qui s'appuient sur des poutres traversant la largeur du bâti, sont reprises par le faux-plafond sur lequel la lumière viendra glisser vers le bas de la pièce.<sup>30</sup>



Figure 21 : La tour à dessin

Alvaro Siza explore divers manières d'éclairage pour la faculté.

- D'abord zénithal, dans les espaces collectifs de l'aile Nord où les façades sont principalement opaques. La lumière de la bibliothèque est traitée grâce à une lanterne de verre translucide qui, comme une lame de couteau, scinde le bâtiment en deux, séparant la pièce en deux cotés.
- Puis indirect, comme dans le subtil travail sur le décalage du toit de la salle d'exposition semi-circulaire. Un système de parois parallèles permet à la lumière de se refléter et de rebondir de parois en parois pour finalement arriver diffuse dans la salle semi-circulaire.
- Et enfin direct, par l'utilisation de fenêtres en bandeaux à hauteur d'œil, cadrant le paysage et créant un contact visuel entre intérieur et extérieur.<sup>31</sup>

<sup>30</sup> BEAULE, LAROCHE, LIZOTTE et ROBITAILLE, « Des modèles de pensée constructive. Les lauréats du prix Pritzker, Alvaro Siza prix 1992 », ARC-6021, p9

<sup>31</sup> VITA Florence, « Alvaro Siza vs Alvar Aalto, liens et influences », mémoire de master et de séminaire « patrimoine, théories et dispositifs », soutenu le 28.05.2015, ENSA Toulouse, p76

### Traitement du sol

Les différents usages et les différentes circulations sont distingués par différents matériaux. A titre d'exemple, on remarque deux pavages de taille, de couleur et d'orientation distinctes pour les espaces destinés aux automobiles et aux piétons.

De l'entrée Ouest, le chemin piéton menant à la villa Quinta da Povoá est couvert de pavés grossiers et rustiques, s'accordant parfaitement au mur de pierre existant. La cour est traditionnellement revêtue de petits cubes de pierre, tandis que les circulations le long des ailes Nord et Sud sont pavées de larges tuiles de pierre.

### Matériaux

Les bâtiments sont construits de simples voiles de béton recouverts d'un crépi blanc. Leur base, sujette aux contacts humains, est recouverte de larges tuiles de pierre jusqu'à la hauteur des yeux. De la même façon, à l'intérieur de chaque bâtiment, le revêtement en pierre polie remonte du sol vers le bas du mur.

Les gardes corps et les fenêtres sont constitués de légers meneaux métalliques.

Siza met en relation les matériaux utilisés. Un exemple peu banal consiste en une latte de bois que l'architecte vient déposer sur une seule marche dans les escaliers de pierre de la bibliothèque. La matérialité de cette marche de bois unique se poursuit, à la même hauteur, dans une moulure qui marque la fin du revêtement de pierre, sur le mur adjacent.<sup>32</sup>

### Couverture

Dans l'aile nord, ce sont les poutrelles métalliques qui viennent soutenir la toiture.

Conséquemment, le revêtement de toit sera de métal, contrairement à l'aile sud, qui est de béton brut. Le toit de la salle d'exposition semi-circulaire accueille deux larges échancrures où s'engouffre la lumière impossible à voir du public qui circule en contrebas.

### Systèmes structuraux

A l'exception de quelques éléments en acier, la majorité du bâtiment est fait en béton (toitures, dalles de plancher et murs porteurs). Ce dernier, rigide, présente une bonne résistance aux intempéries, au cisaillement et au feu. De plus, il apporte au bâtiment une grande stabilité aux forces horizontales des vents et séismes. Pour les grandes portées, Siza opte pour une dalle composite en acier et béton. Les murs porteurs, en béton armé coulé sur place dans un coffrage par couche successive, assurent une protection aux fissurations et sont durables. L'ancrage des murs servant à l'aménagement extérieur se fait à partir d'une semelle en béton de 50cm dans le sol. La dalle au sol surmonte une couche d'isolation rigide entre lesquelles se situent le pare-air/vapeur.<sup>33</sup>

### Critique

*« Siza a conçu la Faculté comme une ville dans la ville. Il désire en faire un lieu au sens fort du terme ; un lieu ouvert qui laisse entrer l'air du dehors. »* (Copans & Neuman, 1998)

<sup>32</sup> VITA Florence, « Alvaro Siza vs Alvar Aalto, liens et influences », mémoire de master et de séminaire « patrimoine, théories et dispositifs », soutenu le 28.05.2015, ENSA Toulouse, p72

<sup>33</sup> LALIBERTE-VINCENT, MARINE et MICHAUD, « Etude d'une pensée constructive d'architecte, faculté d'architecture université de Porto », ARC-6021, p7

Il y a pourtant un manque d'intérêt pour l'aménagement extérieur. Le grand patio central est simplement pavé et manque de chaleur. De la même manière, la terrasse de tour fantôme est en état de friche.



Figure 22 : La cour centrale



Figure 23 : FAU Porto

## Conclusion

L'école d'architecture est avant tout un lieu d'apprentissage et d'enseignement centré sur la théorie et la pratique du projet architectural et urbain. L'objectif étant de former des diplômés aptes à s'engager dans le stage professionnel, à devenir des architectes sensibles aux enjeux professionnels et sociaux qui les interpellent et capables d'y répondre avec pertinence et créativité tout au cours de leur vie professionnelle.

Le respect de l'environnement, la sensibilisation à la diversité culturelle et l'innovation sont des valeurs, parmi tant d'autres, ancrées dans l'histoire de ces écoles et qu'il faudra perpétuer aux générations futures.

# CHAPITRE II

« L'éco-réhabilitation,  
une contribution au  
développement  
durable »

## Introduction

Les pratiques architecturales, les méthodes et les propositions en vue de minimiser l'impact des constructions sur l'environnement, ont fait l'objet d'un sérieux débat entre professionnels, partenaires et collectivités locales. Au rythme de consommation actuel, dans 50 ans l'ensemble des réserves énergétique sera épuisé. L'urgence de remédier à une nouvelle approche est cruciale en termes de société, d'économie et d'environnement car il s'agit d'intervenir sur des comportements, des modes de vies et des modes relationnels.

Le bâtiment, grand énergivore et émetteur de gaz à effet de serre, peut donc offrir d'importantes possibilités en matière d'économie d'énergie. C'est dans ce cadre qu'intervient l'éco-réhabilitation avec pour objectif premier, l'amélioration des conditions de vie d'un grand nombre d'immeubles anciens en introduisant les politiques de développement durable, plus particulièrement les facteurs d'énergie et d'environnement.

L'éco-réhabilitation des bâtiments existants devrait être vue comme une occasion de prendre en compte des mesures écologiques et rentables afin de transformer les anciennes structures en bâtiments économes et respectueux de l'environnement. Tout aussi important, est le fait que les coûts d'éco-réhabilitation sont significativement plus faibles que la démolition à des fins de reconstructions avec des impacts considérables sur l'espace naturel.

## I. L'écologie comme retour à la Nature

### I.1. Remise en cause de l'industrie du bâtiment

Les architectes de la décennie précédente suscitérent une réflexion critique liées aux désastres écologiques provoqués par la machine et la civilisation industrielle. Ce mouvement de standardisation de l'habitat les poussa à affirmer le besoin de produire un nouveau style architectural vert.

Parler d'écologie en architecture, c'est ainsi en premier lieu parler d'une vision du monde différente que défendront des architectes radicaux au tournant des années 1960 et 1970 en utilisant la nature comme moyen de contestation. Les critiques esthétiques à l'encontre de l'architecture moderne s'accompagnent progressivement d'une dénonciation des conséquences sociales et écologiques inhérentes à l'industrialisation. Certains artistes expriment alors cette rupture imposée à l'Homme et à son contexte par la récupération et la création d'un style écologique. Plus qu'un style architectural, l'écologie vient reconsidérer notre manière de bâtir, de vivre et de penser. Au-delà d'une simple re-naturalisation des bâtiments, ces démarches radicales aboutissent à la disparition de l'objet « architecture ». La nature est alors utilisée comme medium pour une architecture évolutive, mouvante et indéterminée, pensée dans un même continuum avec son environnement. Loin de sa traditionnelle monumentalité, elle se soumet à son espace environnant jusqu'à presque disparaître.

Aujourd'hui, la nature est devenue indispensable à l'activation de certaines constructions, pensées en continuité directe avec leur environnement. L'architecture tend désormais à être en

phase avec les transformations incessantes de son environnement : elle réagit au climat, à la lumière et se transforme en architecture « intelligente » pour s'affirmer en système complexe vivant.<sup>34</sup>

L'architecture se laisse alors envahir ou recouvrir entièrement par la végétation, le sol et la matière organique. Les architectes devraient désormais considérer la nature comme source inépuisable d'inspiration, pour faire exister par peu de moyens si ce n'est l'imagination et le talent graphique, des architectures respectueuses de l'environnement.



Figure 24 : Guy Rottier, Maison enterrée « Carcasses de voitures », 1965-72

## I.2. Le concept de Nature

« On appelle nature ce qui est selon la nature et ce qui est un produit de la nature ».

Aristote (*Physique*, II)

La nature est ainsi considérée comme les caractéristiques essentielles et innées de l'être humain et elle existe parallèlement à l'être humain, Elle ressemble ainsi à une formule qui s'impose à l'être humain, qui ne peut ni y échapper ni en détruire les principes. La nature couvre entièrement notre vie, et ses principes sont ce que nous suivons.

Paoli dit que la nature est plutôt un ensemble de caractères visuels, spécifiques aux mondes végétaux et animaux; elle fonctionne comme une *natura naturata* (créée) auprès des observateurs, pour classer les espèces et les phénomènes naturels. Au-delà de l'aspect visuel, la nature implique la détermination des conditions nécessaires pour l'existence du monde actuel. Toute chose est organisée dans un ordre déterminé, comme une grande totalité ordonnée. La nature est considérée philosophiquement en tant que motivation qui est à l'origine d'un ordre. Elle fonctionne « consciemment » avec le but autant de structurer un univers bien organisé qu'orienter cet univers, et cela particulièrement chez les êtres vivants. Dans ce sens, le concept de nature se rapproche de celui de la nature créative ou *natura naturans*, c'est-à-dire la force pour organiser et produire l'existence des choses.

La nature est donc considérée comme la raison essentielle, le cœur des développements, le point de départ de l'existence de toute chose. Ainsi, la nature forme des principes et des lois qui

<sup>34</sup> FRAC Centre, « Ecologies et approches critiques », dossier pédagogique, p4

administrent et dirigent l'existence du monde, où l'être humain constitue un élément partiel dans un grand organisme.<sup>35</sup> Selon Tatarkiewicz, le monde actuel est complètement parfait et toutes les choses inventées par l'homme sont un gaspillage, parce qu'il ne peut pas produire des choses plus parfaites que celles qui existent déjà.

La nature dont parle Alberti n'est pas simplement l'environnement ou un ensemble des choses inanimées. Bien au contraire, la nature est plutôt considérée comme une source ultime qui a engendré tous les instincts et toutes les capacités de l'être humain, puisqu'elle le dirige selon un principe préexistant. Elle a allumé un feu de connaissance qui permet d'éclairer la voie et le développement de l'être humain et, grâce à cette lumière, l'homme est capable de découvrir le monde qui a été organisé d'une façon bien connectée et achevée par la force de la nature. Cette nature présente les attributs d'excellence, de perfection des organismes vivants et, par conséquent, est dotée des meilleurs caractères et est sans aucun défaut.<sup>36</sup>

### **I.3.L'Homme et son rapport à la Nature en architecture**

Dans l'organisation du monde naturel, il existe une connexion corrélative et interactive, ainsi qu'un ordre, qui composent harmonieusement plusieurs éléments différents et plusieurs choses variées, au point que cette relation forme une organisation unifiée et complète. L'être humain observe donc le monde naturel afin d'apprendre ses principes d'organisation et de construction et de les appliquer à son monde artificiel. Ce monde artificiel est notamment marqué par l'architecture comme preuve de l'être humain dans la nature; l'architecture exprime ainsi une fonction physique de même qu'un symbole culturel de la civilisation humaine. Ainsi, il est possible de voir la nature en tant que point de départ pour l'homme et l'architecture. L'homme construit son monde, comme une deuxième nature située dans le monde naturel, en s'appuyant sur les connaissances qu'il tire de ce dernier.<sup>37</sup>

L'essence de l'édification, ou les principes et les règles sur lesquels l'architecture devrait être fondée, repose selon Alberti sur l'imitation des principes constructifs de la nature. L'édifice est, en conséquence, l'imitation d'un organisme vivant dans la nature. Alberti a établi cette théorie de façon organique, en proposant la notion d'harmonie de la nature (*concinnitas*) afin de trouver une convenance entre l'architecture et la nature.

### **I.4.Les éléments potentiels de la Nature**

#### **I.4.a. Microclimat**

Chaque parcelle de terrain possède des caractéristiques qui établissent son aptitude à recevoir des formes de vie variées. A un stade déterminé de l'évolution terrestre, les forces agissant sur une zone quelconque sélectionneront les espèces vivantes suivant leurs chances de se reproduire, de

---

<sup>35</sup> MANH TRI Nguyen, « Les significations du concept d'harmonie entre être humain, architecture et nature dans la théorie architecture d'Alberti et les philosophes d'Orient », mémoire de maîtrise en sciences de l'architecture, Université Laval, 2008, p11

<sup>36</sup> Ibidem, p28

<sup>37</sup> Ibidem, p2

s'adapter, de proliférer ou de dégénérer et suivant leurs compatibilités. La Nature ne permet pas au séquoia de pousser dans le désert, ni au cactus de survivre dans une forêt alpine. Mais l'Homme est une espèce plus ingénieuse et plus malléable ce qui lui permet de survivre en différents endroits. Sa lutte pour subsister dans quelque endroit qui se trouve dépendra de son aptitude à intégrer ses besoins à l'environnement. Plus les techniques de survie seront simples, plus intime sera leur accord avec la Nature. La clé d'une survie durable est de rechercher l'harmonie en toutes choses dans le déroulement de la vie et ensuite de maximiser les possibilités des éléments naturels. Un équilibre harmonieux consiste à exploiter juste ce qu'il faut des richesses naturelles pour favoriser leur régénération spontanée.

Pour tout projet de construction, il est donc important d'évaluer tous les effets du microclimat à savoir, les traits dominants révélateurs d'un habitat particulier. Les caractéristiques du microclimat détermineront les conceptions les plus favorables.<sup>38</sup>

#### I.4.b. Topographie

Les mouvements du sol, les accidents et les déformations du terrain, le relief et les dénivelés, sont autant de contraintes et d'atouts avec lesquels les architectes peuvent composer. Le contexte donne à l'architecture des directions et contribue à définir son organisation aussi bien intérieure qu'extérieure. Le terrain est comme un véritable matériau de construction, jusqu'à devenir lui-même abri ou habitat, place publique ou belvédère.<sup>39</sup>

Cette topographie est à la fois contrainte et génératrice de solutions d'adaptation diverses selon les caractéristiques précises du site. Ce dernier est fortement influencé par la topographie. Le relief influence la répartition des températures, les possibilités d'ensoleillement ainsi que les phénomènes de nébulosité et de régime des vents. Il joue sur les températures tant par les variations qu'il induit de jour grâce à l'irradiation des pentes que par son influence sur le régime des vents. Le relief peut protéger certains sites comme il peut en exposer d'autres.<sup>40</sup> Il peut par exemple constituer un ombrage important à l'ensoleillement en hiver où les vallées orientées Est/Ouest sont ombragées en permanence.

On constate, dans la figure 5, que les vallées sont en général plus chaudes le jour que les sommets. Par contre, de nuit, le soleil n'entrant plus en ligne de compte, l'air se refroidit et s'accumule au fond des vallées et des petites dépressions. Il se crée ainsi une différence de température au profit des pentes directement en contact avec ce qu'on appelle la ceinture chaude. Dans les longues vallées, le phénomène tend à créer un mouvement d'air longitudinal d'autant plus puissant que la vallée est longue et que le gradient de température est élevé.

#### I.4.c. Matériaux

Caractéristiques des matériaux naturels<sup>41</sup> :

---

<sup>38</sup> WRIGHT David, « Manuel d'architecture naturelle », ed Parenthèses, 2004, p30

<sup>39</sup> FRAC Centre, « Paysages », dossier pédagogique, p5

<sup>40</sup> LIEBARD Alain et DE HERDE André, « Traité d'architecture et d'urbanisme bioclimatiques », ed Observ'ER, 2005, p21

<sup>41</sup> OULD-HENIA Amina, « Choix climatiques et construction en zones arides et semi-arides, cas de la maison à cour de Boussaâda », thèse de doctorat, école polytechnique fédérale de Lausanne, soutenue en 2003, p108

Matériaux	Masse volumique kg/m <sup>3</sup>	Chaleur spécifique Wh/kg.K	Conductivité thermique W/(m.K)
Pierre calcaire	1650 à 1840	0,23	1,05
Terre	1700 à 2000	0,26	1,15
Bois	650	0,7	0,08
Roseau	250	0,17	0,06
Feuillages divers	120	0,17	0,05

Figure 25 : Tableau des caractéristiques des matériaux

#### I.4.d. Végétation

Dans un milieu où la pollution et le bruit sont ressentis comme des agressions, les fonctions régulatrices des espaces verts, si elles ne sont pas spectaculaires, ne doivent pas être minimisées. La végétation améliore de plusieurs manières le climat.

La végétation influence l'environnement thermique, la qualité de l'air et l'environnement sonore des bâtiments. Elle est, autour d'un bâtiment, un élément important : cela signifie que l'on choisira plutôt un site riche en verdure ou que l'on créera de la végétation dans un site où elle est absente. Le rôle du microclimat, et de ses possibilités de brise locale ou d'écoulement d'air induit, est fondamental pour déterminer les conditions de bien être dans un environnement bâti.

Cette végétation est dotée de fonction régulatrice, à savoir :<sup>42</sup>

1/ Les arbres, qui absorbent l'eau par leurs racines et la restituent par évapotranspiration, humidifient l'air souvent sec des villes

2/ La masse végétale régule la température, pouvant entraîner en période chaude une baisse de un à quatre °C

3/ La fonction chlorophyllienne stocke le carbone et libère de l'oxygène

4/ Le feuillage fixe les poussières et les gaz toxiques, diminuant ainsi la pollution atmosphérique (1 ha de forêt fixe en moyenne 5 t de poussières par an)

5/ La végétation contribue aussi à la régulation du régime des eaux et à sa régénération naturelle

6/ Elle accroît la capacité des sols à absorber l'eau et favorisent l'alimentation des nappes phréatiques

7/ Les espaces verts participent aussi à la lutte contre les nuisances sonores, elle affaiblit la propagation des sons. L'efficacité de ce mur antibruit naturel dépend de la densité des plantations et du type des végétaux

8/ L'équilibre physique et psychologique par les échanges et les rencontres sociales.

<sup>42</sup> MULLER G. Dominique, « L'architecture écologique », éd ADEME, p49

#### I.4.e. Rayonnement solaire

Le rayonnement solaire est une radiation électromagnétique émise par le soleil. La gamme des différentes longueurs d'onde sur la surface de la terre s'étend de 0.28 à 3 microns. Le spectre solaire se divise en trois parties : l'ultraviolet, le visible et l'infrarouge. Biologiquement le corps est affecté par la partie UV tandis que l'effet thermique est dû aux rayons visibles et IR.<sup>43</sup>

Seule une faible partie du spectre entre 0.4 et 0.76 microns est clairement visible. Les longueurs d'onde inférieures à 0.4 microns sont les ultraviolets et celles supérieures à 0,76 sont l'infrarouge. Bien que l'intensité maximum du rayonnement solaire se situe dans le domaine du visible, plus de la moitié de l'énergie est émise par le rayonnement infrarouge. L'énergie solaire à la limite supérieure de l'atmosphère varie de 1.8 à 2 cal/cm<sup>2</sup>.mn est de 1.97 cal/cm<sup>2</sup>.mn et c'est cette valeur qui constitue la constante solaire. Comme le rayonnement traverse l'atmosphère terrestre, son intensité est diminuée et la distribution spectrale est modifiée par l'absorption, la réflexion et la diffusion.<sup>44</sup>

##### ▪ Le rayonnement absorbé

L'énergie émise par le soleil, dans sa majorité, est absorbée par les particules de poussière, les gouttelettes d'eau et les aérosols de l'atmosphère terrestre. Tous les matériaux opaques, tout comme les matériaux transparents, absorbent une certaine proportion de l'insolation. Lorsque l'énergie est absorbée, sa longueur d'onde est augmentée légèrement. Cela veut dire que la radiation absorbée à une longueur d'onde sera réémise à une autre.

Les surfaces ayant un faible facteur d'absorption aux rayonnements de courte longueur d'onde, qui réfléchissent une grande partie de la chaleur et de la lumière des rayons solaires sont en général lisses et claires. Par contre pour capter et absorber la chaleur solaire, des surfaces très sombres et mates sont préférables. La quantité d'énergie absorbée ( $I_a$ ) est le produit du rayonnement solaire incident ( $I_i$ ) par le facteur d'absorption de la surface ( $a$ ) donc  $I_a = a I_i$ .<sup>45</sup>

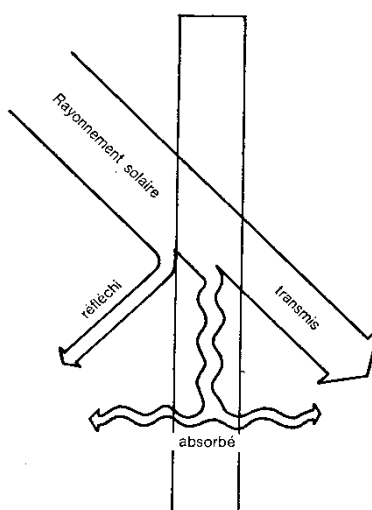


Figure 26 : Les distributions du spectre solaire

<sup>43</sup> GIVONI.B, « L'homme, l'architecture et le climat », ed Moniteur, 1978, p85

<sup>44</sup> Ibidem, p22

<sup>45</sup> Ibidem, p200

### ▪ Le rayonnement réfléchi

L'intensité du rayonnement réfléchi est une fonction du facteur de réflexion moyen ou albédo de toutes les surfaces voisines. La modification des propriétés physiques constitue donc le moyen le plus facile de contrôler les quantités de rayonnement réfléchi. Cette réflexion est difficile à déterminer avec précision à cause des calculs géométriques complexes nécessaires pour parvenir à un facteur de réflexion moyen assez précis ( $r$ ). Cependant, si le rayonnement global tombant sur une surface horizontale (ITH) est connu et si l'on peut estimer un facteur de réflexion moyen, la formule suivante est suffisante pour calculer le rayonnement réfléchi sur une surface verticale (IRV) :  $IRV = (r.ITH)/2$ .

Cette équation est basée sur l'hypothèse que tout le rayonnement réfléchi est parfaitement diffusé, ou réfléchi de manière égale dans chaque direction. Une surface verticale, quelle soit l'orientation de sa face, ne voit donc qu'une moitié du rayonnement réfléchi par une surface horizontale.

<i>Matériau</i>	<i>Facteur de réflexion moyen estimé</i>
Forêt sombre, champs verdoyants	3 à 8 %
Bâtiments, sable humide, rochers	8 à 15 %
Asphalte, sol nu et sec	15 à 25 %
Briques, herbes sèches, sel, déserts	25 à 40 %

Figure 27 : Pourcentages de rayonnement solaire incident réfléchi

Dans tous les environnements, excepté les plus sévères, une partie de la surface du sol est recouverte d'ombre, parfois projetée par des objets aussi petit que des brins d'herbe ou des grains de sables. La proportion de surface horizontale dans l'ombre doit être prise en considération lorsqu'on estime l'albédo moyen.

### ▪ Le rayonnement diffus

La quantité de rayonnement diffus apportée par la voute céleste est en général un dixième du rayonnement total, mais il peut y avoir des pourcentages plus élevés lorsque le soleil est plus bas dans le ciel ou lorsque de petites quantités de brume ou de poussière sont présentes dans l'atmosphère. Le rayonnement diffus n'est pas distribué de manière uniforme par la voute céleste mais tend à être plus concentré aux alentours du soleil à proximité de l'horizon.

Pour les jours les plus couverts, la quantité de rayonnement diffus augmente et la quantité de rayonnement direct est réduite en proportion.<sup>46</sup>

La connaissance de la position du soleil pour n'importe quelle heure de la journée et n'importe quel jour de l'année est primordiale. Pour un observateur debout n'importe où sur la terre, le soleil apparaît comme décrivant de larges arcs à travers le ciel. Pour un instant, l'observateur peut établir la position du soleil en mesurant son angle de hauteur au dessus de l'horizon et son azimut par rapport au Sud. Connaissant la latitude, il est facile de déterminer la hauteur et l'azimut du gisement de soleil pour n'importe quel jour de l'année. Un observateur surveillant le mouvement

<sup>46</sup> GIVONI.B, « L'homme, l'architecture et le climat », ed Moniteur, 1978, p203

du soleil avec beaucoup de soin tout au long de l'année pourrait s'apercevoir que le soleil suit en réalité une trajectoire en spirale.

L'orientation par rapport au soleil est fondamentale mais une précision exacte n'est pas essentielle car beaucoup d'autres facteurs affectent le captage tel que le temps qui varie dans une proportion de 40%. Pour un écart par rapport au Sud de 15° vers l'Est ou vers l'Ouest l'ensoleillement décroît seulement de 2%, il représente donc encore 98% du montant qui frapperait une paroi verticale exposée plein Sud. Mais une exposition perpendiculaire aux rayons solaires est bien meilleure pour le captage de l'énergie incidente.<sup>47</sup>

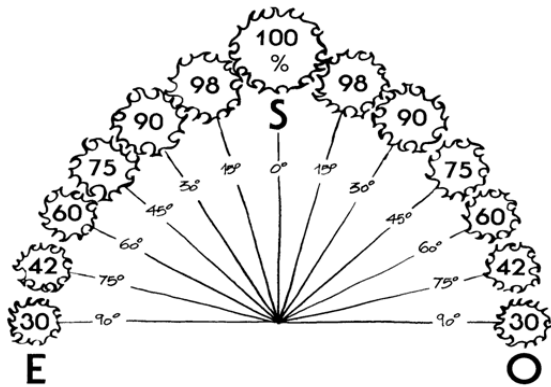


Figure 29 : Variations de l'azimut et efficacité en pourcentage du rayonnement solaire

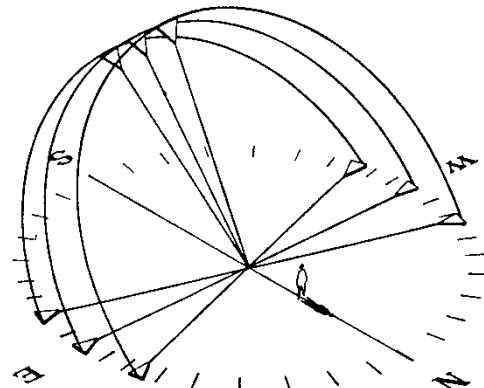


Figure 28 : Trajectoires du soleil lors du solstice d'été, du solstice d'hiver et des équinoxes.

#### *Couleurs et absorption du rayonnement solaire*

Des couleurs différentes absorbent des quantités variables de lumière naturelle. Par exemple le noir ne réfléchira aucune couleur et absorbera pratiquement toute la lumière (de 90 à 98 %). Par contre, le blanc réfléchira à peu près toutes les radiations et n'en retiendra qu'une faible partie (de 15 à 40 %). Toutes les autres couleurs sont en quelque sorte intermédiaires suivant leur nuance, leur pigmentation, leur teinte ou leur ton.

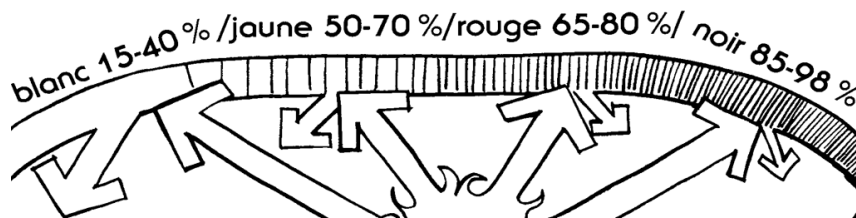


Figure 30 : Les pourcentages d'absorption

#### I.4.f. Vents

Le vent est un déplacement d'air, essentiellement horizontal, d'une zone de haute pression (masse d'air froid) vers une zone de basse pression (masse d'air chaud). Le régime des vents en un lieu est

<sup>47</sup> WRIGHT David, « Manuel d'architecture naturelle », ed Parenthèses, 2004, p78

représenté par une rose des vents qui exprime la distribution statistique des vents suivant leur direction. Par définition, la direction d'un vent correspond à son origine.<sup>48</sup>

Les obstacles constituent des obstructions et provoquent des modifications de la vitesse et de la direction des vents. Lorsque le vent souffle sur un obstacle, l'écoulement normal de l'air est perturbé et dévié sur les cotés et au-dessus. La pression de l'air sur les faces exposées au vent s'élève au-dessus de la pression atmosphérique (zone de surpression) et sur les faces sous le vent, la pression est réduite (zone de dépression). De cette manière il se crée des différences de pressions sur l'obstacle. Quand le vent souffle perpendiculairement sur un objet de forme rectangulaire, les parois situées face au vent sont soumises à une surpression tandis que les parois en arrière sont soumises à une dépression. Si la direction du vent est oblique, les deux faces exposées sont soumises à la surpression et les deux autres à la dépression. Le dessus de l'objet est, dans tous les cas, soumis à la dépression.<sup>49</sup>

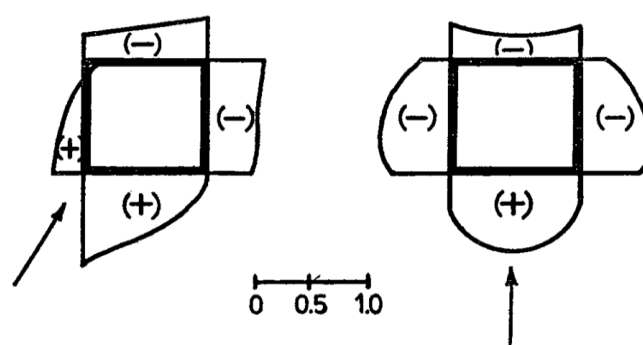


Figure 31 : Distribution schématique des pressions autour d'un bâtiment, basée sur les résultats d'Irminger et Nokkentved

#### I.4.g. Précipitations :

Lorsque l'air contenant une quantité donnée de vapeur d'eau se refroidit, sa capacité à contenir l'humidité se réduit et son humidité relative augmente jusqu'à devenir saturante. La température à laquelle cet air devient saturé est appelée « point de rosée ». Tout refroidissement au-dessous du point de rosée provoque la condensation de la vapeur. Cette condensation réduit le taux de refroidissement de la masse d'air élevée en altitude. Ce taux amoindri est alors appelé « taux adiabatique humide » et c'est ce qui peut provoquer des précipitations sur une grande échelle.<sup>50</sup> Les lacs, les ruisseaux, les rivières et les fleuves sont continuellement ravitaillés en eau douce par la vapeur d'eau atmosphérique qui précipite sous forme de pluie ou de neige. Au niveau des océans, sous les climats tropicaux, près de 425 000 km<sup>3</sup> s'évaporent et 385 000 km<sup>3</sup> précipitent chaque année. Les continents reçoivent 111 000 km<sup>3</sup> d'eau par an dont 40 000 proviennent des océans et 71 000 de l'évaporation des eaux continentales et de la transpiration des végétaux. Sur

<sup>48</sup> LIEBARD Alain et DE HERDE André, « Traité d'architecture et d'urbanisme bioclimatiques », ed Observ'ER, 2005, p18

<sup>49</sup> Ibidem, p297

<sup>50</sup> GIVONI.B, « L'homme, l'architecture et le climat », ed Moniteur, 1978, p33

cette quantité, l'Homme ponctionne environ 9000 km<sup>3</sup>, ce qui devrait suffire à assurer la subsistance de 20 milliards d'êtres humains.<sup>51</sup>

A l'échelle du microclimat, les masses d'eau tempèrent les fluctuations de température. Elles jouent le rôle de tampons thermiques. De ce fait, il fait moins frais en hiver et moins chaud en été, car l'énergie nécessaire à la vaporisation de l'eau est retirée aux masses d'air, qui ainsi se refroidissent. A grande échelle, les mers et océans conditionnent le climat du littoral. La très grande capacité thermique de l'eau (conductivité thermique à 0.50 kcal/h.m.°c et chaleur spécifique à 1 kcal/kg.°c) la rend peu sensible aux variations de températures de l'atmosphère.<sup>52</sup>

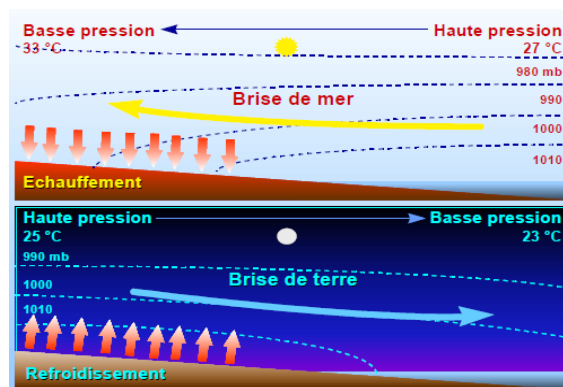


Figure 32 : Influence de l'inertie thermique des grandes masses d'eau

## I.5. Les tendances de l'architecture écologique contemporaine

Depuis les années 1970-90, l'outil numérique a permis de procréer de nouvelles « écologies » de formes et d'élaborer des processus architecturaux proches de certains principes naturels. Le code utilisé en informatique est désormais considéré comme une sorte de code génétique de l'architecture, qu'il est loisible de modifier en fonction de paramètres contextuels afin de faire évoluer les formes architecturales comme s'il s'agissait d'organismes vivants. Comme en biologie, les formes de l'architecture s'adaptent désormais à leur environnement en interagissant avec lui grâce à l'outil informatique qui le traduit sous forme de données calculables (température, topographie, humidité, etc.). Après l'idée d'architecture « passive », les architectes tendent désormais à celle de « nature active ».<sup>53</sup>

### ▪ Le low-tech

Après la première crise pétrolière il fallait trouver des alternatives écologiques. Les architectes encouragent alors les usagers à participer à la conception et réalisation de bâtiments plus conviviaux. Une philosophie antiautoritaire se développa. Il en résulte de cette tendance la réalisation des logements sociaux de Joachim Eble en Allemagne par exemple. Le bois est très présent car léger et facile à mettre en œuvre. La terre est aussi utilisée, surtout par les architectes Sverre Fehn et Perraudin, tout comme l'élaboration des façades et toitures végétalisées.

<sup>51</sup> LIEBARD Alain et DE HERDE André, « Traité d'architecture et d'urbanisme bioclimatiques », ed Observ'ER, 2005, p17

<sup>52</sup> Ibidem, p20

<sup>53</sup> MULLER G. Dominique, « L'architecture écologique », éd ADEME, p16

- **L'high-tech**

L'utilisation des énergies renouvelables dans les constructions de métal et de verre a fait l'objet d'un sujet de réunion de l'association « Read » avec pour membres Norman Foster, Renzo Piano, Richards Rogers... Il s'agit d'une architecture internationalisée écologique grâce à l'emploi de la technologie et de l'informatique mais les résultats n'étaient pas convaincants en terme de confort thermique d'été et d'économie d'énergie d'hiver. On y élaborera le principe de la double façade vitrée. L'exemple emblématique de cette tendance est celui de la tour de la Commerzbank à Francfort-sur-le-Main.

- **L'humanisme écologique**

Connu pour la combinaison raisonnée de matériaux traditionnels et de produits industriels innovants. Il y avait une philosophie humaniste par le traitement paysager offrant aux usagers une relation privilégiée avec les espaces verts traités de manière naturelle. La piscine du centre de cure de Bad Elster par l'agence Behnisch résume parfaitement cette tendance située entre nature et technologie.

- **L'écologie démocratique et sociale**

Les usagers sont sensibilisés et responsables, particulièrement en Allemagne, aux Pays Bas et en Scandinavie. Tendance connue par l'habitat en auto-construction initié par Peter Hubner à Gelsenkirchen, ce qui permet à des familles modestes, grâce à leur collaboration, d'accéder à un habitat écologique où sont mis en valeur les matériaux locaux et les techniques anciennes. Exemple de la bauge et de la terre crue moulée de la résidence Salavatierra.

- **Le minimalisme écologique**

Il s'appuie sur l'outil informatique. C'est une architecture minimaliste qui emploie des techniques et produits innovants. Le bâtiment est ancré dans la modernité avec intégration des paramètres d'économie d'énergie et d'écologie sans les exhiber. Le dessin est précis, ce qui permet d'offrir une réponse adéquate aux contraintes du site et du programme. La préfabrication est favorisée pour réduire la durée du chantier et limiter les couts. Les réalisations de l'architecte allemand Kauffmann Theilig illustre les principes de cette tendance.

## II. Réhabilitation ou construire dans le construit

### II.1. Définition du processus

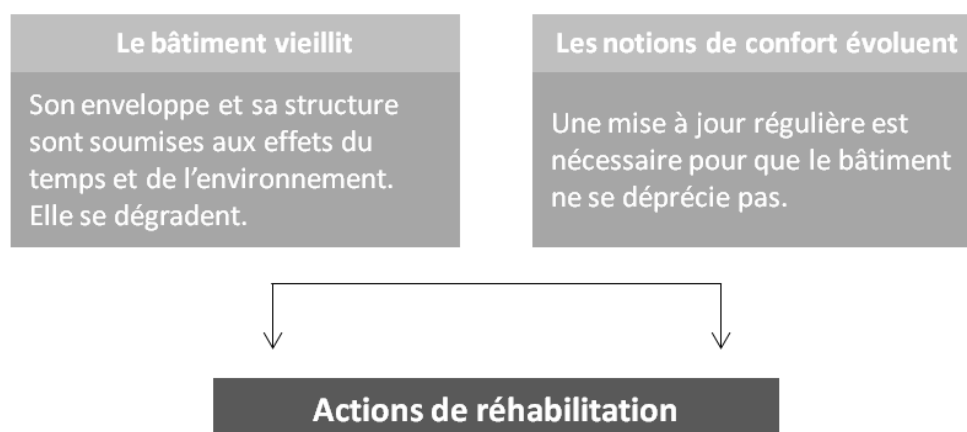
Les notions de « récupération » et de « réutilisation » ont vu le jour en urbanisme, plus précisément, à l'aube des années 70, où des stratégies de préservation du patrimoine urbain ont été élaborées pour revivifier les villes, surtout celles abandonnées suite aux politiques d'aménagement colonialistes. Il a donc fallu trouver un moyen d'adaptation aux nouvelles formes de vie modernes tout en conservant le passé historique du bâti. Ce moyen s'explicitait par des opérations de réhabilitation. En effet, ces opérations sont une initiative pour redonner usage aux bâtiments par la récupération et la mise à jour des fonctions.

La réhabilitation consiste à améliorer l'aspect physique et constructif de l'édifice tout en assurant des conditions de vie décentes, à savoir un confort thermique, acoustique, visuel, olfactif et sanitaire. Elle doit prendre en charge l'intégrité de la structure, son caractère et sa forme tout en étant compatible avec les standards de vie acceptables. Tel que précisé par Yassine Ouagueni dans « rétrospectives et actualité de la réhabilitation en Algérie », la forme subjective de la réhabilitation, c'est-à-dire l'aspect culturel en relation avec l'humain, et la forme objective, qui représente l'aspect technique en relation avec le bâti construit, sont deux facteurs en interaction influant sur la réussite d'une opération de réhabilitation. Une équipe de professionnels spécialisés et compétents (architectes, ingénieurs, artisans, techniciens...) est chargée du bon déroulement des travaux de diagnostic, de conception, de réalisation et d'entretien tout en répondant de la meilleure façon aux exigences.<sup>54</sup>

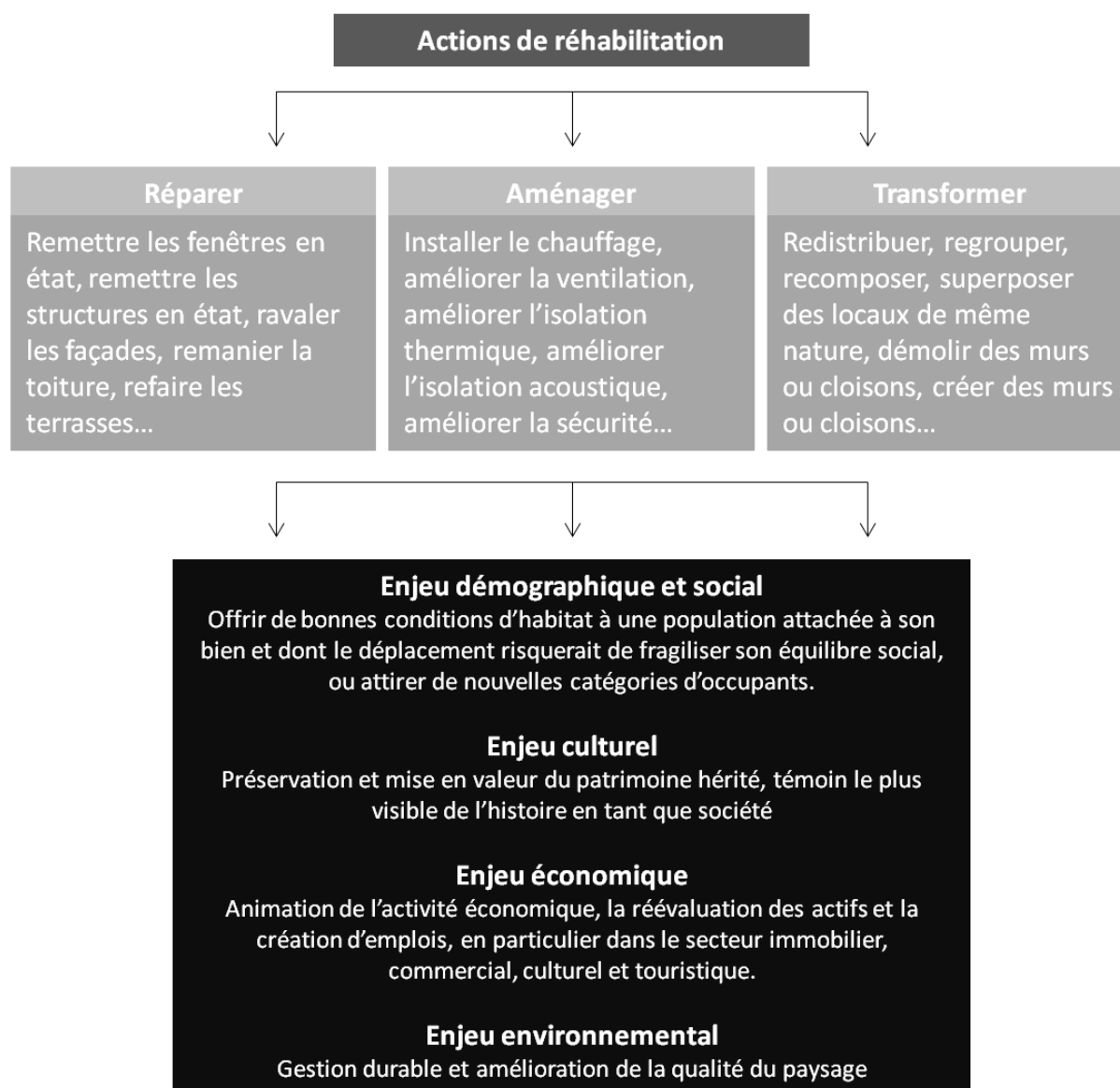


Figure 33 : Réhabilitation du Santa Caterina Market à Barcelone

## II.2. Intentions et enjeux



<sup>54</sup> ALILI Sonia, « Guide technique pour une réhabilitation du patrimoine architectural villageois de Kabylie », mémoire de magister, soutenu le 03.07.2013, UMMTO, p6



### II.3. Les degrés de réhabilitation<sup>55</sup>

- **Réhabilitation légère**

Cas d'une intervention sur des immeubles en bon état. Le but étant l'amélioration par l'ajout d'équipements nouveaux tels que les équipements sanitaires, les canalisations, l'électricité ou la remise en état des peintures. Elle ne concerne pas les interventions sur les parties communes de l'habitation comme l'installation d'un chauffage central par exemple. Le déplacement temporaire des habitants peut être évité en appliquant une bonne organisation du chantier.

- **Réhabilitation moyenne**

Elle s'applique aux immeubles dont la structure porteuse ne présente aucune défaillance. Tout comme la réhabilitation légère, celle-ci vise également à doter l'édifice de nouveaux équipements,

<sup>55</sup> CHERNAI Samia, « Elaboration d'un guide technique de réhabilitation du patrimoine de la période Ottomane », mémoire de magister, soutenu le 30.06.2012, UMMTO, p15

à la réfection des peintures et systèmes d'électricité, à l'installation de systèmes de chauffage et de climatisation. Elle se distingue par l'exécution de travaux sur les parties communes de l'habitation tels que la remise à neuf des peintures de la cage d'escalier ou le ravalement de la façade sans reprise de toiture.

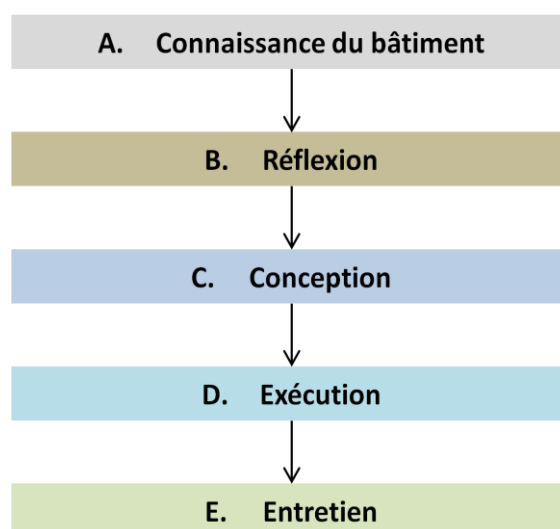
- **Réhabilitation lourde**

En plus des travaux cités dans les deux premiers degrés de réhabilitation, celle-ci comprend une redistribution des logements par étage ou par pièce à l'intérieur. L'intervention sur les parties communes implique, en plus du ravalement des façades, la réparation des toitures. Les travaux touchent également le gros œuvre comme les reprises de maçonneries, de charpentes ou des planchers.

- **Réhabilitation exceptionnelle**

Elle concerne le bâti atteint en profondeur et présentant un niveau d'altération très important allant jusqu'à la déstabilisation de la structure porteuse. C'est donc une opération très lourde et délicate qui nécessite le déplacement des usagers afin de remettre en état l'immeuble par le renforcement des structures ou leurs remplacements si le besoin est nécessaire par endroit.

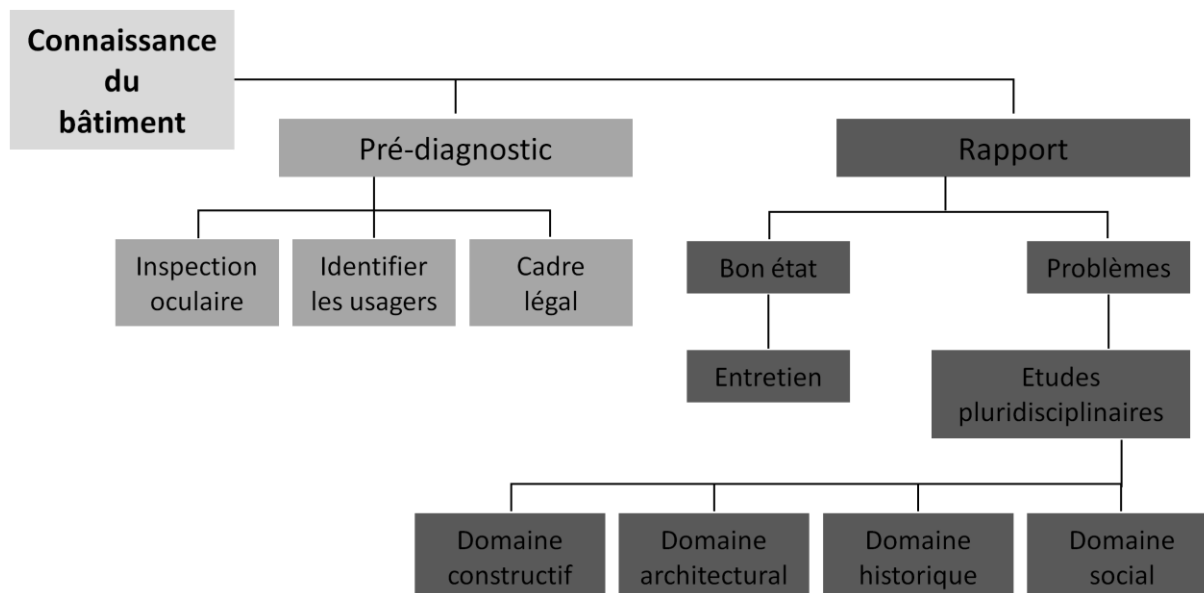
## II.4. Etapes d'une opération de réhabilitation



### II.4.a. Connaissance du bâtiment

La connaissance du bâtiment et de ses occupants doit être préalable à toute intervention. La première étape recueille la décision d'agir du promoteur mais se développe au travers d'un pré-diagnostic qui effectue une première estimation objective de la proposition et de l'objet de l'intervention (le bâtiment et ses usagers). La complexité du bâtiment exige habituellement le

démarrage d'une seconde étape de découverte basée sur une investigation disciplinaire soignée au cours de laquelle on analyse les domaines social, historique, architectural et constructif.<sup>56</sup>



#### ▪ Le pré-diagnostic

Cette étape implique une première approche globale du bâtiment, de ses valeurs (architecturales, historiques, etc.) et de ses problèmes (qu'ils soient constructifs, d'habitabilité, etc.) grâce à une première inspection du bâtiment. Cette première visite se base sur une inspection oculaire au cours de laquelle l'expérience de l'architecte/ingénieur joue un rôle fondamental. Il parcourt tout le bâtiment en tentant de découvrir le système constructif utilisé, les valeurs architecturales qui le caractérisent, les pathologies qui l'affectent, la problématique sociale qui lui est associée, etc. En particulier, il doit fixer son attention sur les descentes de charges ainsi que sur le parcours de l'évacuation des eaux.

Dans certaines situations de grande fragmentation de la propriété du bâtiment, il est nécessaire de commencer une série d'entrevues pour garantir la participation de tous les propriétaires et usagers du bâtiment. Parallèlement à l'inspection, l'architecte/ingénieur doit investiguer sur le statut légal du bâtiment afin de connaître les obligations et les restrictions urbanistiques dont il est l'objet (classification, autorisations et affectations de la planification urbanistique, degré de catalogation, de protection, hypothèques, recensements, etc.), ainsi que les aides économiques dont on pourra bénéficier en cas de réhabilitation. Le degré de protection patrimoniale de la zone et/ou du bâtiment est en général déterminant pour l'opération. Un contact préliminaire avec les autorités compétentes pourra aider à clarifier ces aspects.<sup>57</sup>

#### ▪ Le rapport

Après l'inspection et les consultations légales, l'architecte/ingénieur peut déjà avoir une première compréhension du bâtiment et avoir détecté ses déficits et ses potentiels. Le rapport de pré-diagnostic doit recueillir de manière claire et résumée les renseignements compilés et il doit

<sup>56</sup> REHABIMED, « Architecture traditionnelle méditerranéenne, réhabilitation des bâtiments », ed 2007, p19

<sup>57</sup> Ibidem, p22

évaluer l'état de conservation du bâtiment et faire des recommandations. Ainsi, l'expert pourra, dès le début du processus, informer le propriétaire des possibilités de réhabilitation du bâtiment et des restrictions techniques et économiques qui existent. À ce moment-là, le client devra décider s'il désire mener à terme ses idées initiales ou s'il souhaite reformuler la commande. On comprend donc que ce rapport peut être fait verbalement au cours d'une entrevue mais il est toujours mieux de tout mettre par écrit. Si le bâtiment est en bon état et que l'on ne prévoit aucun changement important, on pourra directement proposer un plan d'entretien préventif.

#### ▪ Les études pluridisciplinaires

Cela se résume en un recueil systématique d'information dans tous les domaines que l'on considère nécessaire d'investiguer pour parvenir à une profonde connaissance de l'objet d'étude. La possibilité de conduire avec succès ces études pluridisciplinaires dépend de la formation de l'expert qui doit les mettre en pratique ou les diriger. Parmi ces domaines, nous citons le :

1/ Domaine social : à savoir les aspects socio-économiques basés sur une enquête sociologique qui a pour but de détecter la situation sociale des unités familiales et leurs manières d'habiter pour une éventuelle adaptation aux modes de vie. Il faudra également étudier l'organisation du logement, s'il aura lieu d'être.<sup>58</sup>

2/ Domaine historique : basé sur des recherches à partir d'archives notariales et familiales, de photographies anciennes et autres éléments qui répondront aux questions de l'évolution du bâti, lui-même document historique. Des renseignements très utiles peuvent découler de l'étude de récits descriptifs de l'architecture du bâtiment, de l'analyse des matériaux de leur forme jusqu'à leur appareillage, de l'analyse des enduits et de leurs compositions, les différents percements...<sup>59</sup>

3 / Domaine architectural : qui englobe les différentes méthodes de relevé dans le but d'arriver à l'élaboration du support du projet de réhabilitation. On distingue alors le relevé manuel qui consiste à prendre des mesures en utilisant des instruments de mesure classiques (décamètre, niveau à eau, fil à plomb...) et de les reporter sous formes de croquis de plans, coupes et façades. Par la suite, on passera au dessin graphique qui est le développement du croquis en dessin technique à une échelle précise avec indication de l'orientation, de la date du relevé et de l'auteur. Puis vient le relevé topographique pour vérifier et confirmer le précédent relevé manuel et ainsi compléter certains points inaccessibles comme les courbes de niveaux par exemple. Et pour finir, le relevé photogrammétrique constitué de photographies informant sur la volumétrie, des détails constructifs, les couleurs appliquées et matériaux utilisés.

4/Domaine constructif : qui comprend la reconnaissance des éléments structurels et constructifs du bâtiment ainsi que l'observation de ses lésions. Il s'effectue par un relevé des désordres qui consiste à élaborer une cartographie des différents désordres constatés affectant le bâtiment et sa structure porteuse, ce qui permettra de cerner les origines des déformations et de déterminer le degré d'altération. Vient ensuite le relevé des matériaux et techniques de mise en œuvre, afin de détecter les pathologies propres aux matériaux et savoir si le bâtiment a connu auparavant une

---

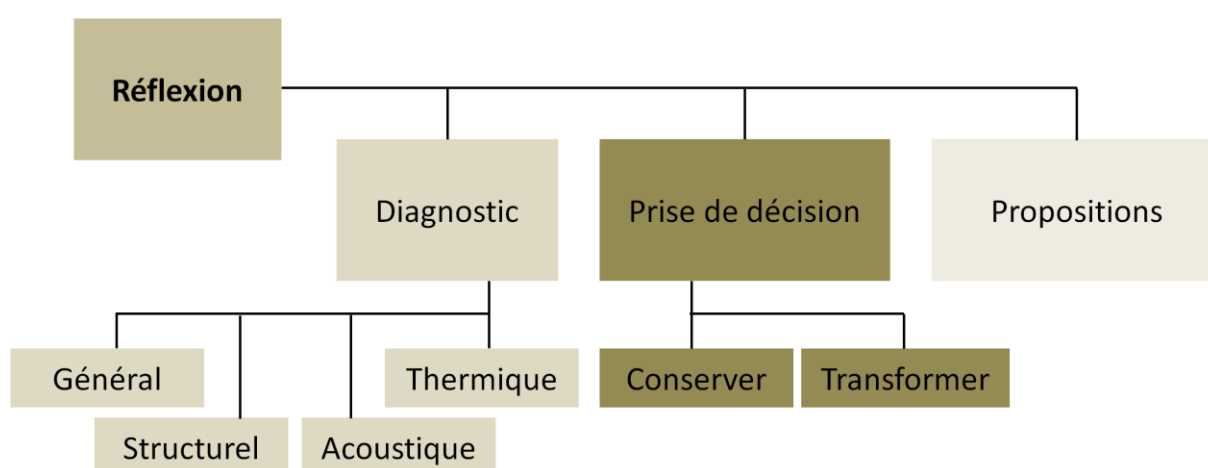
<sup>58</sup> CHERNAI Samia, « Elaboration d'un guide technique de réhabilitation du patrimoine de la période Ottomane », mémoire de magister, soutenu le 30.06.2012, UMMTO, p8

<sup>59</sup> Ibidem

opération de réhabilitation. On cite également le relevé des différentes installations en eau, en gaz et en électricité, pour pouvoir adapter des mesures de confort en cas de carences en équipements. Et pour terminer, le relevé des abords de la construction pour détecter, la présence ou non, d'agents responsables de la détérioration du bâtiment comme par exemple la proximité d'une usine, d'un aéroport ou de la mer.<sup>60</sup>

#### II.4.b. Réflexion

L'étape de diagnostic implique un travail de synthèse et une réflexion critique qui sont fondés sur les études pluridisciplinaires ayant été réalisées au cours de l'étape antérieure. Pendant cette évaluation, on doit obtenir une unité de propositions qui évitera des résultats excessivement fragmentaires dus au matériel disponible.<sup>61</sup>



- **Le diagnostic général**

Il fait l'objet d'un rapport remis au propriétaire et qui comprend la présentation de l'immeuble (description générale, contraintes de situation, données relatives à l'occupation de l'immeuble), l'examen du bâti (l'âge de l'immeuble, le type de bâti, description des désordres) et l'appréciation du confort et des charges (niveau moyen annuel des consommations).

- **Le diagnostic structurel**

Il est indispensable lorsque des modifications de structure ou de surcharges sont envisagées et que des désordres sont constatés au niveau de la structure (fissures, fléchissement des planchers...). Il sert à avoir une connaissance précise de l'ossature et de ses performances.<sup>62</sup>

- **Le diagnostic thermique**

Il sert à définir les caractéristiques et les performances de l'enveloppe du bâtiment comme il sert à rechercher des améliorations en choisissant le type de chauffage et de production d'eau chaude adapté ainsi que leur installation et fonctionnement.<sup>63</sup>

<sup>60</sup> SOUKANE.S et DAHLI.M, « La réhabilitation du patrimoine colonial 19<sup>ème</sup> et 20<sup>ème</sup> dans le contexte du développement durable », p7

<sup>61</sup> REHABIMED, « Architecture traditionnelle méditerranéenne, réhabilitation des bâtiments », ed 2007, p28

<sup>62</sup> ANAH, « Réhabiliter et entretenir un immeuble ancien point par point », ed Moniteur 1993, p21

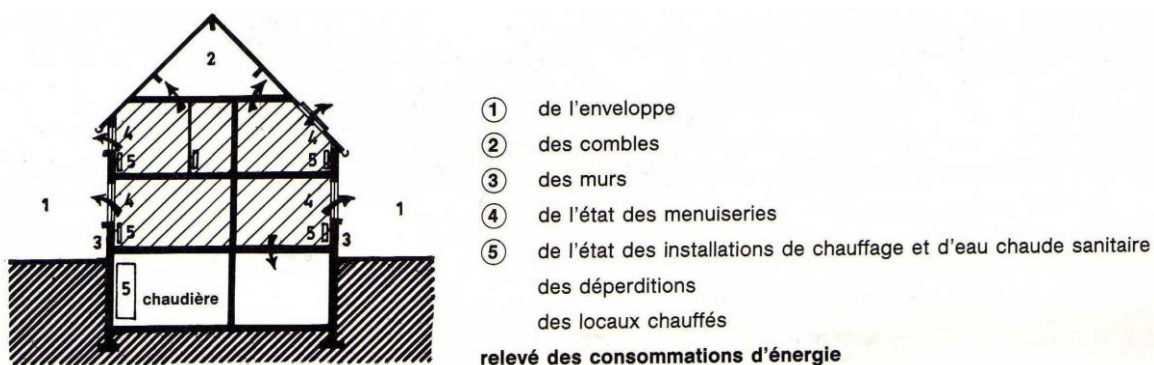


Figure 34 : Considérations d'un diagnostic thermique

### ▪ Le diagnostic acoustique

Il sert à étudier les défauts acoustiques du bâtiment afin de trouver des remèdes appropriés et à prendre en compte l'acoustique tout au long de la conception et de la réalisation. Il est élaboré par des professionnels architectes, acousticiens et autres.<sup>64</sup>

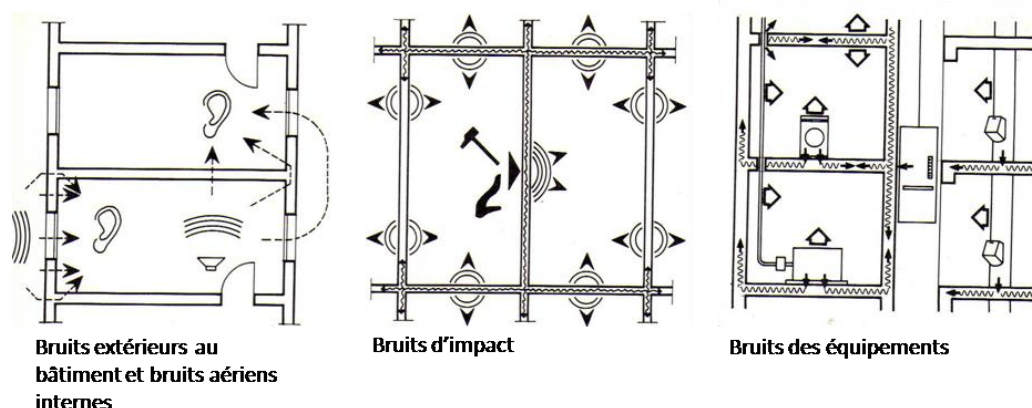


Figure 35 : Schéma d'un diagnostic acoustique

### ▪ Prise de décision

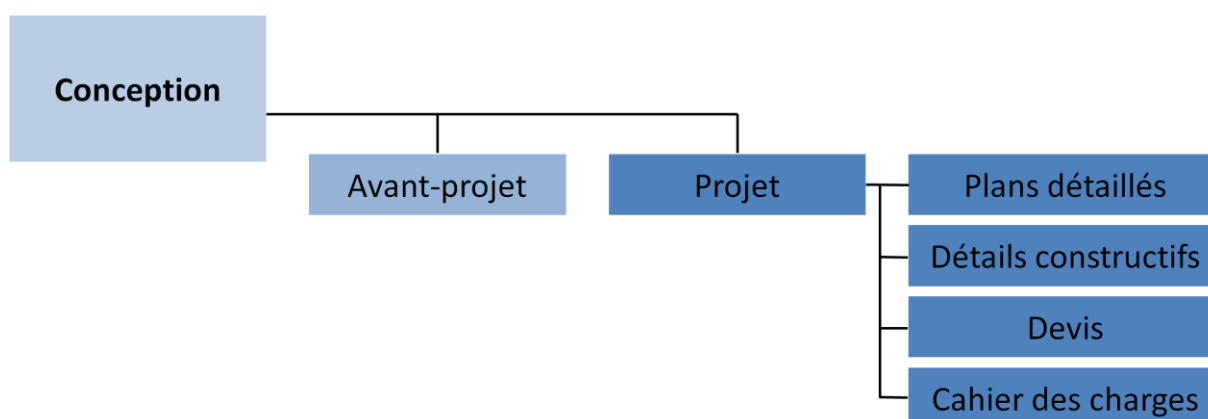
C'est à ce moment, lorsque l'on connaît parfaitement le bâtiment et ses usagers, que l'on verra si les idées du promoteur sont réalisables. Par conséquent, il s'agit d'entamer à nouveau avec le propriétaire un dialogue sur ses nécessités futures et sur ses possibilités économiques au regard du potentiel du bâtiment.

Après avoir confirmé les critères, on devra envisager la compatibilité du type d'intervention ; c'est-à-dire que l'on recherchera l'équilibre entre l'amélioration des conditions de vie des habitants, la sécurité de la structure, la sauvegarde des valeurs patrimoniales et les ressources économiques disponibles. Et, finalement, on pourra prendre la décision d'agir en choisissant en toute connaissance de cause le type de travail de réhabilitation (depuis la programmation d'un simple entretien jusqu'à la réhabilitation intégrale, en passant par la réalisation d'interventions partielles).

<sup>63</sup> ANAH, « Réhabiliter et entretenir un immeuble ancien point par point », ed Moniteur 1993, p22

<sup>64</sup> Ibidem, p23

### II.4.c. Conception



#### ▪ Avant-projet

L'avant-projet est une étape de profond dialogue avec le client sur ce qu'il doit être possible d'activer dans un processus participatif des habitants ou des usagers du bâtiment. Pendant son développement, on essaiera les diverses possibilités du projet qui permettront d'obtenir une meilleure adéquation entre les réformes proposées et le bâtiment existant, en appliquant les critères définis au cours de la phase antérieure. On apportera, dès le début, une attention toute particulière à l'accomplissement du cadre légal. Enfin, on parviendra à un accord conscient du promoteur en ce qui concerne l'intervention que développera le projet.<sup>65</sup>

#### ▪ Projet

Le projet détaille l'intervention avec un niveau suffisant pour pouvoir effectuer les démarches administratives, embaucher les entreprises de construction et exécuter les travaux sans déviations de coût. De la même manière, le projet d'exécution interprète les critères d'intervention et applique une série de paramètres techniques afin de matérialiser l'intervention. En règle générale, l'intervention thérapeutique des problèmes du bâtiment doit être destinée à leurs causes et pas seulement à leurs symptômes. Le projet devra aussi incorporer les paramètres de durabilité qui seront raisonnables à l'échelle de l'intervention (mesures d'économie de l'eau, mesures d'économie énergétique, introduction des énergies renouvelables, introduction de facilités pour la gestion correcte des résidus domestiques, etc.).<sup>66</sup>

### II.4.d. Exécution

#### ▪ Contrat de construction

Pour garantir une réhabilitation correcte, le choix du type de constructeur est très important. Dans certaines régions il est encore possible de trouver un constructeur qui connaît et qui pratique les techniques traditionnelles de construction, mais ceux-ci sont malheureusement en voie de disparition rapide. Dans certaines réhabilitations, peut-être sera-t-il possible de former le

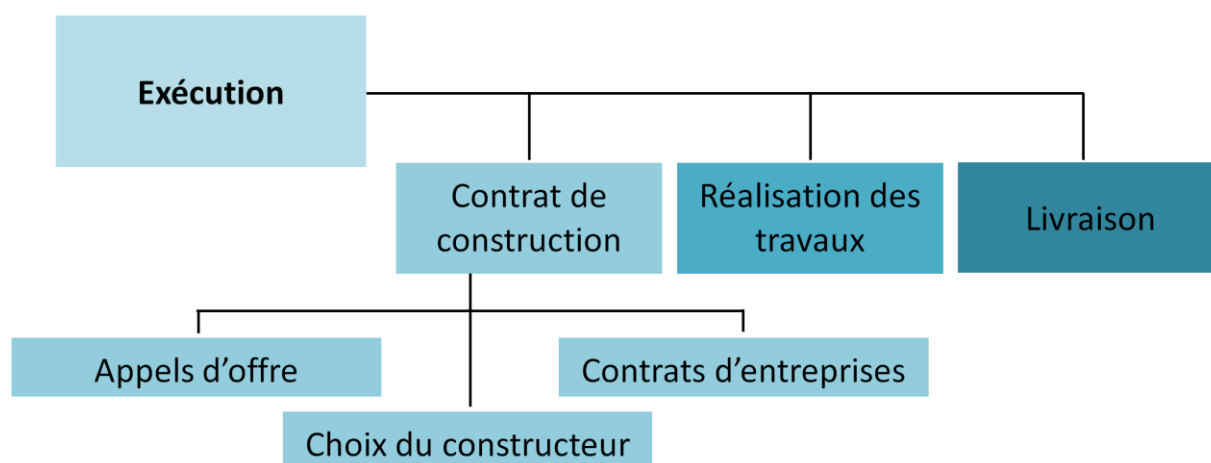
<sup>65</sup> REHABIMED, « Architecture traditionnelle méditerranéenne, réhabilitation des bâtiments », ed 2007, p34

<sup>66</sup> Ibidem

constructeur à une technique particulière, mais dans la majorité des cas on devra renoncer à la récupération de certaines techniques du fait de leur coût économique. Dans le cas où l'on aurait recours à un type d'entreprise de construction peu spécialisée, on devra surveiller la manière de réaliser le contrat, de telle manière que l'on puisse contrôler les matériaux et les techniques. Le type de contrat garantira la qualité du travail et le professionnalisme du constructeur. D'autre part, certains travaux de nettoyage de parements délicats ou d'œuvres artistiques exigent l'embauche temporaire de professionnels de la restauration avec leurs méthodes et leurs techniques spécifiques.<sup>67</sup>

#### ▪ Livraison

À la fin des travaux, on effectuera les démarches légales pour les terminer et, dans certains cas, pour pouvoir accéder aux subventions économiques. Il est important de profiter de cette étape pour analyser la gestion, la construction et l'adéquation du projet à l'usage prévu. S'il est vrai qu'à ce moment il est encore possible de corriger certains aspects, il faut signaler que cette étape doit servir aussi pour améliorer la phase de projet de commandes postérieures, c'est-à-dire que l'on ne doit pas négliger l'opportunité d'apprendre des erreurs commises.<sup>68</sup>



#### II.4.e. Entretien

Si l'on est parvenu à la nécessité d'une réhabilitation, cela a été en partie à cause d'un abandon. Et si l'on fait l'effort de réhabiliter un immeuble, il faut profiter de l'occasion et promouvoir son entretien, parce qu'à partir du jour même de la fin de la réhabilitation le bâtiment recommence à vieillir.

#### ▪ Choix d'un modèle d'entretien

En guise de première définition, l'entretien d'un bâtiment est un ensemble de travaux périodiques qui sont réalisés et qui ont pour objectif de le conserver pendant sa période de vie utile dans des conditions adéquates pour couvrir les besoins prévus. Habituellement, on associe l'entretien à l'idée de réparation des éléments endommagés, c'est ce que nous appelons l'entretien correctif ; mais une autre notion devrait être envisagée, celle de penser en termes d'entretien planifié et

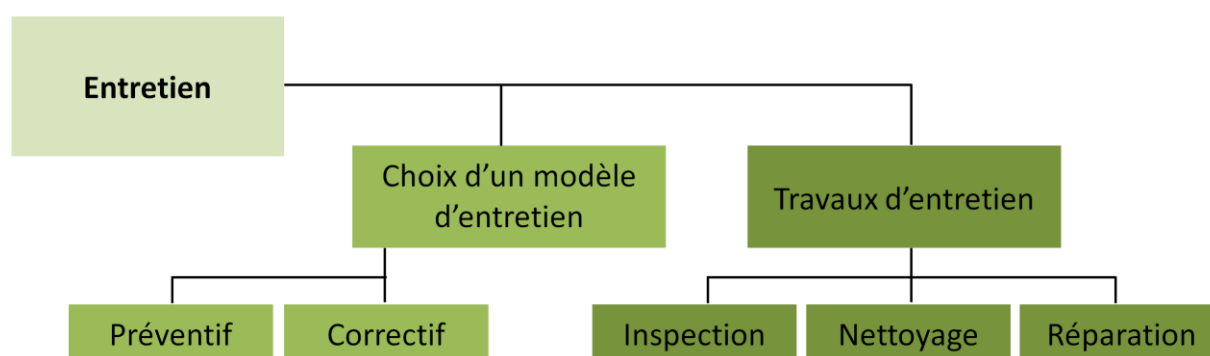
<sup>67</sup> REHABIMED, « Architecture traditionnelle méditerranéenne, réhabilitation des bâtiments », ed 2007, p37

<sup>68</sup> Ibidem, p38

préventif. La planification implique la préparation d'un calendrier des opérations d'entretien, et la prévention signifie la réalisation des opérations d'entretien avant que l'élément constructif ne se détériore.<sup>69</sup>

#### ▪ Travaux d'entretien

L'entretien est primordial mais il doit être effectué en toute sécurité pour ceux qui en sont chargés. On ne devrait pas programmer dans le calendrier des opérations difficiles à effectuer si l'on ne prévoit pas les mesures de prévention indispensables. Parmi les opérations programmées du calendrier se trouveront un ensemble d'inspections périodiques d'un architecte/ingénieur pour évaluer la sécurité du bâtiment (par exemple, en ce qui concerne des éboulements de façades, des risques de fuites de gaz, des déformations de structure) et reprogrammer le calendrier. Dans certains cas, on pourra ainsi détecter à temps des problèmes graves et proposer le redémarrage de tout le processus.<sup>70</sup>



## II.5. Les pathologies du bâtiment

L'étude des pathologies est fondamentale pour l'élaboration d'un projet de réhabilitation. On distingue les pathologies visibles à l'œil nu, cas des manifestations en surface des éléments constructifs, et les pathologies invisibles, cas d'affectations intérieures.

L'identification du type de pathologie est primordiale pour le choix de l'action à mener sur le bâtiment. Il existe donc deux phénomènes pathologiques, à savoir:

1/ Les altérations qui permettent d'évaluer la valeur d'antiquité de l'édifice. On les reconnaît par l'aspect des modifications du matériau qui n'induisent pas de détérioration.

2/ Les dégradations qui peuvent compromettre l'existence de la construction, car les transformations constatées sur le matériau mettent en danger son intégrité et sa permanence.

Nous allons tenter de recenser l'ensemble des pathologies suivant les éléments constructifs d'un édifice :

### II.5.a. Infrastructures<sup>71</sup>

<sup>69</sup> REHABIMED, « Architecture traditionnelle méditerranéenne, réhabilitation des bâtiments », ed 2007, p40

<sup>70</sup> Ibidem, p41

<sup>71</sup> AQC (Agence Qualité Construction) et la fondation Excellence SMA, « Fiches pathologie bâtiment, l'outil de prévention et de sensibilisation indispensable », ed 2015

- **Le tassement**

Les charges apportées sur les fondations provoquent des déformations du sol, dépendant de sa compressibilité. Comme il repose sur le sol, le bâtiment ne peut alors que suivre ces déformations. Ce phénomène impose ainsi des déplacements inégaux à différentes parties du bâtiment, qui est obligé de s'y adapter. En l'absence de dispositions constructives adéquates, cela peut alors se traduire par l'apparition de fissures ou lézardes (largeur de 30 à 40 mm) sur les murs.

- **L'affaissement de dallage**

Les dallages sur terre-plein subissent parfois des affaissements en pied de murs périphériques. Ils se traduisent généralement par l'apparition d'un vide entre le revêtement de sol et la base des plinthes. Des fissures plus ou moins importantes apparaissent dans les cloisons et les revêtements de sol. Des arrachements de canalisations passant dans ou sous le dallage peuvent également se produire.



Figure 36 : Affaissement de dallage

- **L'effondrement de murs de soutènement**

La stabilité des murs de soutènement en maçonnerie est assurée par leur propre poids. Pour maintenir son équilibre, le poids du mur doit permettre de contrebalancer les poussées et les surcharges. Une épaisseur insuffisante de la paroi ou une mauvaise évacuation des eaux de ruissellement peuvent entraîner des fissurations ou le bombement du mur, son basculement partiel voire son effondrement.

### II.5.b. Structure et gros œuvre<sup>72</sup>

- **Fissures structurelles des maçonneries**

Les murs extérieurs de structure sont souvent constitués de blocs de béton assemblés par des joints de mortier. Leur face extérieure est parfois recouverte d'un enduit hydraulique à base de ciment, confectionné sur place, ou d'un enduit monocouche, prêt à l'emploi. L'apparition de fissures structurelles de la maçonnerie liées au fonctionnement de la paroi, sous l'effet de certaines sollicitations, est une des formes des désordres qui peuvent affecter ce type de murs. Ces fissures peuvent être traversantes et à l'origine d'infiltrations d'eau.

- **Corrosion des armatures en béton armé**

Les désordres affectant les structures en béton armé commencent à la surface du béton par de fines fissures et de légères traces de teinte ocre. Puis l'élargissement des fissures permet à la rouille

<sup>72</sup> AQC (Agence Qualité Construction) et la fondation Excellence SMA, « Fiches pathologie bâtiment, l'outil de prévention et de sensibilisation indispensable », ed 2015

(hydroxyde de fer) de suinter. Des aciers presque totalement corrodés apparaissent après soulèvement et détachement des éclats de béton.

- **Désordres affectant les balcons**

La pathologie des balcons regroupe les désordres structurels aux conséquences importantes pouvant aller jusqu'à la rupture et les désordres aux conséquences moins graves tels que les fissurations secondaires, les éclatements des nez de balcons, la présence d'efflorescence et de stalactites en sous face, les infiltrations au travers de la dalle au droit de la façade ou au travers des seuils de portes-fenêtres...

- **Remontées capillaires**

On observe en façade des traces frangées ou ondulées, qui peuvent s'élever à plusieurs mètres au-dessus du sol. La partie de façade située en dessous de ces traces est généralement plus sombre que la partie de façade située au-dessus, et saturée d'humidité. Dans les cas extrêmes, les enduits et peintures de façade se décolent et laissent apparaître du salpêtre. L'humidité, aussi bien à l'intérieur qu'à l'extérieur, entraîne l'apparition de salpêtre, des moisissures, le décollement des revêtements et le pourrissement des pièces de bois qui sont au contact. Les maçonneries anciennes sont fréquemment le siège de remontées capillaires, notamment avant réhabilitation, mais aussi parfois après si ces remontées ne sont pas, ou mal, traitées.

### II.5.c. Toiture et charpente<sup>73</sup>

- **Infiltrations par points singuliers**

La plupart des infiltrations de couvertures de bâtiments en petits éléments se produisent au niveau des points singuliers, à savoir,

1/ Les liaisons entre versants (faîtages, noues, arêtières)

2/ Les liaisons entre versants et murs (solins) et bordures de versants (rives latérales, égout)

3/ Fixation ou intégration des panneaux solaires (thermiques, photovoltaïque) en toiture qui présentent de nombreux points singuliers.

- **Déformation des fermettes**

La couverture peut présenter des déformations visibles, avec des tuiles qui ne sont plus alignées : c'est le signe d'une déformation (fléchissement, déversement) de la charpente industrialisée. Cette pathologie peut être évitée grâce à une fixation plus encadrée des fermettes sur le gros œuvre et aux plans de pose.

En revanche, on recense des sinistres en rénovation, lorsque l'aménagement des combles entraîne une coupe des fermettes exécutée sans discernement, sans étude spécifique des principes de stabilité forcément affectés.

- **Effondrement des couvertures légères sous le poids de l'eau**

Les couvertures à faible pente sont le plus souvent réalisées à l'aide de bacs métalliques nervurés autoporteurs, avec ou sans étanchéité rapportée. D'une portée de 3 m environ, ces bacs sont fixés

---

<sup>73</sup> AQC (Agence Qualité Construction) et la fondation Excellence SMA, « Fiches pathologie bâtiment, l'outil de prévention et de sensibilisation indispensable », ed 2015

sur des pannes de charpente en métal, bois ou béton. La propension d'un tel ouvrage à fléchir est particulièrement importante et aggrave les surcharges climatiques qu'il est susceptible de supporter. Toute stagnation anormale et imprévue d'eau initie inmanquablement un phénomène itératif et irréversible qui conduit à la ruine de la couverture. La création d'une flaque augmente la charge appliquée, qui génère nécessairement une augmentation de la déformation et donc une aggravation de la flaque.

#### II.5.d. Enveloppe et revêtement<sup>74</sup>

##### ▪ Désordre des enduits monocouches

Les maçonneries extérieures sont très souvent recouvertes d'un enduit monocouche à base de liants hydrauliques. La plupart des dommages rencontrés sont liés à l'aspect et n'ont pas d'incidence sur la qualité et la durabilité de l'enduit. D'autres, par contre, affectent l'imperméabilité de la paroi.

*Les désordres affectant l'aspect se présentent sous forme de :*

1. Nuançage qui désigne des variations de couleur ou d'aspect de l'enduit. Il résulte de l'irrégularité de la préparation de l'enduit (dosage et malaxage) ou de l'application (reprises, épaisseur, uniformité du talochage...).
2. Spectres qui peuvent être permanents ou visibles seulement lorsque l'enduit est mouillé. Ils résultent du différentiel existant dans la prise ou la vitesse de prise de l'enduit entre les joints des maçonneries et la surface courante. Ce phénomène, lié à la nature des joints (porosité, largeur, arasement...), est réduit par l'application de l'enduit en deux passes et le respect des épaisseurs.
3. Faiénçage particulièrement inesthétique. C'est une microfissuration en forme de résille qui affecte la surface de l'enduit. Les finitions talochées et talochées éponge sont particulièrement sensibles à ce désordre.
4. Mousses et salissures qui sont dues au développement de micro-organismes sur des zones humides ou à des dépôts de salissures urbaines.

*Les désordres affectant la durabilité, quant à eux, sont sous forme de :*

1. Fissuration qui est due au comportement du support mais également au retrait de l'enduit lié aux conditions d'application.
2. Pénétrations d'eau par porosité, rares en l'absence de fissures. Elles sont dues à des épaisseurs insuffisantes d'enduit.
3. Décollement qui est consécutif à une mauvaise préparation du support (support farineux ou trop lisse, présence de poussières, humidification insuffisante, support gorgé d'eau, absence de couche d'accrochage...).
4. Brûlage (ou grillage) dû à une dessiccation prématurée de l'enduit par absorption d'eau par le support ou du fait des conditions atmosphériques (temps chaud, vent sec).

---

<sup>74</sup> AQC (Agence Qualité Construction) et la fondation Excellence SMA, « Fiches pathologie bâtiment, l'outil de prévention et de sensibilisation indispensable », ed 2015

5. Cisaillement du support qui se rencontre sur les supports à faibles caractéristiques mécaniques (béton cellulaire). Il est dû à l'application d'un enduit inadapté à ce type de support.

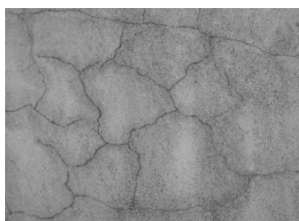


Figure 40 : Faïençage



Figure 39 : Décollement



Figure 38 : Mousse



Figure 37 : Fissuration

#### ▪ Infiltrations par les liaisons menuiserie extérieure/gros œuvre

Les infiltrations d'eau provoquent un gonflement des enduits, plaques de plâtre, isolant et plinthes, l'éclatement des peintures, la dégradation des papiers peints et l'apparition des moisissures. Des désordres peuvent aussi apparaître sur tous les ouvrages sensibles à l'eau proches des fenêtres, comme les prises électriques, isolant acoustique sous parquet, etc. La pathologie peut toucher tous les types de menuiseries en bois, en métal ou en PVC. Elle est largement influencée par les conditions climatiques du site et l'exposition du bâtiment (la façade reçoit plus ou moins d'eau accompagnée de vent), ainsi que par la hauteur de la baie au-dessus du sol (le vent soufflant plus fort quand on s'élève).

#### ▪ Fissuration des carrelages de sol

La fissuration se développe linéairement dans diverses directions, notamment aux emplacements les plus sensibles (angles rentrants ou saillants, passage de porte, charge concentrée, devant les baies vitrées...). Elle traduit une déformation des couches constituant le support du carrelage due à la souplesse du plancher porteur, au tassement différentiel de l'isolant thermique ou phonique, au franchissement d'un joint de gros œuvre sans précaution, à l'absence de joint de fractionnement ou de joints périphériques...

#### ▪ Décollement des carrelages du sol

Le décollement des carreaux a pour causes principales Une mauvaise préparation du mortier de pose ou une mise en œuvre, une préparation insuffisante du support, Une décohésion du plan de collage sous les effets de l'humidité...

## II.6. Les facteurs de dégradation<sup>75</sup>

- **Naturels** : pluie, vents, séismes...
- **Anthropiques** : l'abandon ou le mauvais usage d'un site; l'introduction de nouveaux matériaux...

<sup>75</sup> CERKAS, Centre du Patrimoine Mondial de l'UNESCO et CRATerre, « Manuel de conservation du patrimoine architectural en terre des vallées présahariennes du Maroc », p9

- **Biologiques** : développement de bactéries, cryptophytes et moisissures du à la présence d'humidité, d'eau, de chaleur, de PH acide, de conditions nutritives chimiques, de pluies et vents dominants.
- **Physico-chimiques** : manque d'adhérence (vieillessement des enduits, cristallisation des sels sous un enduit ou couche d'enduit); gel pendant la prise; mauvaise prise de liant; migration des sels a la surface de l'enduit; mortier trop maigre, trop perméable; maçonnerie trop récente; conditions atmosphériques défavorables lors de l'application (froid, humidité).
- **Physico-mécaniques** : mortier trop fluide à l'application; déformation thermique; mouvement du support (tassement des murs, sol non stable, fondations insuffisantes...).

## II.7. Quelques techniques de réhabilitation

### II.7.a. Renforcement des fondations

Avant d'entreprendre la consolidation des vieilles fondations, un système complet de renforcement provisoire doit être fait pour conserver la stabilité du mur et de la structure. Il suffira ensuite, s'il n'y a pas de problème d'affaissement, d'ajouter une masse supplémentaire puis de la fixer aux vieilles fondations au moyen de tenseurs d'acier ou autres types de lien, dans le but de créer un système de fondation tel que l'ensemble ne pourra plus se déplacer latéralement.<sup>76</sup>

### II.7.b. Intervention sur les murs et piliers<sup>77</sup>

- **Remplacement physique de la partie endommagée**

Il s'agit de remplacer le matériau de la partie fissurée, bombée ou menacée par la dégradation et de reconstruire avec le même matériau ou d'autres dont la résistance et la déformabilité seront similaires. L'objectif de l'intervention ne peut que prétendre restaurer la capacité portante initiale de l'élément endommagé.

- **Reprise des fissures**

La méthode consiste à intercaler entre les lèvres de la fissure du mur des éléments plus résistants et plus rigides en guise de sutures, tels que des agrafes métalliques ou des morceaux de brique. Il s'agit de retrouver la continuité perdue du mur endommagé, de sorte que les tensions puissent être de nouveau transmises et distribuées de manière homogène dans la partie lésardée. Pour que cette méthode soit efficace, il faut que la fissure soit passive, c'est-à-dire que la cause de son apparition n'agisse plus sur la partie à réparer.

- **Injections**

Il s'agit d'un autre système de réparation de fissures et de brèches passives, applicable à des murs en maçonnerie appareillée ou en brique, qui consiste à introduire un liquide sous pression pour colmater entièrement le vide entre les lèvres de la fissure. En durcissant et en adhérant au support, ce liquide restitue à l'élément endommagé sa continuité d'origine. Les caractéristiques du liquide

<sup>76</sup> REHABIMED, « Architecture traditionnelle méditerranéenne, réhabilitation des bâtiments », ed 2007, p310

<sup>77</sup> Ibidem, p298

(généralement à base de composants époxydiques) et la pression d'injection varie en fonction des matériaux du mur et de la taille du trou à reboucher. Le scellement superficiel, préalable à l'injection dans la fissure ou la brèche, doit être capable de supporter la pression du liquide avant son durcissement.

#### ▪ Enduit de renfort

Cette technique consiste à augmenter la section du mur endommagé ou sous-dimensionné en incorporant aux parements des épaisseurs de matériau (mortier ou béton) après la pose de treillis métalliques, solidarisés entre eux dans le mur. La mise en œuvre du matériau de renfort peut se faire en disposant des coffrages parallèles aux parements et en y coulant ensuite la préparation, ou bien par simple projection sur les parements avec le treillis déjà en place ou encore par gunitage en choisissant la procédure selon l'épaisseur requise et le supplément de résistance attendu du renfort.

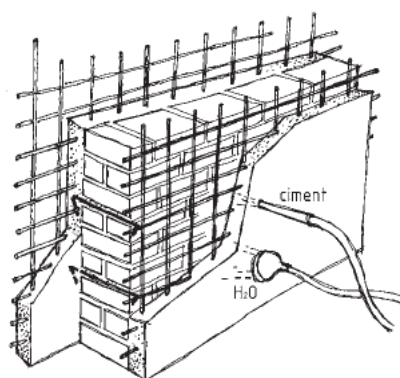


Figure 41 : Enduit de renfort

### II.7.c. Intervention sur les planchers<sup>78</sup>

#### ▪ Supplément de résistance pour les poutres et poutrelles

Cette technique consiste à ajouter de nouveaux éléments qui vont collaborer à l'absorption des efforts jouant sur la poutre ou les poutrelles lorsque le dimensionnement est jugé insuffisant. Les matériaux de renfort utilisés sont généralement en bois ou constitués de profilés en acier, leur position étant latérale, inférieure ou supérieure par rapport à l'élément à renforcer. La position inférieure est retenue le plus souvent pour renforcer les poutrelles quand la hauteur libre au sol admet une réduction, tandis que la position latérale est plus répandue si les poutres à renforcer supportent des pans entiers de planchers.

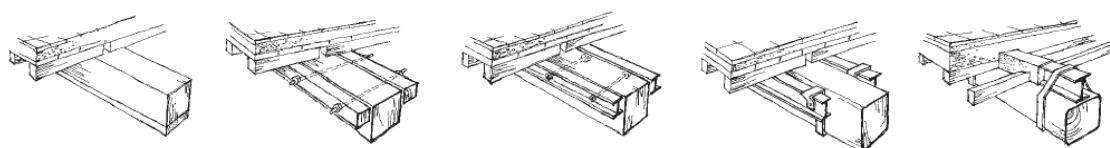


Figure 42 : Supplément de résistance pour les poutrelles

<sup>78</sup> REHABIMED, « Architecture traditionnelle méditerranéenne, réhabilitation des bâtiments », ed 2007, p303

- **Pose additionnelle de dalle en béton armé**

La pose additionnelle de dalles en béton armé, raccordées aux poutrelles des planchers, est l'une des solutions les plus courantes aujourd'hui dans les interventions de réhabilitation de bâtiments. Cette addition offre la possibilité de distribuer les tensions de la flexion de manière coplanaire dans toutes les directions du plan du plancher en augmentant la rigidité globale de la construction par la liaison de la nouvelle dalle dans l'épaisseur des murs et sur tout le périmètre, ce qui améliore aussi la résistance au séisme. Par ailleurs, le béton ajouté améliore aussi l'isolation acoustique du plancher.

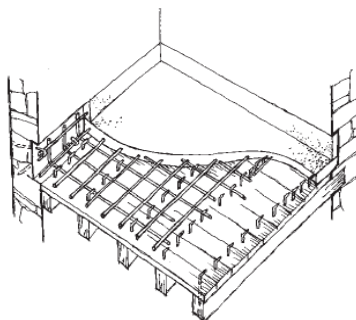


Figure 43 : Pose additionnelle de dalle en béton armé

#### II.7.d. Entretien des couvertures<sup>79</sup>

- **L'entretien des éléments couvrants**

L'intervention consiste à procéder au repiquage des éléments endommagés. Les couvertures en feuilles de zinc se dégradent souvent dans les zones de pliages et de raccords. Les couvre-joints sont particulièrement à surveiller. Des peintures ou enduits à base de caoutchouc synthétique peuvent prolonger quelque temps les couvertures et les protéger contre l'agressivité atmosphérique. La qualité des clous et crochets est très importante, les choisir de préférence en inox, en cuivre ou galvanisé.

- **L'entretien des accessoires de couverture**

Les crochets d'ardoise doivent être vérifiés et changés au besoin de chaque remaniage, de même que pour les crochets de service. Les chatières et tous les ouvrages d'aération sont à contrôler quant à leur étanchéité à la pluie et à la liberté du passage de l'air.

- **Les collectes des eaux pluviales**

Les crochets de gouttière ne doivent pas s'ouvrir et doivent être relatifs. Toute jonction d'élément doit être ressoudée et toute contre-pente accidentelle rattrapée. Les regards qui ne conservent plus l'eau sont à ré-enduire ou à refaire. Les parcours obliques ou horizontaux sous le sol peuvent nécessiter un curage périodique. Les crapaudines doivent être nettoyées des déchets qui les encombrant.

#### II.7.e. Nettoyage des façades<sup>80</sup>

<sup>79</sup> ANAH, « Réhabiliter et entretenir un immeuble ancien point par point », ed Moniteur 1993, p51

<sup>80</sup> Ibidem, p44

- **Façade en pierre calcaire**

S'il s'agit d'une pierre calcaire tendre avec des parties ouvragées ou en mauvais état, l'intervention consiste en un ruissellement d'eau et bossage avec utilisation de détergent ou l'utilisation d'un procédé avec superfine ou alors un ponçage sur les parties non ouvragées. S'il s'agit d'une pierre calcaire ferme et dure, on projettera de l'eau chaude sous haute pression avec application de produits chimiques ou on procédera au sablage hydropneumatique normal.

- **Façade en briques**

Pour les briques de construction de nature rugueuse il est recommandé un ruissellement d'eau au bossage ou un sablage humide léger. Si les briques sont de parement c'est-à-dire jaune ou rouge, il faudra projeter de l'eau chaude sous pression avec application de produits chimiques. Si les briques sont silico-calcaire, le mieux serait de projeter de l'eau chaude sous faible pression ou de projeter de l'eau surchauffée sous pression.

- **Façade en enduit**

S'il s'agit de ciment, il faudra projeter de l'eau chaude ou froide sous pression avec détergent. Pour la chaux aérienne il est recommandé de projeter de l'eau chaude ou froide sous faible pression avec utilisation de détergent. Quand il s'agit de plâtre on se contente d'un procédé mécanique qui consiste en un brossage puis un lessivage.

## II.7.f. Revêtement des sols<sup>81</sup>

- **Collage d'un revêtement de sol sur carrelage existant**

Il suffira de dégraisser, rincer puis sécher le revêtement existant pour passer un enduit primaire d'accrochage. Un enduit de lissage doit être alors étalé pour créer une surface plane qui permettra la pose du revêtement choisi. La réalisation des joints de finition est nécessaire pour l'étanchéité de la surface. Vient à la fin, la pose des plinthes. L'avantage étant le montage rapide sans destruction de l'existant ce qui induit de faibles coûts.

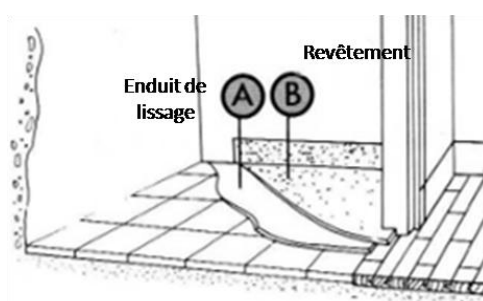


Figure 44 : Collage d'un revêtement de sol sur carrelage existant

- **Forme en béton pour une pièce humide**

La solution nécessite une épaisseur de 5 à 7 cm. On y dépose d'abord une feuille de polyester étanche armée puis on coule le béton. Par la suite on étale un feutre bitumineux continu et relevé au bord pour pouvoir réaliser une chape en béton ou réaliser une pose de carrelage. Un isolant

<sup>81</sup> ANAH, « Réhabiliter et entretenir un immeuble ancien point par point », ed Moniteur 1993, p94

acoustique en plaques peut être incorporé juste après le coulage de la forme en béton et avant le feutre bitumineux. Cette technique est peu onéreuse et améliore l'isolation acoustique tout en permettant le passage des canalisations encastrées.

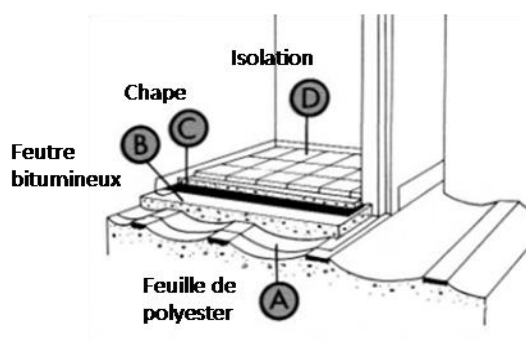


Figure 45 : Forme en béton pour une pièce humide

### II.7.g. Isolation des fenêtres<sup>82</sup>

#### ▪ Installation d'un survitrage

Un survitrage démontable ou articulé sur des charnières est fixé sur le ventail. Il peut comporter un cadre en aluminium ou en PVC. Un joint périphérique assure l'étanchéité entre ventail et survitrage, la lame d'air ainsi emprisonnée joue le rôle d'isolant thermique. Ce procédé exige de faible cout et son montage est rapide, sans destructions ni modifications.

#### ▪ Installation d'un vitrage isolant

Le vitrage simple est remplacé par un vitrage isolant constitué de deux vitres qui emprisonnent une lame d'air déshydratée. Un joint d'adaptation périphérique en PVC ou en aluminium permet de fixer ce vitrage épais sur les menuiseries à feuillures minces. Il faudra tout de même faire attention à l'augmentation du poids du ventail.

#### ▪ Doublement de la fenêtre par l'intérieur

Une deuxième menuiserie avec ouvrants et dormants est posée à l'intérieur de la pièce. Elle est fixée sur la maçonnerie ou sur le dormant existant. Elle assure une bonne isolation phonique et thermique sans surcharger la menuiserie existante. L'inconvénient réside dans la manœuvre supplémentaire pour ouvrir la fenêtre.

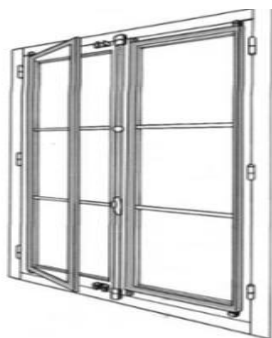


Figure 48 : Survitrage

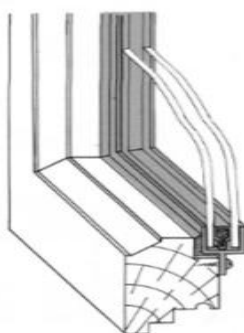


Figure 47 : Vitrage isolant

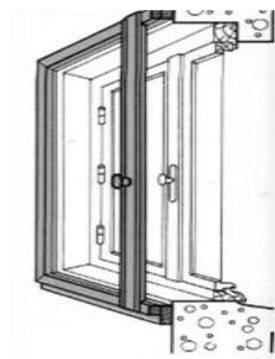


Figure 46 : Doublement

<sup>82</sup> ANAH, « Réhabiliter et entretenir un immeuble ancien point par point », ed Moniteur 1993, p84

### II.7.h. Traitement de l'humidité<sup>83</sup>

#### ▪ Traitement des infiltrations par le revêtement des façades

Les revêtements des façades ont pour rôle d'assurer une protection contre les intempéries. Ils sont sous forme d'enduits traditionnels, de parements plastiques, de peintures, de bardages...

L'hydrofugation d'une paroi permet de la rendre imperméable à l'eau sans empêcher le passage de la vapeur d'eau.

#### ▪ Aération et isolation thermique contre la condensation

Le traitement de la condensation se fait soit en diminuant la production de vapeur d'eau, soit en chauffant mieux les locaux, soit en aérant mieux les locaux ou alors en supprimant les points froids par l'isolation thermique. Il faut noter que plus la paroi intérieure du mur est chaude, moins il y a de risque de condensation.

#### ▪ Drainage du terrain

Cette technique permet de protéger les murs contre l'humidité en récupérant les eaux d'infiltration en creusant autour de l'immeuble une tranchée de drainage. Cependant, cette opération est déconseillée lorsque la nappe phréatique baigne un sol perméable et qu'il y a risque de colmatage.

#### ▪ Barrière étanche

Technique destinée à empêcher l'eau de monter dans les maçonneries. Pour bloquer ces remontées on introduit dans la maçonnerie un produit bouche-pores colmatant les capillaires ou un hydrofuge empêchant l'eau de circuler dans les capillaires. Il existe d'autres procédés, applicables sur des murs stables, qui consistent à implanter une barrière physique étanche comme des feuilles de plomb ou des plaques en acier inoxydable.

#### ▪ Siphons atmosphériques pour l'évacuation des eaux

La méthode consiste à forcer des trous le long du mur à traiter dans lesquels on implante des tubes poreux protégés vers l'extérieur par des grilles. Le principe de fonctionnement veut que l'air circulant dans ces drains évacue l'humidité du mur. Les siphons sont déconseillés dans le cas d'une humidité fortement chargée en sel car avec le temps ils se déposent dans ces siphons et attirent l'humidité dans la maçonnerie par leur caractère hygroscopique.

## III. Une démarche durable pour la réhabilitation

### III.1. Présentation de la notion d'éco-réhabilitation

#### III.1.a. Le cycle de vie du bâtiment

La production d'un bâtiment évoque un aspect « physique », qui comprend ses éléments, et un aspect « flux » qui concerne divers procédés de production d'énergie, de transport, de gestion... C'est ainsi que se présentent alors les différentes phases de vie d'un bâtiment<sup>84</sup> :

<sup>83</sup> ANAH, « Réhabiliter et entretenir un immeuble ancien point par point », ed Moniteur 1993, p114

<sup>84</sup> IBGE (Institut Bruxellois pour la Gestion de l'Environnement), « Prendre en compte le cycle de vie des bâtiments et de leurs composantes », 2010, p3

- 1/ Acquisition des matières premières et sources d'énergie.
- 2/ Transport et distribution.
- 3/ Etapes de production.
- 4/ Utilisation du bâtiment.
- 5/ Gestion de la fin de vie (recyclage, destruction, revalorisation)

Le tout a un impact environnemental considérable. En effet, ce système de production de bâtiments génère des flux de matière et d'énergie, à savoir, des émissions de GES (gaz à effet de serre) dans l'air, de l'ammoniaque dans l'eau, des métaux dans le sol, des déchets inertes, toxiques et radioactifs.<sup>85</sup>

C'est au cours de sa vie que le bâtiment sera réellement le plus pénalisant pour l'environnement. La phase d'exploitation contribue, pour une large part, aux impacts environnementaux d'un bâtiment (chauffage, climatisation, éclairage, eau potable...). En fin de vie, le bâtiment devra finalement être démolé, de manière à récupérer sélectivement ce qui sera devenu un ensemble de déchets. Le bâtiment disparu, il conviendra de procéder à une remise en état du site (dépollution, replantations...).

Aujourd'hui, penser et développer un bâtiment, c'est mener une réflexion dès la phase de conception sur la programmation, la volumétrie, les principes constructifs et le choix des matériaux, de sorte à favoriser le potentiel d'évolution en facilitant les changements futurs.

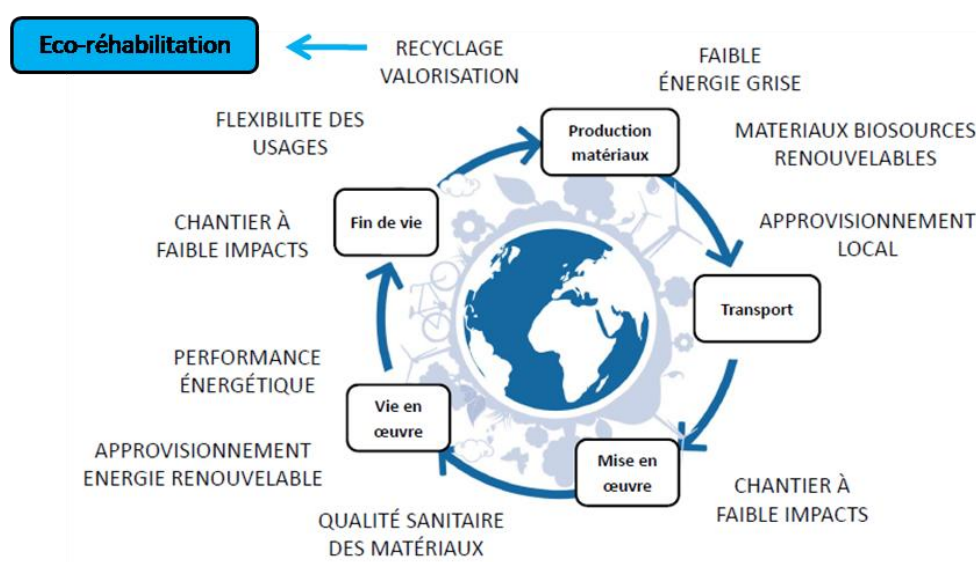


Figure 49 : Cycle de vie d'un bâtiment

La phase de démolition implique un redémarrage du cycle de vie du bâtiment et donc de prochains impacts sur l'environnement. C'est à ce niveau là qu'intervient, la revalorisation de l'immeuble par sa réhabilitation dans le but d'offrir au bâtiment et à ses composants, un prolongement de la durée de vie tout en améliorant concrètement la qualité environnementale de

<sup>85</sup> TROCME Maxime et PEUPORTIER Bruno, « Analyse de cycle de vie d'un bâtiment », communication aux journées Energie et Développement Durable, antenne de Bretagne de l'ENS, mars 2007

sa production. Cependant, cette phase est des plus déterminantes car elle doit prendre en considération les multiples utilisations du bâtiment ainsi que la manière de le déconstruire. Envisager la manière dont les composants pourront être désassemblés implique une réflexion sur le choix des matériaux à manipulation aisée avec une attention particulière aux dimensions pour anticiper la possibilité de les évacuer sans découpe préalable, ni altération du bâti. La conception d'assemblages permettant un démontage aisé afin de pouvoir les réutiliser dans une autre construction peut également être planifiée.

L'éco-réhabilitation d'un bâtiment consiste donc en la prise en compte des conséquences environnementales pas uniquement en dans l'optimisation énergétique. Cette dernière est primordiale dans la conception d'un bâtiment durable mais ne reflète pas les impacts dus à l'extraction de la matière première, à la construction, à l'utilisation et à la démolition.

### III.1.b. Définition de l'éco-réhabilitation

L'éco-réhabilitation revêt un intérêt particulier dans la mesure où elle permet d'aborder conjointement la réhabilitation de la mémoire du bâti ainsi que la préservation et la sauvegarde du patrimoine naturel. La population est de plus en plus sensibilisée à la protection de l'environnement et, dans le cas concret du bâtiment, elle est de plus en plus exigeante en termes de consommation énergétique, de salubrité et de santé. En réponse à cela, les techniques d'écoconstruction se développent et progressent, tandis que les autorités locales apportent leur soutien à des projets qui respectent les contraintes écologiques.<sup>86</sup>

L'éco-réhabilitation est transversale et multisectorielle. Le défi des prochaines années réside dans l'éco-réhabilitation du bâti existant, en tenant compte, tout d'abord, des questions environnementales. Elle soulève des questions techniques et de conception qui requièrent une conciliation entre savoir-faire local et techniques plus innovantes. Le bâti existant doit être réhabilité, en améliorant sa salubrité, tout en réduisant son impact environnemental et sa consommation d'énergie. Il est également important de valoriser les compétences locales dans toutes les phases.

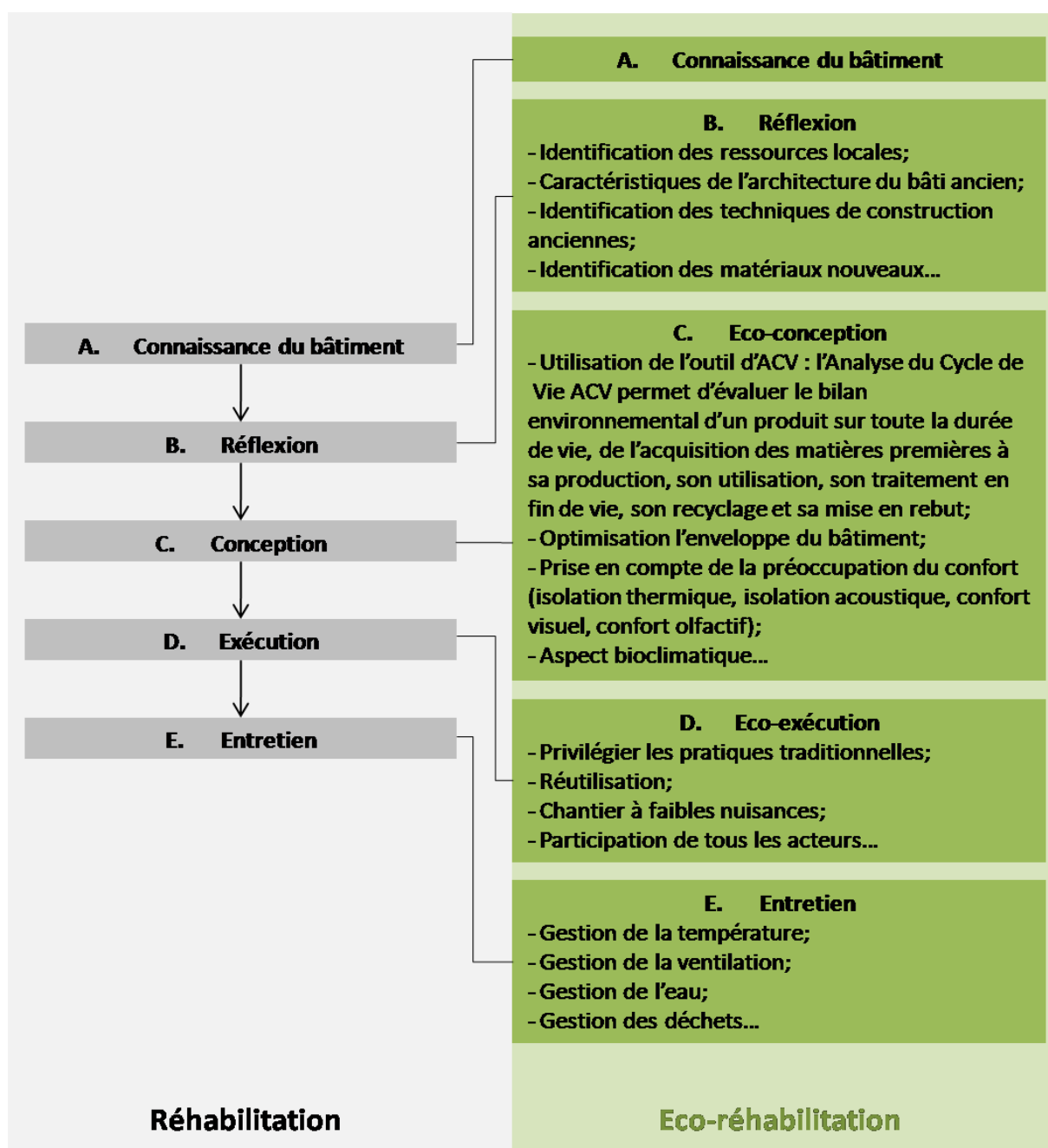
L'éco-réhabilitation doit être envisagée comme un processus de développement local, intégré et cumulatif, garantissant les actions suivantes :

- 1/ Protéger et valoriser la mémoire du bâti à enjeu patrimonial
- 2/ Améliorer la performance énergétique et environnementale des bâtiments
- 3/ Garantir la santé et le confort des occupants
- 4/ Réaliser des économies de budget sur la facture énergétique globale
- 5/ Intégrer de politiques de développement économique et social
- 6/ Participation d'acteurs à différents niveaux (régional, municipal, communautaire)
- 7/ Approche public-privé (partenariats)
- 8/ Mise en œuvre d'actions pour la création interactive de connaissances et d'apprentissages (innovation)

---

<sup>86</sup> ECO-ARQ, « Guide méthodologique pour l'éco-réhabilitation du patrimoine bâti dans le Sud-ouest européen », p3

### III.1.c. Etapes de l'éco-réhabilitation



## III.2. Objectifs de l'éco-réhabilitation

### III.2.a. Construction verte

- Relation harmonieuse des bâtiments avec leur environnement immédiat

« L'observation » est le principe le plus utilisé par nos aïeux pour assurer une bonne intégration du bâti dans son environnement. Donc la réussite de la relation « bâtiment, environnement » dépend de la connaissance de l'entourage proche et lointain, pour profiter de ces avantages et éviter ces inconvénients. Cette observation du bâti existant doit être en relation avec les facteurs climatiques du site : orientation suivant la course du soleil, la rose des vents, les précipitations...

Cet ancien principe permet la lecture des influences du site sur l'existant et ouvre des pistes d'amélioration pour un éco-réhabilitation efficace. La topographie, le cadre bâti voisin et les plantations peuvent par exemple justifier les conditions de vie dans la construction en termes de confort thermique, acoustique...etc<sup>87</sup>

#### ▪ **Choix intégré des procédés et produits de construction**

A l'époque, l'intelligence constructive de chaque région était cohérente avec leur milieu naturel, cela veut dire qu'il existait une forte relation entre un matériau et le lieu de sa mise en œuvre. Il était plus facile et moins coûteux d'utiliser des matériaux locaux pour éviter le transport. Mais la problématique de l'actualité est différente : l'extraction des matières premières, le transport, la fabrication et la mise en œuvre des matériaux présente un impact dangereux sur l'environnement à travers la consommation des énergies, l'émission de gaz à effet de serre...etc<sup>88</sup> De ce fait, la solution c'est le bon choix des matériaux en fonction de ceux qui sont disponibles à proximité, adaptés au climat, le coût de construction sera limité et enfin les plus respectueux pour la nature. Les constructions en pierre locale sont adaptées au climat à forte variation de température journalière. Les constructions en bois permettront une rapide montée en température du bâtiment particulièrement adaptée aux climats dont l'hiver est très rigoureux (climat de montagne). Les constructions en terre crue ou sable permettent d'accumuler les fortes radiations solaires et montées en température et ainsi limiter les risques de surchauffe.

#### ▪ **Chantier à faible nuisances**

La réduction des nuisances liées aux travaux de chantier sont indispensables dans la construction neuve et en réhabilitation. Un chantier en site occupé pose des questions sur les accès et sur la sécurité des personnes. Alors il est nécessaire de mettre en place des voies spéciales pour les occupants et les ouvriers.

Les habitudes de travail sur chantier doivent intégrer ces nouveaux éléments dans la planification des tâches, la gestion de matériaux et le tri des déchets.

Plusieurs types de nuisances sont liés au chantier :

- 1/ Circulation accrue et aires de stationnement augmentées;
- 2/ Nouvelles salissures et poussières;
- 3/ Nuisance visuelle, olfactive et sonore;
- 4/ Pollution des sols;
- 5/ Présence de déchets.

Des mesures efficaces peuvent être mise en œuvre telles qu'une clôture opaque du chantier, un bassin de nettoyage des roues des véhicules sortant, des bâches étanches sous les aires de stationnement, une aire pour le tri des matériaux, la mise en œuvre de composants préfabriqués en atelier et la valorisation des déchets.

---

<sup>87</sup> MAURO-CHASSAGNE, « Développement durable et réhabilitation », travail de fin de formation HQE, ENSAL, janvier 2007, p6

<sup>88</sup> Ibidem, p7

### III.2.b. Gestion harmonieuse

#### ▪ Gestion de l'énergie

Le recours aux énergies renouvelables est primordial telle l'énergie du vent, du soleil et celle de l'eau, elle représente des sources d'énergie moins coûteuses et moins polluantes et qui réduisent la dépendance au pétrole... La difficulté de l'éco-réhabilitation est d'intégrer des systèmes de chauffage ou de ventilation dans une structure pré-dimensionnée, comme par exemple :

1. Le solaire thermique pour l'eau chaude sanitaire
2. Le photovoltaïque pour la production d'électricité (besoins internes ou redistribution sur le réseau)
3. Les pompes à chaleur pour le chauffage
4. Le bois énergie pour le chauffage (plaquettes, écorces, granules, sciures...)

#### ▪ Gestion de l'eau

L'eau est une ressource essentielle dans notre vie quotidienne, malheureusement elle est trop gaspillée, ce qui demande sa préservation et la réduction de sa consommation. Dans le secteur du bâtiment, des économies d'eau sont possibles par<sup>89</sup> :

1. Une bonne conception des installations (dimensionnement, position des robinets d'arrêt...)
2. L'installation de matériels performants, économes et bien réglés
3. La végétalisation des toitures
4. La récupération des eaux de pluies
5. Le contrôle et la surveillance des installations (limitation des fuites)...

La gestion de l'eau en réhabilitation dépend de la qualité du réseau existant. On peut intervenir sur les équipements (chasses d'eau ; limiteurs de débits des robinets ; appareils ménagers performants...) et suivant la typologie de la parcelle proposer des systèmes de récupérations des eaux de pluie destinés à l'arrosage et au nettoyage.

#### ▪ Gestion des déchets

Pour la gestion des déchets d'activités, les objectifs sont les mêmes en éco-réhabilitation et en construction neuve, c'est la réduction de la production des déchets, mais aussi la mise en place des moyens pour la maîtrise et l'organisation de l'évacuation de ces déchets pour assurer un tri à la source des ordures...

Les procédures dans ce cas sont :

1. Caractériser les futurs déchets;
2. Assurer de bonnes conditions de collecte des déchets;
3. Encourager le tri sélectif et la valorisation des déchets, pour leur recyclage...

Il existe trois filières de valorisation des déchets:

1. Valorisation organique par le compostage (traitement aérobie) ou par la méthanisation (traitement anaérobie);

---

<sup>89</sup> MAURO-CHASSAGNE, « Développement durable et réhabilitation », travail de fin de formation HQE, ENSAL, janvier 2007, p9

2. Valorisation énergétique par l'incinération pour récupérer le contenu énergétique des produits;
3. Valorisation des déchets recyclables comme le papier carton, le verre le plastique...etc.

Dans ce cas le rôle des architectes c'est de concevoir des espaces et des emplacements pour le stockage des déchets (poubelles ou containers) puisque cette gestion concerne les usagers en phase d'utilisation du projet. Le local des déchets doit répondre aux conditions suivantes<sup>90</sup> :

1. L'orientation vers le nord pour éviter les surchauffes qui est un facteur de décomposition rapide des déchets et la favorisation des mauvaises odeurs ;
2. La ventilation
3. La proximité d'une source d'eau pour faciliter le nettoyage de ces locaux;
4. La résistance au feu en cas d'incendie.

#### ▪ Gestion de l'entretien et la maintenance

La maintenance représente les différentes actions à entreprendre pour la remise en état d'un bâtiment existant. La question de l'entretien et de la maintenance se pose dès la conception de l'éco-réhabilitation avec celle du choix des systèmes constructifs et des matériaux. Selon les projets, leurs usages et leur fréquentation, l'entretien et la maintenance doivent être différents pour la durabilité du bâtiment.

Les exigences d'une maintenance efficace sont<sup>91</sup> :

1. Une accessibilité facile: pour assurer au personnel de maintenance un accès rapide aux installations techniques lors de l'entretien. Pour assurer ce critère, les locaux techniques doivent être implantés d'une manière à faciliter ces opérations tout en respectant le confort et la sécurité des usagers;
2. Durabilité du matériel technique d'entretien : pour garantir des bonnes conditions pour ces interventions;
3. La démontrabilité: pour faciliter l'utilisation de ce matériel;
4. Information du gestionnaire et des usagers: pour les sensibiliser sur les opérations à réaliser sur les éléments techniques et constructifs du bâtiment.

### III.2.c. Confort sain

#### ▪ Confort thermique

La sensation des aspects thermiques chez l'Homme, résulte souvent de l'activité concomitante des capteurs au froid et au chaud. L'impression ainsi générée donne naissance ou non à l'inconfort. Pour certaines personnes, le confort se situera dans la zone de « ni chaud, ni froid », pour d'autres dans une zone plutôt chaude et pour le reste, dans une zone un peu fraîche. La zone sensorielle de « ni chaud, ni froid » permet de garantir l'absence d'inconfort, sans pour autant assurer le confort. Il faudrait savoir faire la distinction entre l'état thermique du sujet qui l'amène à donner une

<sup>90</sup> LIEBARD Alain et DE HERDE André, « Traité d'architecture et d'urbanisme bioclimatiques », ed Observ'ER, 2005, p467

<sup>91</sup> Ibidem, p148

expression de sa sensation personnelle et l'état thermique de l'ambiance qui est jugé à travers la perception sensorielle du climat.<sup>92</sup>

Le confort thermique du bâtiment est donc l'ensemble des conditions optimales nécessaires au développement de la vie physiologique de l'homme à l'intérieur d'un espace. Ce confort n'existe que dans des états dynamiques, où le sujet passe d'un état déséquilibré à un état équilibré. Le confort thermique dépend du métabolisme qui maintient le corps à 36,7°C, de l'habillement, de la température de l'air ambiant, de la température moyenne radiante, de l'humidité relative de l'air et de la vitesse de l'air.<sup>93</sup>

Assurer un confort thermique d'été à l'intérieur du bâtiment, nécessite :

1. Une protection du bâtiment contre le rayonnement solaire.
2. Une minimisation des apports internes.
3. Une ventilation nocturne ou par effet cheminée.
4. La mise en place de plans d'eau
5. Le recours aux éléments végétaux.

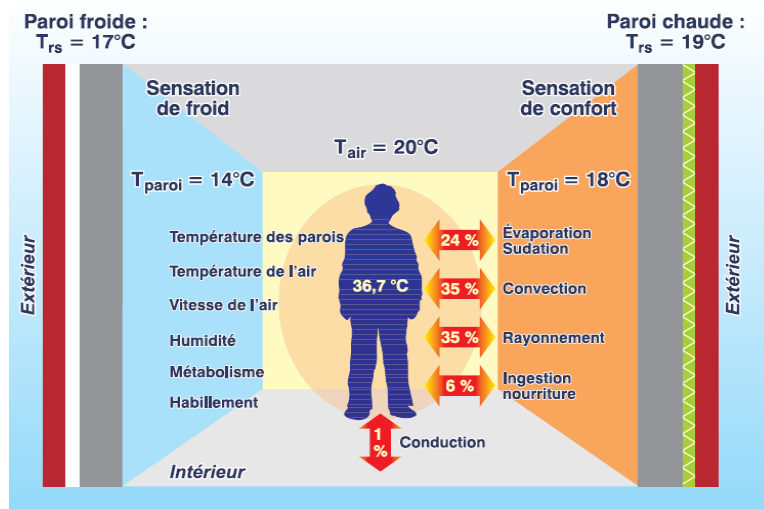


Figure 50 : Les échanges thermiques entre l'Homme et son environnement

#### ▪ Confort acoustique

Le son ou le bruit est caractérisé par son mode de propagation. On distingue dans le bâtiment quatre types de bruits :

1. Bruits aériens intérieurs (TV...);
2. Bruits aériens extérieurs (train...);
3. Bruits d'impact émis par la vibration d'une paroi (chute d'objet...);
4. Bruits d'équipements (machine à laver...).

Selon sa fréquence, l'oreille humaine perçoit des sons graves ou aigus sur une plage comprise entre 20 et 20 000 hertz. La sensibilité de l'oreille humaine se situe dans la zone de fréquence comprise

<sup>92</sup> CANDAS Victor, « Confort thermique, traité génie énergétique », P3

<sup>93</sup> MERZEG Abdelkader, « La réhabilitation thermique de l'habitat contemporain en Algérie », mémoire de magister, soutenu le 21.10.2010, UMMTO, p42

entre 20 et 16 000 hertz. Pour remédier aux problèmes de bruit, l'acoustique, science qui étudie les phénomènes de perturbation de l'onde sonore, propose des solutions d'isolation acoustique afin de protéger du bruit extérieur et de correction acoustique pour corriger les réverbérations à l'intérieur du local.

Pour garantir une bonne isolation acoustique, la conception du projet peut jouer sur deux paramètres des matériaux utilisés : la masse et l'élasticité.

La loi de masse montre que l'affaiblissement acoustique d'une paroi augmente avec sa masse surfacique. Si l'on double la masse surfacique de la paroi, la valeur de l'isolement acoustique est augmentée de 4 dB. Quant à l'élasticité, elle caractérise l'effet d'amortissement acoustique d'un matériau. Il est aussi possible de jouer sur les deux paramètres en proposant des parois doubles constituées d'éléments simples séparés par une lame d'air ou un matériau absorbant.<sup>94</sup>

#### ▪ Confort visuel

Le confort visuel, tout comme le confort thermique, est une notion subjective qui diffère d'une personne à une autre. Il est lié à la quantité, à la qualité et à la distribution de la lumière qui influence l'individu tant au niveau physiologique que psychologique. Ce confort résulte d'un rapport visuel satisfaisant avec l'extérieur qui permet de voir les objets nettement, sans fatigue et dans une ambiance colorée agréable. Un éclairage trop faible ou trop fort, mal réparti dans la pièce et dont le spectre lumineux est mal adapté à la sensibilité de l'œil provoque une sensation d'inconfort. Le meilleur éclairage est assuré par la lumière du jour qui est une lumière blanche. La couleur de la lumière doit être adaptée au niveau d'éclairage souhaité comme on le voit sur le diagramme de Kruithof. Ce dernier démontre que seule la zone (B) correspond à la zone de confort. Si quelqu'un se trouve dans la zone (A), l'impression visuelle correspond à une ambiance lumineuse irréaliste, trop chaude; la température de couleur est trop faible pour le niveau d'éclairage considéré. Dans la zone (C), l'ambiance lumineuse, de type crépusculaire, est trop froide; la température de couleur de la source est trop importante par rapport au niveau d'éclairage atteint.<sup>95</sup>

Le confort visuel doit assurer à la fois la visibilité des objets et des obstacles, la bonne exécution des tâches et une ambiance lumineuse agréable. Pour atteindre cela, des critères objectifs doivent être soigneusement étudiés, à savoir :

1. Les contraintes du site en termes d'ensoleillement, de relief, de masques et d'éclairage artificiel.
2. L'orientation.
3. La position, le nombre et la taille des ouvertures.
4. Les quantités de lumière naturelle.
5. La qualité de l'éclairage.

---

<sup>94</sup> LIEBARD Alain et DE HERDE André, « Traité d'architecture et d'urbanisme bioclimatiques », ed Observ'ER, 2005, p225

<sup>95</sup> DAICH Safa, « Simulation et optimisation du système light shelf sous des conditions climatiques spécifiques, cas de la ville de Biskra », mémoire de magister, soutenu en 2011, université Mohamed Khider de Biskra, p63

6. La répartition harmonieuse de la lumière dans la pièce.
7. Le rapport à l'extérieur.

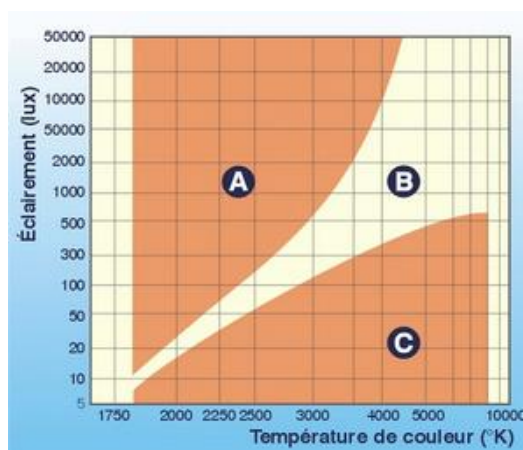


Figure 51 : Diagramme de Kruithof

#### ▪ Confort olfactif

Une odeur est un ensemble de composés chimiques présents dans l'air et que notre système olfactif perçoit, analyse et décode pour fournir un jugement qualitatif sur l'ambiance olfactive. Certaines odeurs gênantes peuvent être immédiatement ressenties. D'autres ne deviennent dérangeantes qu'à partir d'un certain niveau d'intensité. D'autres encore ne sont pas détectables par nos sens. Elles dépendent de la sensibilité de l'individu, de son contexte socioculturel, de sa physiologie ou de sa capacité d'adaptation.

Ces odeurs proviennent de différentes origines, à savoir :

1. Des produits de construction.
2. Des équipements.
3. Des activités présentes au sein du bâtiment.
4. Du milieu environnant.
5. Des usagers.

Une ventilation efficace du bâtiment permet souvent de limiter les risques d'inconfort olfactif en assurant un débit de renouvellement d'air neuf suffisant au regard de l'activité d'un local. La ventilation doit également permettre que l'air neuf entrant soit diffusé correctement dans l'ensemble des locaux.<sup>96</sup>

### III.2.d. Hygiène et santé

#### ▪ Amélioration de la santé publique

Il s'agit de mettre l'accent sur les effets des polluants touchant les individus ainsi que les risques sanitaires et les conditions d'hygiène dans le bâtiment. La limitation des nuisances électromagnétiques liées à l'utilisation de l'électricité, aux télécommunications ou aux équipements de production de chaleur, et la création de conditions d'hygiène spécifiques sont

<sup>96</sup> CSTB (Centre Scientifique et Technique du Bâtiment), « Référentiel technique de certification », janvier 2005

deux préoccupations majeures. Créer de bonnes conditions d'hygiène implique une meilleure qualité sanitaire des espaces et cela grâce<sup>97</sup> :

1. A la gestion des flux de personnes et de matières.
2. Au choix de matériaux sains.
3. Au renouvellement d'air.

Préoccupation	Caractéristique	Critère
12.2.1. Identifier les activités particulières	Activités particulières	Identification des zones et locaux à conditions d'hygiène spécifiques
12.2.2. Créer les conditions d'hygiène spécifiques	Dispositions prises pour créer les conditions d'hygiène spécifiques <sup>(1)</sup>	Conditions d'hygiène réglementaires
		Conditions d'hygiène optimales au regard des activités particulières
12.2.3. Choisir des matériaux limitant la croissance fongique et bactérienne	Caractéristiques hygiéniques des produits de construction vis-à-vis de la croissance bactérienne et fongique <sup>(2)</sup>	Caractéristiques hygiéniques connues pour 25% des éléments de la famille suivante : <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ revêtements intérieurs (sol, mur, plafond)</li> </ul>
		Prise en compte du critère hygiénique a minima dans le choix du produit pour l'élément le plus impactant de cette famille <sup>(3)</sup>
		Caractéristiques hygiéniques connues pour 50% des éléments des familles suivantes : <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ revêtements intérieurs (sol, mur, plafond)</li> <li>▪ isolants thermiques</li> <li>▪ matériaux acoustiques</li> </ul>
		Prise en compte optimale du critère hygiénique dans le choix de produits de ces familles. <sup>(4)</sup>

Figure 52 : Préoccupations et critères des conditions d'hygiène

#### ▪ Renouvellement d'air

Le renouvellement d'air est indispensable pour assurer un climat intérieur sain aux occupants.

L'apport d'air neuf permet d'évacuer les polluants qui se sont accumulés dans les locaux et qui proviennent des occupants, des activités, des matériaux de construction ou de l'extérieur.

Pour diminuer au maximum les concentrations de volatils à l'intérieur de du bâtiment, il est utile de prévoir certaines opérations, à savoir<sup>98</sup> :

1. Des opérations de nettoyage des gaines de ventilation.
2. Des opérations de contrôle des débits, pressions et températures d'air.
3. Etanchéité à l'air des parois du bâtiment en contact direct avec le sol.
4. Ventilation efficace par mise en légère surpression des locaux.
5. Drainage par mise en dépression du sol sous-jacent au bâtiment.
6. Evaluation et gestion de la qualité de l'air ambiant en fixant des valeurs limites de plomb, de monoxyde de carbone, de benzène et autres particules polluantes.

<sup>97</sup> CSTB (Centre Scientifique et Technique du Bâtiment), « Référentiel technique de certification », janvier 2005

<sup>98</sup> LIEBARD Alain et DE HERDE André, « Traité d'architecture et d'urbanisme bioclimatiques », ed Observ'ER, 2005, p225

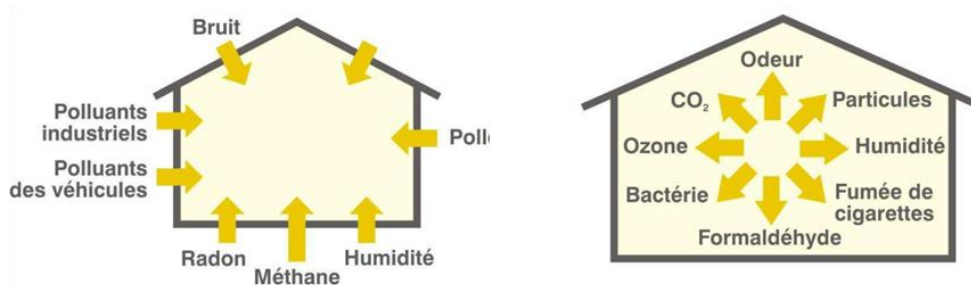


Figure 53 : Les polluants extérieurs et intérieurs

### ▪ Evacuation des déchets

On distingue diverses sortes de déchets : déchets résiduels, déchets encombrants et d'emballage, déchets organiques, déchets inertes de chantier... Qu'ils soient ultimes ou valorisables, au volume important ou biodégradables ou qu'ils ne subissent aucune modification importante, ces déchets sont à évacuer. Les considérations d'un tri sélectif sont à inclure dans les normes architecturales afin de fournir les possibilités de séparation des diverses fractions de déchets. Ainsi, les matières valorisables peuvent être collectées séparément tandis que les autres seront destinés à l'élimination par incinération ou autre. La valorisation peut se faire en recyclant le déchet, soit par compostage, par fermentation, par réutilisation ou par récupération.<sup>99</sup>

Le circuit des déchets dans le bâtiment doit être simulé en phase projet pour vérifier la facilité d'évacuation et modifier certains emplacements et circulations. L'évacuation sera alors effectuée selon un trajet optimisé. Le local de stockage sera situé afin de faciliter l'enlèvement et la rotation des bennes et étudié en fonction des vents dominants de façon à protéger des odeurs nauséabondes les locaux voisins.

### ▪ Eau potable

Une eau potable est une eau saine et sans particularité de gout. Sa potabilité doit être assurée tout au long de son cycle, c'est-à-dire, depuis sa production jusqu'à sa distribution. Selon les recommandations de l'OMS, la teneur en plomb doit être fortement réduite. Des critères viennent définir la qualité sanitaire de l'eau, on cite<sup>100</sup> :

1. Les paramètres organoleptiques (coloration, odeur, saveur...)
2. Les paramètres physico-chimiques en relation avec la structure naturelle des eaux (présence en chlore, en sulfate, en magnésium...)
3. Les paramètres concernant des substances indésirables (présence de fluor, de nitrates...)
4. Les paramètres concernant des substances toxiques (chrome, plomb, arsenic...)
5. Les paramètres microbiologiques concernant le risque bactériologique (parasites, virus, bactéries...)
6. Pesticides et produits apparentés.
7. Paramètres concernant les eaux adoucies livrées à la consommation humaine.

<sup>99</sup> LE GOUVERNEMENT DU GRAND-DUCHÉ DE LUXEMBOURG, « Plan général de gestion des déchets », janvier 2010, p90

<sup>100</sup> LIEBARD Alain et DE HERDE André, « Traité d'architecture et d'urbanisme bioclimatiques », ed Observ'ER, 2005, p242

### III.3. Développement durable et basse consommation, deux enjeux de l'éco-réhabilitation

#### III.3.a. Développement durable

Le développement durable est le résultat de la deuxième conférence appelé « *Sommet de la Terre* » à Rio de Janeiro en 1992, définie comme un développement qui satisfait les besoins de la génération actuelle sans priver les générations futures à satisfaire les leurs. . C'est un modèle de développement économique et social visant à assurer la pérennité du patrimoine naturel de la Terre. Il est basé sur 27 principes et trois piliers à savoir l'Economie, le Social et l'Environnement.<sup>101</sup>

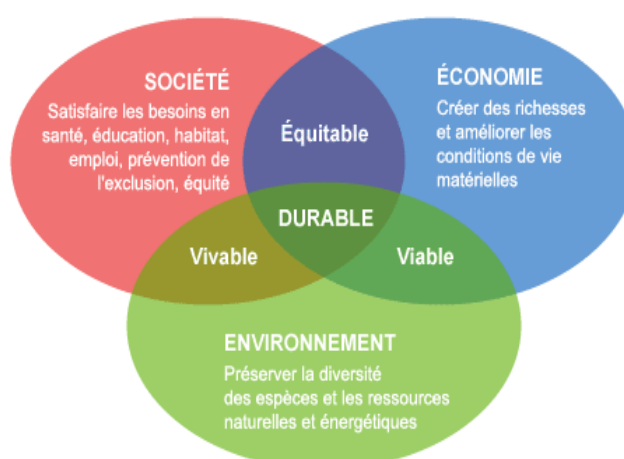


Figure 54 : Les 3 piliers du développement durable

#### 1. Des enjeux environnementaux :

Préserver le milieu naturel, les ressources (air, eau...) et les matières premières, ainsi que la réduction des phénomènes favorisant le changement climatique comme l'émission de gaz à effet de serre, la pollution de l'air, la déforestation, production de déchets dangereux...etc.

#### 2. Des enjeux sociaux :

Améliorer la santé et le bien-être des habitants des pays industrialisés et garantir l'abri, l'accès à l'eau et à la nourriture en quantité suffisante pour les habitants des pays en voie de développement.

#### 3. Des enjeux économiques :

L'amélioration des performances thermiques des bâtiments et l'économie des énergies qui se traduira par un investissement économique.<sup>102</sup>

<sup>101</sup> BIERE Aurélie, « Le développement durable, la qualité environnementale des bâtiments et les maitres d'ouvrages », mémoire de fin d'étude, soutenu le 28.01.2011, ENSA Lyon

<sup>102</sup> NAIT Nadia, « La réhabilitation énergétique dans les logements collectifs existants, cas du climat semi aride de Constantine », mémoire de magistère, université Mentouri de Constantine, p55

### III.3.b. Basse consommation

La quantité d'énergie utilisée par un bâtiment représente sa consommation énergétique. Cette dernière diffère d'une construction à une autre en fonction de l'usage. L'énergie s'emploie principalement dans : le chauffage, l'eau chaude sanitaire, les auxiliaires de ventilation, l'éclairage et la climatisation. Le logement dépend de son isolation; plus elle est performante et plus la consommation d'énergie est réduite. Les normes de consommation d'énergie doivent représenter des valeurs inférieures à 50 Kw/m<sup>2</sup>/an.

La notion de basse consommation est désormais étendue à l'ensemble des dispositifs qui consomment de l'énergie. Elle est liée à un objectif consistant à diviser par 4 nos émissions de gaz à effet de serre à l'horizon 2050. La basse consommation dans le neuf comme en rénovation, ainsi que le tertiaire donne lieu à des labels basse énergie comme le label Effinergie ou Minergie (Suisse). Ces labels de basse énergie apportent des avantages de diminution de taxes foncières, d'extension de COS, coefficient d'occupation des sols... Le label Effinergie fixe en moyenne dans l'habitat neuf, à 50 kWh/m<sup>2</sup> la consommation d'énergie primaire, et à 80 kWh/m<sup>2</sup>/an dans l'habitat existant.

Les économies d'énergie sont une réponse à la basse consommation. Pour le secteur du bâtiment, les économies d'énergie sont principalement axées dans les usages du bâtiment pour se chauffer, se climatiser, ventiler les locaux, pour les usages d'électricité comme l'éclairage et autres usages généraux tels que l'électroménager, le télévisuel, l'informatique. Ces économies sont dépendantes du type d'énergie en place, plus ou moins onéreuse ou gratuite comme le solaire, du niveau d'isolation, de la qualité des équipements thermiques intérieurs, de l'usage précautionneux et économe des usagers. L'intégration des énergies renouvelables est désormais indispensable pour contrebalancer le coût de plus en plus onéreux des énergies fossiles ou électriques. Réaliser des économies d'énergie c'est par conséquent, abaisser le plus possible la consommation d'énergies onéreuses, et utilisant les le plus possible les énergies gratuites et renouvelables.<sup>103</sup>

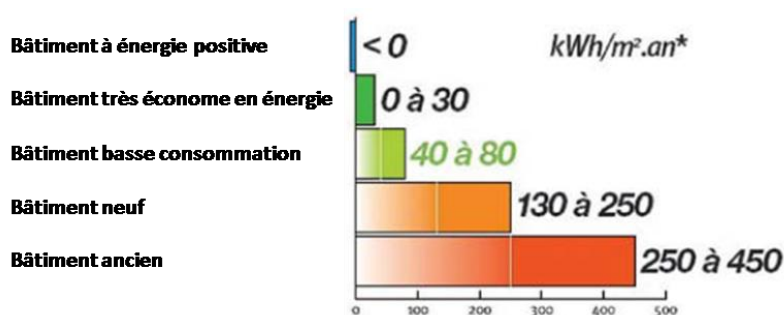


Figure 55 : Evolutions des consommations d'énergie

## III.4. Les bâtiments basse consommation

### III.4.a. Définition

<sup>103</sup> EFFINERGIE, « Réussir un projet de bâtiment basse consommation, des clés pour des logements neufs confortables et économes en énergie », P7

Le bâtiment à basse consommation énergétique est défini par l'arrêté du mai 2007 relatif au contenu et aux conditions d'attribution du label « haute performance énergétique ». Un bâtiment est considéré BBC lorsque la consommation conventionnelle d'énergie primaire du bâtiment pour le chauffage, le refroidissement, la ventilation, la production d'eau chaude sanitaire et l'éclairage est inférieure ou égale à 50 % de la consommation conventionnelle de référence, définie par l'article 9 de l'arrêté du 24 mai 2006 relatif à la réglementation thermique 2005.<sup>104</sup>

### III.4.b. Outils et dispositifs

#### ▪ Implantation

L'urbanisme, la topographie et la végétation sont autant de facteurs à prendre en compte lors de l'implantation de la conception dans son site. On peut s'abriter des vents de nord derrière un talus ou un écran végétal. On doit éviter d'implanter le bâtiment au sommet d'une colline où elle sera balayée par les vents.

#### ▪ Forme et volume

La compacité d'un bâtiment représente le rapport entre le volume habitable et l'ensemble des surfaces de déperditions. Ce concept est généralement une règle pour une architecture énergétique car elle permet de limiter les déperditions de chaleur et ainsi une réduction de consommation de l'énergie. La forme d'un bâtiment a aussi un impact sur les déperditions thermiques, qui sont proportionnelles à la surface d'échange avec l'extérieur.

#### ▪ Orientation des façades

En termes d'énergie, les points essentiels pour l'orientation sont:

1. La possibilité de favoriser un ensoleillement optimal des façades en hiver;
2. Limiter les vitrages à l'ouest qui sont les plus problématiques vis-à-vis du confort d'été;
3. Limiter les effets des vents d'hiver et de permettre une ouverture des fenêtres en été pour profiter de la fraîcheur du soir et de la nuit.

Sur l'exemple de la maison individuelle étudiée, une orientation au sud de la façade permet de gagner environ 3 kW hep/m<sup>2</sup>. Une orientation de la façade principale sur une voie bruyante, rendant difficile l'ouverture des fenêtres en été, elle peut plus que doubler le nombre d'heures où la température dépasse 28 °C.

#### ▪ Isolation

Un bâtiment BBC doit être mieux isolé que les bâtiments ordinaires. L'isolation est un complément essentiel au bon fonctionnement de ce type de conception, son objectif est d'améliorer le confort thermique et acoustique à l'intérieur du bâtiment et de réduire sa consommation en énergie.<sup>105</sup> La qualité de la réalisation et des finitions des parois sont des critères fondamentaux pour réussir l'isolation. Mais, quels que soient les systèmes constructifs ou d'isolation, il est indispensable de bien traiter les ponts thermiques à toutes les phases du projet.

<sup>104</sup> AITF et EDF, « Guide bâtiments basse consommation »

<sup>105</sup> EFFINERGIE, « Réussir un projet de bâtiment basse consommation, des clés pour des logements neufs confortables et économes en énergie », P14

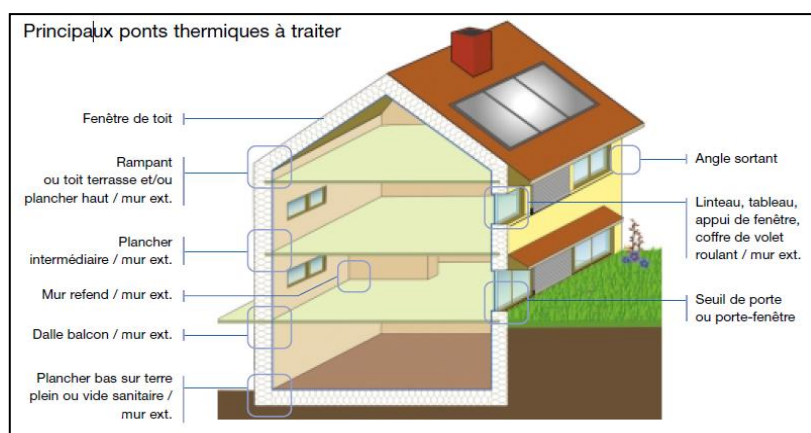


Figure 56 : Principaux ponts thermiques à traiter

Il existe quatre systèmes d'isolation, qui s'appuie sur les différentes natures d'isolants qu'ils soient à base organique, minérale, végétale ou animale<sup>106</sup> :

1. Système d'isolation rapportée par l'intérieur : l'isolation rapportée par l'intérieur permet de traiter les jonctions avec les menuiseries, portes, balcons, ... ainsi que celles avec l'isolation des combles et toitures. Pour respecter les conditions de confort d'été, la masse des murs n'étant pas en contact avec les volumes intérieurs, il sera pertinent de composer avec des parois intérieures lourdes (refends maçonnés, dalles béton armé, cloisons lourdes, ...).
2. Système d'isolation rapportée par l'extérieur : l'isolation thermique par l'extérieur permet de supprimer les ponts thermiques au niveau des planchers intermédiaires et des refends. Elle permet aussi de tirer parti de l'inertie des murs pour récupérer les apports solaires en hiver et pour réduire l'inconfort en été. En revanche, ce type d'isolation (sous enduit, vêtture, bardage, ...) implique des précautions spécifiques de mise en œuvre pour garantir le traitement thermique de la jonction avec les planchers bas, les encadrements de fenêtres, portes, loggias, balcons, etc. et les acrotères des toitures plates ou les combles.
3. Système constructif à isolation répartie : ce système d'isolation permet de réduire les ponts thermiques de structure des planchers intermédiaires et refends. Il permet aussi de tirer parti de l'inertie des murs pour récupérer les apports solaires en hiver et pour réduire l'inconfort en été.
4. Système constructif à ossature : le système constructif à ossature bois ou acier permet d'atteindre des épaisseurs d'isolant importantes sans augmenter les épaisseurs totales de mur. Il est fortement utilisé dans les projets de basse consommation, dans les pays utilisant traditionnellement ces technologies.

#### ▪ Matériaux d'isolation

<sup>106</sup> EFFINERGIE, « Réussir un projet de bâtiment basse consommation, des clés pour des logements neufs confortables et économes en énergie », P17

Ce type de matériaux présente des performances remarquables en hiver comme en été. Ils peuvent minimiser l'humidité et la restituer lorsque le milieu s'assèche. Ils laissent le bâti respirer seul, avec une très grande stabilité dans le temps.

Isolants	Origine	Informations complémentaires	Utilisation
<b>Mouton</b>	<b>La laine est démêlée, lavée, dessuintée puis coupée</b>	<b>Traitement au sel de bore. Pose manuelle ou soufflée</b>	<b>Paroi verticale Comble Plancher Toiture par le haut</b>
<b>Chanvre</b>	<b>C'est la chènevotte de la plante. De la tige du bois</b>	<b>Il est réduit en petit morceaux puis traité avec du silicate de potassium</b>	<b>Paroi verticale Comble Plancher Toiture par le haut</b>
<b>Liège</b>	<b>Provient du chêne liège. Existe en version recyclage des bouchons</b>	<b>Après réduction en granulats. Ils sont expansés à la vapeur d'eau (300°C)</b>	<b>Paroi verticale Comble Plancher Toiture par le haut</b>
<b>Cellulose</b>	<b>Issue du recyclage du papier. Pose manuelle ou soufflée ou projetée</b>	<b>Traitement au sel de bore comme fongicide et répulsif insecte et feu</b>	<b>Paroi verticale Comble Plancher Toiture par le haut</b>

Figure 57 : Isolants écologiques

#### ▪ Ventilation

Le renouvellement de l'air est nécessaire dans les constructions car cela permet de remplacer l'air confiné, d'éliminer les fumées et les odeurs et ainsi procurer une sensation agréable des légers courants d'air. La ventilation peut servir efficacement à climatiser mais elle est tout aussi indispensable pendant les périodes de chauffage. Le pouvoir rafraichissant de la ventilation dépend de la direction et de la vitesse des courants d'air.

Pour faciliter la ventilation d'un local, il y a lieu de placer l'entrée et la sortie de l'air sur deux façades opposées ou à la rigueur adjacente. Le débit d'air pénétrant à travers un ouvrant a son efficacité maximum lorsque la direction du vent ne s'éloigne pas plus de 30° du plan de cette ouverture. Quant à la sortie, il faudrait prévoir des ouvertures plus grandes. C'est cette dissymétrie qui va créer un effet d'aspiration maximale.<sup>107</sup>

#### *Systeme double flux*

Grace à un échangeur de chaleur entre l'air du bâtiment et l'air frais, on réchauffe l'air frais avec la chaleur de l'air évacué, sans mélanger les flux. De cette manière, on peut récupérer jusqu'à 90%

<sup>107</sup> WRIGHT David, « Manuel d'architecture naturelle », ed Parenthèses, 2004, p190

des calories extraites, à condition que l'immeuble soit étanche à l'air, car tout l'air neuf entrant doit passer par l'échangeur de chaleur.<sup>108</sup>

Par ailleurs ce système permet une filtration des polluants provenant de l'extérieur et élimine les problèmes de bruit liés aux ouvertures.

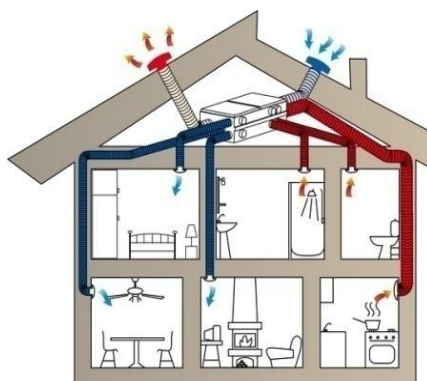


Figure 58 : Système double flux

### *Puits canadien*

Puits canadien ou puits provençal, il permet de réduire la température de 5 à 8°C en période de canicule, avec une consommation électrique dérisoire. Il diminue aussi la consommation de chauffage en hiver. C'est un système géothermique de surface basé sur le simple constat que la température du sol à 2m de profondeur est à peu près constante (17°C l'été et 4°C l'hiver). Il sert surtout de climatisation naturelle mais son isolation nécessite une étude et implique des travaux de terrassement importants.<sup>109</sup>

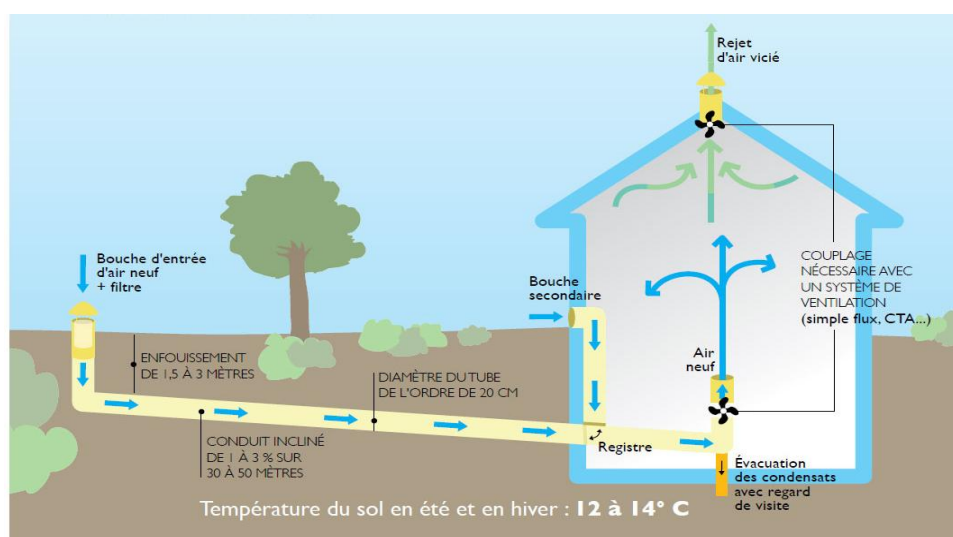


Figure 59 : Fonctionnement du puits canadien

### ▪ Chauffage

Le chauffage représente un poste important de consommation. Mais dans un bâtiment basse consommation il peut représenter de 20 à 30 kWh/m<sup>2</sup>.an dans les zones climatiques les plus

<sup>108</sup> AITF et EDF, « Guide bâtiments basse consommation », p10

<sup>109</sup> Ibidem, p10

froides mais devient très faible en zone méditerranéenne où il peut être inférieur à 5 kWhep/m<sup>2</sup>.an. Répondre à un besoin de confort tout en réduisant la consommation revient à sélectionner les meilleures technologies présentes sur le marché tout en privilégiant les sources d'énergie renouvelables. Dans le cadre de la basse consommation, une des techniques suivantes pour la production de chaleur sera utilisée<sup>110</sup> :

1. La chaudière à condensation au gaz ou au fioul : grâce à la récupération de la chaleur latente rejetée par les produits de combustion, son rendement dépasse les 100 %, à condition que les émetteurs fonctionnent à basse température.
2. La pompe à chaleur ayant un COP annuel (coefficient de performance moyen) supérieur ou égal à 3,5. Avec le prélèvement de chaleur à l'extérieur (air, eau, sol) et la restitution au sein du bâtiment par un système d'émission basse température, elle offre différentes solutions en fonction de l'emplacement du projet.
3. La chaudière à bois automatisée de classe 3 utilise une énergie renouvelable. Elle offre, via son système automatisé, une garantie de combustion régulée et optimisée suivant les besoins. En collectif, du fait de la faible efficacité à faible charge, on pourra associer un autre système ayant une plus grande capacité de modulation de puissance.
4. Le chauffage solaire, combinant des panneaux solaires et un système de stockage (ballon sur-isolé ou dalle épaisse) à une émission basse température, permet de couvrir 30 à 60 % des besoins de chauffage. Il sera utilisé conjointement à un autre système.
5. Le raccordement à un réseau de chaleur utilisant des énergies renouvelables et/ou un système de cogénération (production simultanée de chaleur et d'électricité).
6. Le chauffage électrique direct pourra être parfois envisagé en zone méditerranéenne modulo un effort particulièrement important sur les autres postes en particulier sur l'isolation pour obtenir un bâtiment passif.

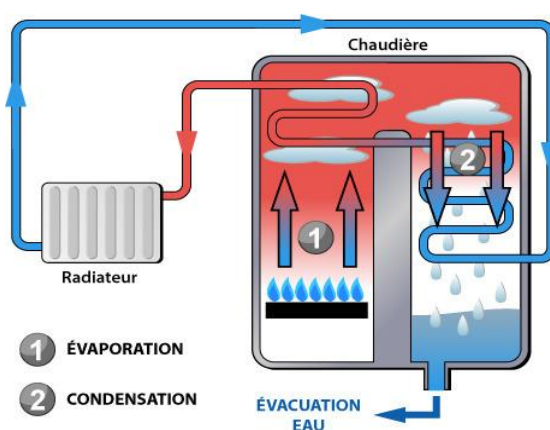


Figure 60 : Fonctionnement de la chaudière à condensation

#### ▪ Eclairage

<sup>110</sup> EFFINERGIE, « Réussir un projet de bâtiment basse consommation, des clés pour des logements neufs confortables et économes en énergie », P21

L'éclairage représente en moyenne 10 à 15% de la facture totale d'électricité. Privilégier la lumière du jour en tant qu'élément de maîtrise des consommations d'électricité : elle constitue un apport gratuit d'éclairage, en plus du confort visuel qu'elle procure. Veiller toutefois, à ce que cet apport de lumière naturelle ne soit pas source d'inconfort en été, et prévoir des occultations extérieures sur les façades exposées au soleil. L'intégration de l'économie d'énergie dans le secteur de l'habitat nécessite aussi la diffusion de lampes économiques.<sup>111</sup>

Lampe basse consommation	Lampe classique à incandescence	Flux lumineux (Lumens)
9W	40W	400
11W	50W	550
15W	60W	700
20W	75W	900
23W	100W	1200

Figure 61 : Efficacité des lampes basse consommation

#### ▪ Ouvertures

Les ouvertures jouent un rôle important dans les relations du bâtiment et de l'occupant avec son environnement. Elles contribuent à la fois au :

1. Projet de vue : vers quelle partie du paysage s'ouvrir.
2. Projet thermique : quelle orientation et inclinaison à privilégier.
3. Projet de lumière naturelle : directe, diffuse, ou réfléchie.
4. Projet de ventilation : quelle place dans le circuit de ventilation.

Les ouvertures, particulièrement les fenêtres, sont donc des éléments majeurs de tout édifice qui doivent bénéficier de la plus grande attention des architectes.

Le rayonnement solaire traverse les surfaces vitrées pour atteindre directement les pièces. Il est alors accumulé sous forme de chaleur dans les parties massives de la construction. En hiver, la pénétration du soleil par les ouvertures assure une économie d'énergie. En été, elle peut avoir l'effet opposé s'il devient nécessaire de refroidir. L'orientation, l'inclinaison et la distribution des ouvertures sont des éléments décisifs dans la conception du projet. Sur le plan énergétique, l'orientation Sud est la plus favorable en hiver (rayonnement intense) et en été (rayonnement limité). L'inclinaison la plus efficace se situe entre 45° et 90°.<sup>112</sup>

La problématique des ouvertures réside dans l'équilibre entre réduction des fenêtres au Nord (problème de surconsommation en éclairage artificiel) et surdimensionnement des fenêtres orientées Ouest (risque de surchauffe). Cependant, des protections solaires extérieures permettent d'éviter l'excès de rayonnement et des stores intérieurs préviennent l'éblouissement et réfléchissant la lumière vers le plafond. Par ailleurs l'utilisation de protections fixes, telles que le pare-soleil ou

<sup>111</sup> NAIT Nadia, « La réhabilitation énergétique dans les logements collectifs existants, cas du climat semi aride de Constantine », mémoire de magistère, université Mentouri de Constantine, p78

<sup>112</sup> LIEBARD Alain et DE HERDE André, « Traité d'architecture et d'urbanisme bioclimatiques », ed Observ'ER, 2005, p67

le vitrage réfléchissant, implique une réduction des apports de lumière naturelle et des gains solaires en hiver.

Les protections solaires, sont tout corps empêchant le rayonnement solaire d'atteindre une surface qu'on souhaite ne pas voir ensoleillée. Leur but étant :

1. Réduire les surchauffes dues au rayonnement solaire.
2. Améliorer l'isolation en augmentant le pouvoir isolant des fenêtres.
3. Contrôler l'éblouissement.

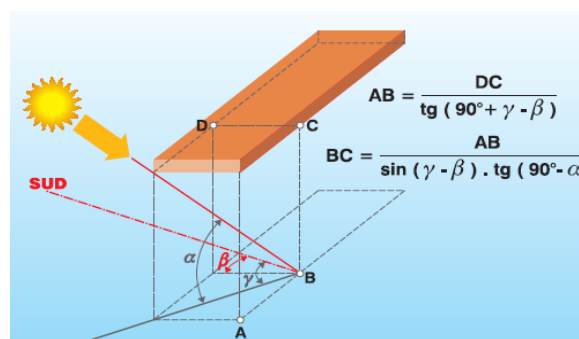


Figure 62 : Calcul géométrique d'un auvent pour une façade verticale

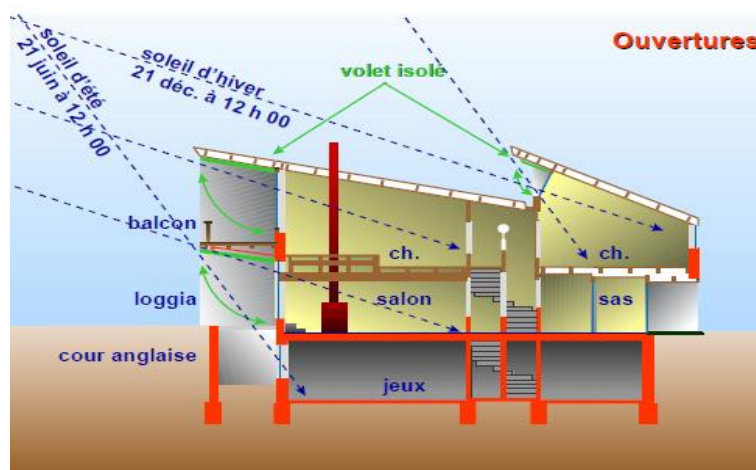


Figure 63 : Disposition et orientation des ouvertures en fonction du rayonnement solaire

#### ▪ Plantations et plans d'eau

La végétation joue un rôle protecteur sur les constructions environnantes. Haies et rangées d'arbres protègent le bâtiment du vent, et de l'excès d'ensoleillement en été. Si les espèces sont à feuilles caduques, l'ombrage qu'elles offriront en été se réduira en hiver pour laisser entrer les rayons du soleil. A cet égard il est préférable de choisir une espèce à large feuille, faisant peu de bois pour maximiser l'ombrage en été et minimiser le blocage du soleil en hiver. Même dépourvus de leurs feuilles, les arbres réduisent l'insolation effective de 20 à 40 %.

La végétation grimpante contribue également à réduire les pertes par convection au droit de l'enveloppe du bâti et améliore son comportement énergétique. La vapeur d'eau émise par évapotranspiration des feuillages permet de rafraîchir l'air ambiant. Par ailleurs la végétation filtre

la lumière naturelle. En effet la lumière diffuse assurée par une couverture végétale atténue les effets de réverbérations ou d'éblouissement dus à la présence d'ombre et de soleil.<sup>113</sup>

Le plan d'eau, quand à lui, permet de créer des microclimats et d'atténuer les variations journalières de température. L'eau trouve dans l'air ambiant la chaleur nécessaire pour passer de l'état liquide à l'état de vapeur. La température de l'air se voit ainsi réduite et l'humidité relative augmente. Pour maximiser cet effet, il convient d'augmenter la surface de contact air/eau. Par ailleurs, l'eau a souvent été utilisée pour ses capacités de stockage de la chaleur.

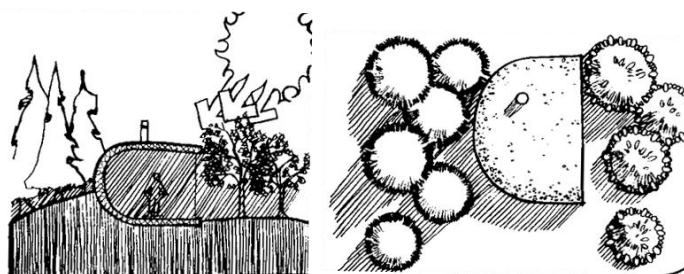


Figure 64 : Effets de la végétation sur le bâtiment

## Conclusion

La diminution des ressources fossiles et les pathologies des bâtiments anciens sont les deux principaux facteurs qui poussent à considérer des solutions dites « durables ». Une fois le diagnostic terminé, il est plus simple de faire ressortir des paramètres ayant une influence sur la performance énergétique des bâtiments.

C'est à partir de là qu'il est possible d'identifier des solutions et techniques d'éco-réhabilitation. La réduction des besoins énergétiques d'un bâtiment passe avant tout par la qualité de son isolation. Ainsi, l'isolation des parois reste la solution la plus intéressante et constitue un domaine de recherche très vague. La ventilation, l'orientation des ouvertures, l'utilisation du végétal et plans d'eau peuvent également participer aux réductions énergétiques et demeurent des solutions très appliquées.

<sup>113</sup> LIEBARD Alain et DE HERDE André, « Traité d'architecture et d'urbanisme bioclimatiques », ed Observ'ER, 2005, p77

# CHAPITRE III

« L'éco-réhabilitation de  
l'EX-HABITAT et sa  
reconversion en école  
d'architecture »

## Introduction

Le bâtiment du département d'architecture de Tizi-Ouzou « EX-HABITAT », construit en 1970 et d'une superficie d'environ 2,5 hectares, témoigne d'une époque révolue, qui ne portait pas une attention suffisante à la consommation énergétique.

Dans un contexte de nouvelles normes environnementales pour les bâtiments et de nouvelles pratiques pédagogiques, nous souhaitons adapter son bâtiment pour répondre aux enjeux futurs de protection de l'environnement et de durabilité.

Partant de cet état des faits et avant d'entamer toute conception, il semble primordial de procéder à un diagnostic du bâtiment, tout en passant par l'analyse de son environnement immédiat. Ce chapitre montrera étape par étape les dispositions appropriées à prendre en compte dans le processus conceptuel architectural.

## I. Analyse du contexte

### I.1. Echelle urbaine

Située dans la Kabylie du Nord algérien, Tizi-Ouzou recouvre une superficie de 10 236 hectares pour une population de 140 952 habitants. 88km la sépare d'Alger la capitale. Elle est délimitée par l'Oued Sébaou à l'Est, par Oued Fali à l'Ouest, par le massif de Belloua au Nord et par le massif de Hasnaoua au Sud.<sup>114</sup>

Les coordonnées géographiques de la commune au point central de son chef lieu valent respectivement 36° 43' 00" Nord et 4° 03' 00" Est. La région culmine à 200m d'altitude et est encerclée de montagnes.

D'un point de vue géologique, on peut citer trois types de formations, à savoir : les formations alluvionnaires (sable, gravier et argile aux bords du Sébaou, les formations de roches magmatiques et métamorphiques et les formations sédimentaires (marnes et grès).

La ville est alimentée en eau grâce au barrage de Taksebt, qui à son tour, est alimenté par les eaux de pluie et de fonte du manteau nival du Djurdjura. Situé à Oued Aissi, ce barrage comprend une station de traitement d'eau, une station de pompage et des tunnels pour les canalisations.

La région de Tizi-Ouzou présente un régime pluvial de type HPAE (Hiver, Printemps, Automne et Été), la saison la plus humide est l'hiver avec 42,81% des précipitations moyennes annuelles soit 321 88 mm. La quantité de pluie reçue en automne et au printemps est relativement équilibrée, respectivement 27,61% et 27,24%. En été elle n'excède pas les 2,33%, soit 17,51 mm. En raison de la présence du barrage de Taksebt et de l'ouverture de la ville sur différentes cotes littorales, son humidité relative est souvent supérieure à 50% tout au long de l'année.

---

<sup>114</sup> SBARGOUD Abdellah, « Diagnostic environnemental de la gare routière », mémoire d'ingénieur d'état en écologie et environnement, 2009, UMMTO

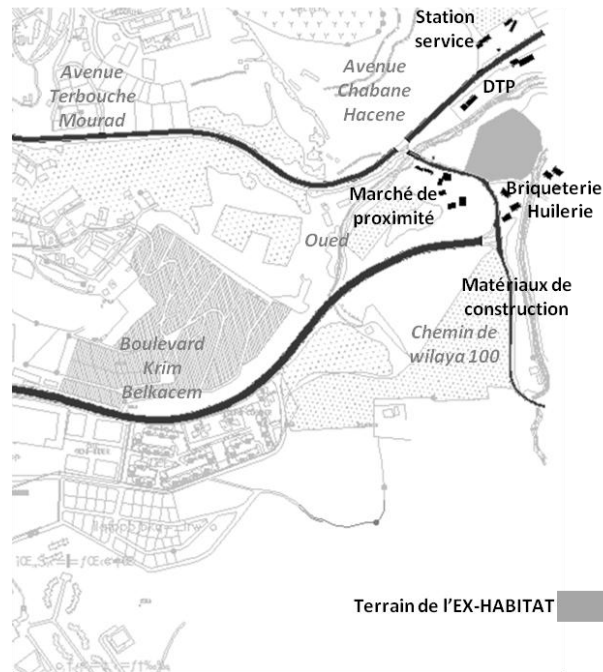


Figure 65 : Situation de l'EX-HABITAT

## I.2. Echelle de la parcelle

### I.2.a. Morphologie



Figure 66 : Vue d'ensemble de la parcelle d'intervention

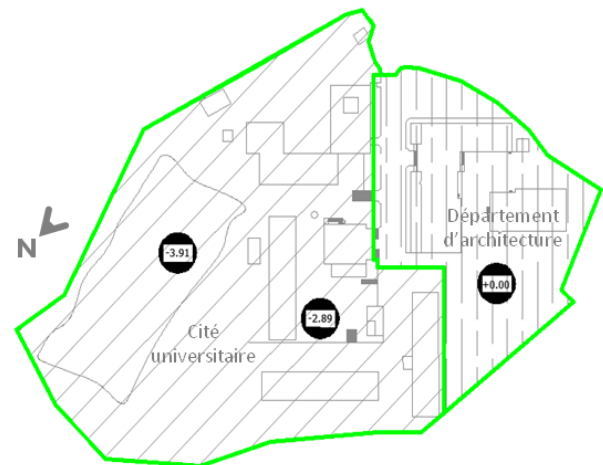
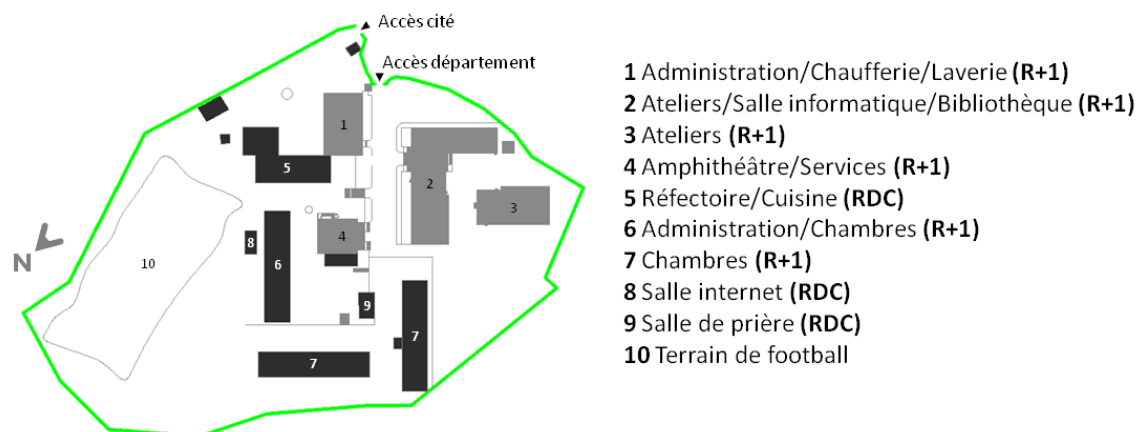


Figure 67 : Vue en plan des différents niveaux

La parcelle d'intervention, d'une superficie totale de 24 614m<sup>2</sup>, est de forme irrégulière caractérisée par des différences de niveaux allant de 2,89m à 3,91m. La dénivelée marque la séparation entre le département d'architecture et la cité universitaire. Le tout est composé de 8 blocs, 7 niches et un vaste terrain vierge.

L'attribution des fonctions se fait comme suit :



### I.2.b. Végétation

La présence du végétal constitue un trait essentiel du site. En plus d'apporter de l'ombrage, l'ensemble des arbres et plantes sert à délimiter certains espaces, structure des façades, habille des coins, protège des vents dominants et crée un microclimat propre à la parcelle. Le site, étant un verger auparavant, abrite une végétation diverse et luxuriante : sapins, pins, trembles, palmiers, arbres à feuilles caduques, arbres fruitiers, arbustes, buissons... Le tout créer une dynamique et un certain confort visuel.



Figure 68 : Vues sur les différentes espèces végétales

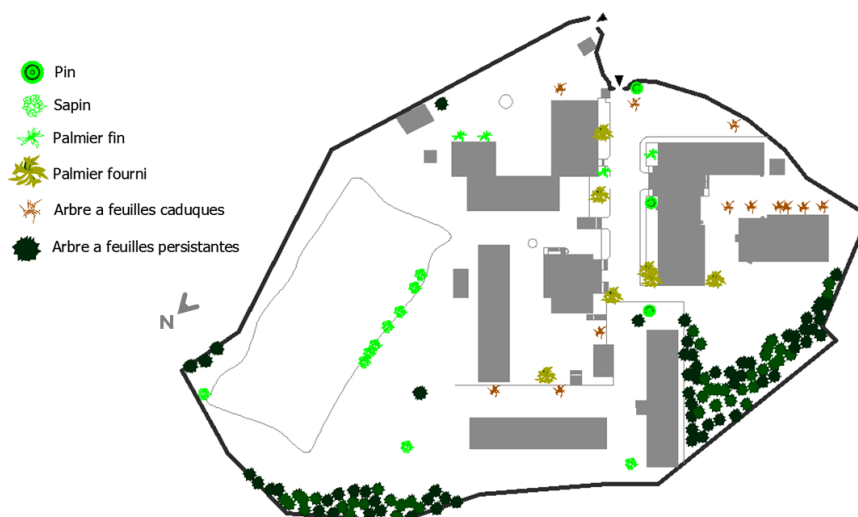


Figure 69 : Positionnement des différents arbres



## Printemps/Automne



## Hiver



## I.2.d. Vents

Le vent est l'un des éléments les plus caractéristiques du climat, malheureusement l'observation et l'étude posent le plus de difficultés. Au sol, il est fortement influencé par les conditions topographiques locales. Selon Seltzer (1946), la force des vents est estimée par une échelle télégraphique et varie de (0 à 1) pour un vent calme. La vitesse moyenne des vents n'excède pas 2,3 m/s et en référence à l'échelle de Beaufort (1805), les vents de la région de Tizi-Ouzou sont de degré deux (air avec une brise légère).<sup>116</sup>

MOIS	Vitesse	Direction
Janvier	1,3	SW
Février	1,3	W
Mars	1,6	W
Avril	1,8	SSW
Mai	1,9	W
Juin	2,3	NW
Juillet	2,2	NNE
Aout	2	SSE
Septembre	1,6	WNW
Octobre	1,4	WNW
Novembre	1,4	SSW
Décembre	1,5	W
Moyenne annuelle	1,7	W

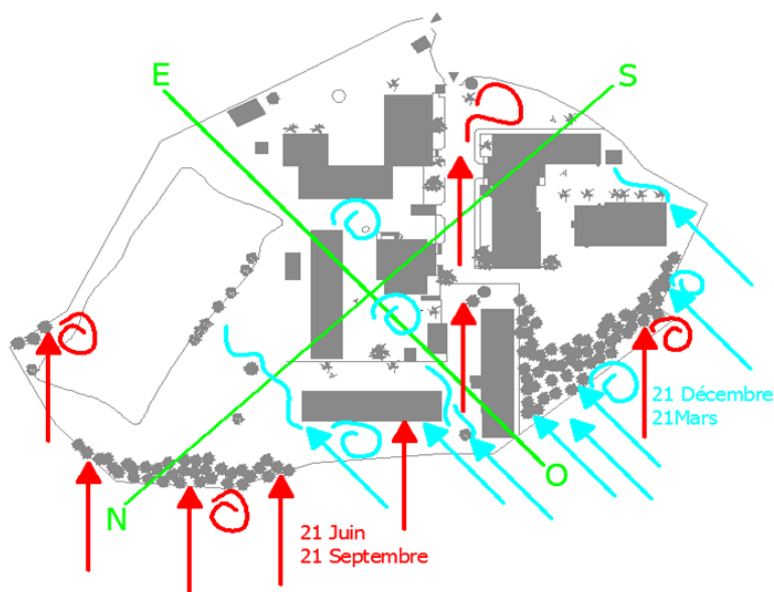


Figure 71 : Vitesse moyenne et direction des vents dominants pour la région de Tizi-Ouzou entre 1990 et 2006

<sup>116</sup> Station ONM de Boukhalfa

### I.3. Echelle du bâtiment

#### I.3.a. Domaine historique

Dans les années 70, le secteur du bâtiment était en pleine expansion en Algérie et avait grand besoin de professionnels. C'est alors qu'émergèrent des politiques de formation qui incitèrent la création de centres propices à l'apprentissage. L'«EX-HABITAT», auparavant Centre de Formation Professionnel de Techniciens de l'Habitat et de l'Urbanisme (CFPTHU) fut inauguré dans les années 1976-1978 sur un site exproprié, par le Ministère de l'Habitat, pour cause d'utilité publique.<sup>117</sup>

Pendant ce temps, l'enseignement de l'architecture faisait ses débuts à Oued Aissi. Pour des raisons d'instabilité, la filière universitaire fut transférée à Hasnaoua I dans les années 1989 pour se retrouver enfin à l'«EX-HABITAT». L'infrastructure répondait parfaitement aux exigences des promotions, limitées à 460 étudiants. La résidence universitaire était destinée uniquement aux étudiants en architecture et en médecine. Le réfectoire suffisait à tous les usagers et les enseignants avaient leur propre salle à manger. Les lieux étaient salubres et entretenus par un personnel expérimenté.

Vers la fin des années 1991, on créa la boulevard Krim Belkacem. L'unité pédagogique était désormais moins isolée, séparée et rapprochée en même temps de l'urbain. C'est alors que le CFPTHU devient « Institut d'Architecture ». Avec l'urbanisation excessive des années 2000 et la densification des transports, l'accessibilité et les services de nécessité furent améliorés. L'«EX-HABITAT», devient à nos jours «Département d'Architecture» rattaché à la Faculté du Génie de la Construction.<sup>118</sup>

#### I.3.b. Domaine social

Ancré dans un site magnifiquement boisé, l'«EX-HABITAT» profitait d'une végétation abondante. Un cadre et une atmosphère agréables régnaient. On y installa des aménagements tout au long des circulations et des halls. Ces espaces favorisaient les rencontres. Le patio du bloc A, très pratiqué par les étudiants et enseignants, est l'exemple le plus démonstratif. Ces représentations exprimaient une identité du site et une culture du lieu. En effet, le bâtiment était porteur de pratiques propres à l'architecte. Les espaces de convivialité dictaient une manière d'être spécifique. Le département d'architecture de Tamda, par contre, ne reflète pas cette identité du lieu car il se fond dans un ensemble et donc, se dilue.<sup>119</sup>

#### I.3.c. Typologie et organisation spatiale

Le bâtiment se rattache à l'architecture moderne du XIX<sup>ème</sup> siècle. Sa forme simple et épurée avantage la fonction. Le bloc A en forme de « L » symbolise la transition entre fonctions pédagogiques et fonctions publiques. Les circulations sont privilégiées et il y a fluidité de l'espace.

---

<sup>117</sup> Entretien avec Mr TOUBAL.R, enseignant à l'UMMTO

<sup>118</sup> Ibidem

<sup>119</sup> Entretien avec Mr SALHI.M, professeur à l'UMMTO

Le hall du bloc A, lieu clé du bâtiment, distribue les différentes entités : il permet l'accès à la salle de lecture et ateliers, à la salle machine, au laboratoire et au bloc B. Ce dernier, positionné à l'extrémité, ne donne pas sur le hall pour laisser place à une perspective sur une cours végétalisée. Un long couloir de 19,50m permet la répartition linéaire des salles de part et d'autre.

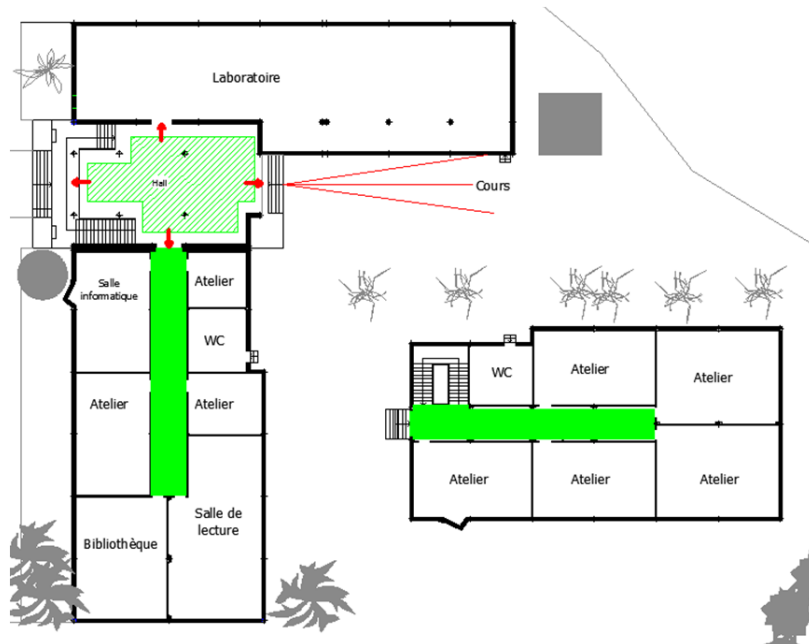


Figure 72 : (1) De la cours du bloc B vers le hall (2) Du hall vers la cours du bloc B (3) Bloc B à gauche, bloc A en face et à droite

Trois cours viennent structurer trois entités :

1. Cours structurant le bloc A et B du département d'architecture.
2. Cours structurant les services de la résidence universitaire.
3. Cours structurant les dortoirs.

Les clôtures entre le département d'architecture et la résidence universitaire, matérialisées en rouge, ont dénaturisé les circulations horizontales du lieu, matérialisées en vert. Tout comme l'accès aux sanitaires des blocs A et B, qui se font de l'extérieur, n'incitent pas les usagers à vivre l'espace boisé s'offrant à eux.

### I.3.d. Traitements de façade

Les façades expriment une horizontalité marquée par le traitement du couronnement et les successions de fenêtres aux dimensions identiques (2x2m) faisant penser à une longue ouverture en bandeau. Des éléments linéaires viennent ensuite marquer la verticalité des arbres et le module de base utilisé pour les fenêtres. Les arbres contribuent à la structuration de la façade principale du bloc A : deux bacs comportant chacun plantes, arbre fruitier (bananier) et arbustes, habillent le seuil et délimitent l'entrée, tandis que le pin à hauteur phénoménale met l'accent sur la séparation de deux entités (la partie droite du bloc A est une reprise du bloc B).

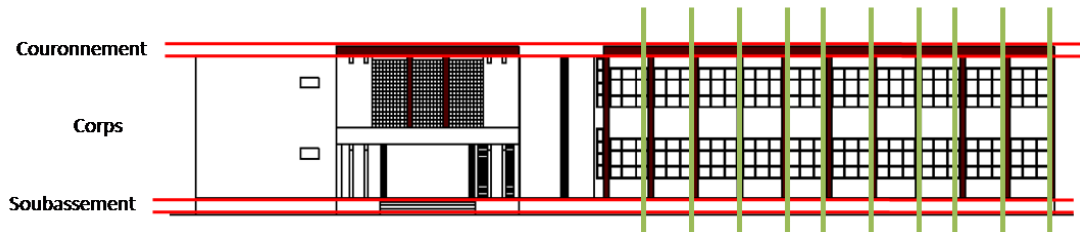


Figure 73 : Façade principale du bloc A

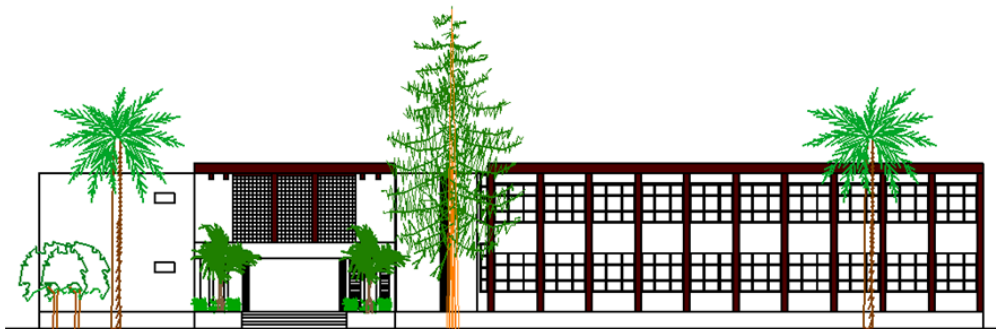


Figure 74 : Végétation structurant la façade de bloc A

### I.3.e. Systèmes constructifs et matériaux

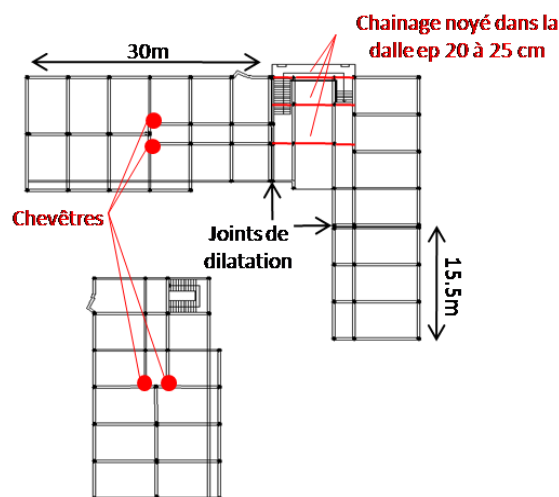


Figure 75 : Structure du bloc A et B

La structure est réalisée en béton armé avec un système poteau-poutre de (30x30) cm<sup>2</sup> en majorité. La trame varie en fonction des portées et charges à supporter. Deux murs porteurs soutiennent le palier de l'escalier du bloc A. Deux joints de dilation sont mis en œuvre à 30m et à 15,5m de part et d'autre du bloc A, ce qui donne 3 entités.

La salle de réunion du bloc administrative était auparavant un patio, c'est ce qui explique sa couverture extrudée réalisée en ciment d'amiante. Ce dernier est constitué d'un complexe de fibres d'amiante dispersées dans un liant hydraulique. Ces fibres d'amiante libérées engendrent de graves maladies, c'est pourquoi, des précautions spéciales doivent aussi être prises lors de la manipulation de ce matériau.

### I.3.f. Dégradations observées



De gauche à droite on remarque: des mousses due à l'humidité et au développement de micro-organismes qui produisent des acides organiques responsables des salissures en façades; la dégradation du revêtement des murs intérieurs de l'amphithéâtre fait de carreaux en plâtre liés à de la laine de verre; un faïençage sur les façades; des décollements d'enduits sur les murs et plafonds.



Notons également, de gauche à droite: l'état insalubre des couloirs non conformes à un établissement scolaire; la dégradation des menuiseries complètement décadées; l'apparition de

traces de mur démoli et mal camouflé; présence de traces d'aménagement extérieurs non entretenus.

### I.4. Constat et diagnostic

Le manque de moyens ne nous a malheureusement pas permis d'établir de diagnostic technique (thermographie du bâtiment, tests d'étanchéité à l'air, diagnostic acoustique, analyse de la qualité de l'air...), nous avons cependant procédé au diagnostic d'usage dans lequel nous avons pu dégager les besoins suivants :

1. Au niveau de la pédagogie : atelier maquette, labo de recherche, labo photo, matériauthèque, grands amphithéâtres, vidéothèque et grande bibliothèque.
2. Au niveau du fonctionnement : repenser l'accès à l'Ecole, donner plus de visibilité aux espaces extérieurs de l'Ecole (patios et espaces verts) porteurs de convivialité.
3. Concernant l'environnement : l'absence de poubelles de tri à proximité des bâtiments est un problème, les espaces verts de l'Ecole pourraient être plus utilisés tout comme les potentialités solaires du site.

#### ▪ Points forts et atouts du bâtiment

1. C'est un espace ouvert avec patios, il est donc lumineux.
2. Il y a une volonté de vivre ensemble : étudiant, enseignants et membres du personnel sont localisés dans un espace bien identifié. Ce croisement des flux enseignants/étudiants est un point fort à conserver.
3. Il y a une volonté de vivre avec la nature : le lieu est entre le dedans et le dehors par son aspect fragmenté, la végétation est abondante et luxuriante.

#### ▪ Points durs et contraintes

D'une manière générale, les abords de l'école et les espaces extérieurs posent quelques problèmes :

1. Le parking est peu vaste.
2. La façade de l'établissement n'a pas de lien avec la vocation environnement.
3. Les cours sont sous-utilisées.
4. Il n'existe pas d'espace de démonstration ou de vitrine technologique pour mettre en avant les savoirs faire de l'Ecole et la Recherche.
5. Il y a un déficit au niveau des fonctions, la disponibilité de nouveaux espaces est donc souhaitée, surtout que les ateliers sont en nombre insuffisant.
6. D'autre part, le confort thermique dans l'établissement est à revoir : il fait trop chaud dans les salles exposées sud, trop froid dans les salles exposées nord.

## II. Programme spatial

Fonctions	Sous-fonctions	Nombre	
<b>ADMINISTRATION</b>	Direction	1	
	Secrétariat de direction	1	
	Secrétariat général	1	
	Comptabilité	1	
	Moyens généraux	1	
	Ressources humaines	1	
	Service informatique	1	
	Communication	1	
	Archives	1	
	Pédagogie	1	
	Scolarité	1	
	Salle de réunion	1	
	Information	1	
	Bureaux divers	1	
	Salle d'attente	1	
Sanitaires	2		
<b>PEDAGOGIE</b>	Bureaux enseignant	6	
	Salles de cours	Salle TD	13
		Salle informatique	2
	Amphithéâtre	2	
	Ateliers de conception	36	
	Laboratoires	Labo de recherche	1
		Labo photo	1
	Ateliers maquette	Découpage	1
		Soudure	1
		Montage	1
		Stockage	1
<b>CONSOMMATION</b>	Cafétéria	Comptoir	1
		Terrasse	1
		Sanitaires	1
	Restaurant	Cuisine	1
		Congélation	1
		Chambre froide	1
		Vestiaire	2
		Réfectoire étudiant	1
		Réfectoire enseignant	1
	Sanitaires	1	
<b>LOCAUX TECHNIQUES</b>	Chaufferie	1	
	Poste transformateur	1	
	Local poubelle	2	
	Local ménage	2	
<b>DIVERS</b>	Salle d'exposition	1	
	Librairie	Reprographie	1
		Service de vente	1
	Infirmierie	Salle d'attente	1
		Bureau médecin	1
		Salle de soins	1
	Bibliothèque	Pole Architecture	1
		Pole Urbanisme	1
		Pole Construction	1
		Pole Histoire	1
		Pole Sociologie	1
	Vidéotheque	1	
	Matériauthèque	1	
	Loges	3	
	Sanitaires collectives	2	
Cours	4		
Parking	2		

### III. Esquisse du projet

#### III.1. Schéma de structure

1/ L'accessibilité a été l'élément premier qui a attiré notre attention. En règle générale, elle désigne la qualité de ce qui est accessible, c'est-à-dire ce qui permet l'accueil de personnes. Dans notre cas, l'accessibilité à partir de la W100 est non seulement indirecte mais aussi insuffisante pour un établissement recevant du public. En effet, les deux accès existants ne répondent pas aux exigences sécuritaires car ils sont mitoyens, qui plus est, l'entrée principale actuelle donne sur un couloir de 10m de large ne pouvant accueillir 1500 étudiants. De plus, un flux important est concentré au niveau de l'accès indirect car il partage également le chemin menant à la briqueterie fraîchement établie.

2/ L'axe en rouge marque la limite de la différence de niveau. De ce fait, nous aurons une partie du projet en amont et une partie en aval. La partie en amont étant exposée au chemin wilayal, comportera les activités interactives (administration, exposition, librairie, café...), tandis que la partie en aval, étant en retrait et donc isolée de toute nuisance sonore, comportera les fonctions pédagogiques (ateliers, amphithéâtres, laboratoires...)

3/ Les arbres en périphérie du stade actuel forment un alignement qui pourrait offrir une nouvelle direction au projet.

4/ Le rayonnement solaire est abondant dans la partie Sud de la parcelle. Son exploitation et son optimisation peut réduire de moitié la consommation énergétique en termes d'éclairage et de chauffage. Il serait alors judicieux d'orienter les bâtiments Sud ou Sud-est, en fonction des usages.

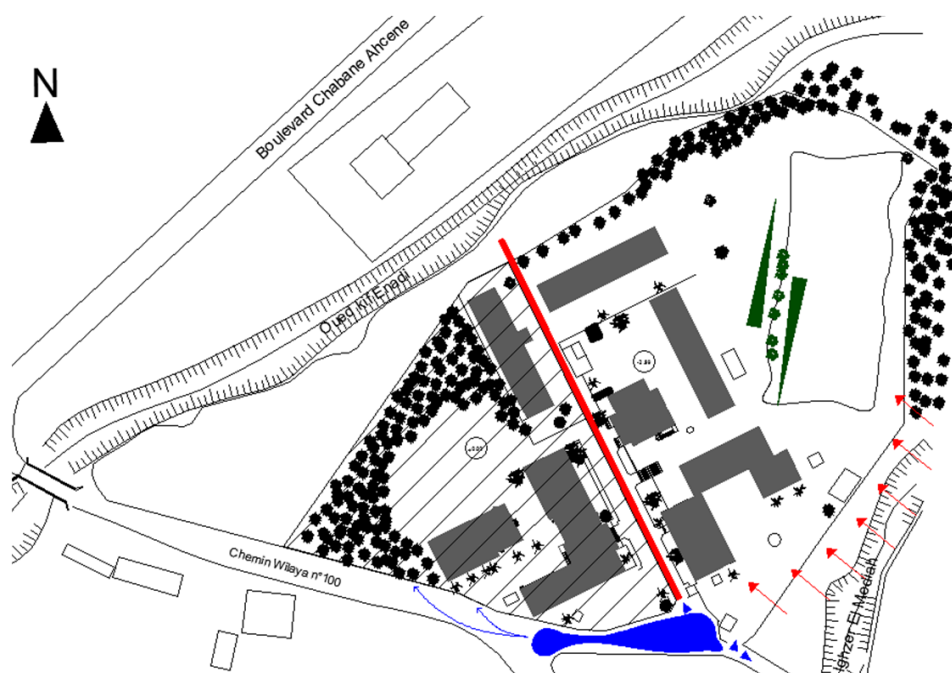
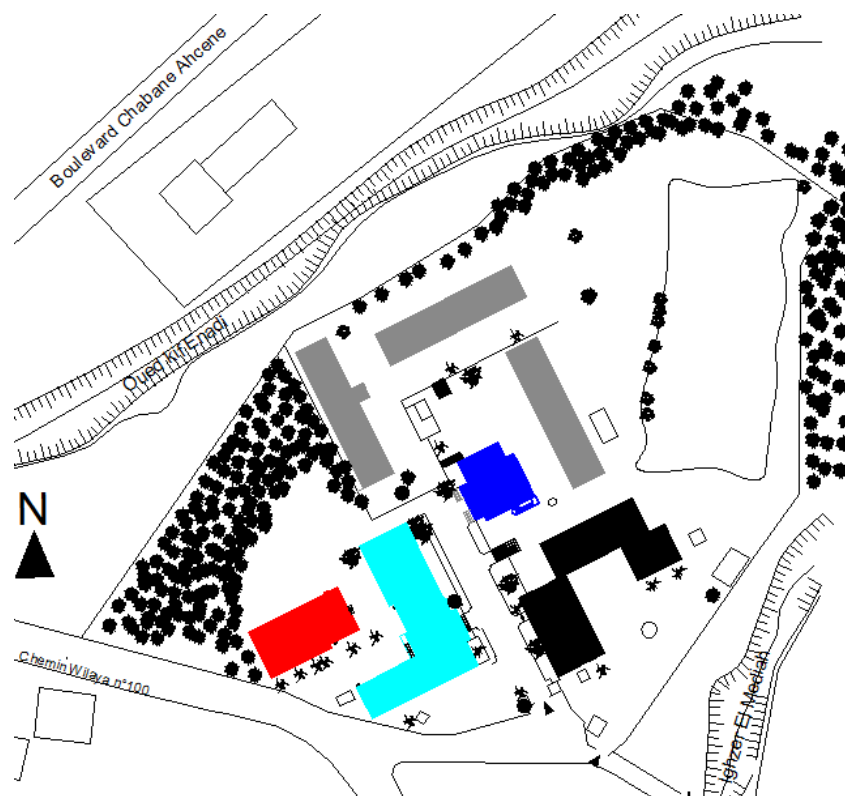


Figure 76 : Schéma de structure

## III.2. Schéma d'organisation



Après l'élaboration du programme spatial nous avons dégagé les principales fonctions ainsi que les fonctions complémentaires à additionner pour avoir un projet intégral. Nous comptons projeter en premier lieu les activités principales de l'école d'architecture sur le bâti existant.

**Administration** : l'ancien bloc B sera reconverti en bloc administratif pour sa position à proximité de l'entrée principale, car nous jugeons que les fonctions s'exerçant dans une administration sont en relation avec le public (renseignements, inscriptions, recrutements...). De plus, la structure de l'ancienne administration ne s'adaptera pas aux nouvelles exigences quantitatives (corps administratif et personnel plus important). Le bloc B a donc été la solution la plus intéressante.

**Ateliers conception** : Les ateliers de conception sont en supériorité numérique par rapport au reste des espaces car ils représentent la fonction de base d'une école d'architecture. L'idéal serait donc de les inscrire dans une structure similaire comme celle des trois dortoirs actuels. Ces derniers s'organisent sur une même typologie qui se répète trois fois. Il est donc judicieux de reconvertir ces dortoirs en ateliers de conception pour créer un langage et une lecture architecturale exprimant l'usage. Une telle conception, engendre des avantages en termes d'économie, de facilité de mise en œuvre et de rapidité.

**Vidéotheque**: L'amphithéâtre existant ne recouvre que 270 m<sup>2</sup> pour 80 places, ce qui est trop insuffisant pour des sections de 150 étudiants ou des regroupements d'assemblées générales. Notre démarche d'éco-réhabilitation ne nous permet pas de déconstruire le bâti existant pour étendre sa surface mais plutôt d'adapter le contexte à d'autres usages si nécessaire. C'est pourquoi

nous proposons de récupérer l'ancien amphi en vidéothèque qui servira à la projection de films documentaires ou autre.

**Laboratoires/Matériauthèque:** Comme la résidence universitaire sera supprimée du projet, le foyer en dessous de l'amphi ne sera plus utile dans un établissement scolaire. Un foyer abrite des fonctions de divertissement. A la place, un laboratoire de recherche, un labo photo et une mathériauthèque vont accompagner les espaces pédagogiques déjà implantés (ateliers de conception et vidéothèque).

**Salles de cours:** Le bloc A, qui recouvre sur 175m<sup>2</sup> une petite bibliothèque sera reconverti en salles de cours à proximité de l'administration. Leur position stratégique permet la relation entre les ateliers et la scolarité.

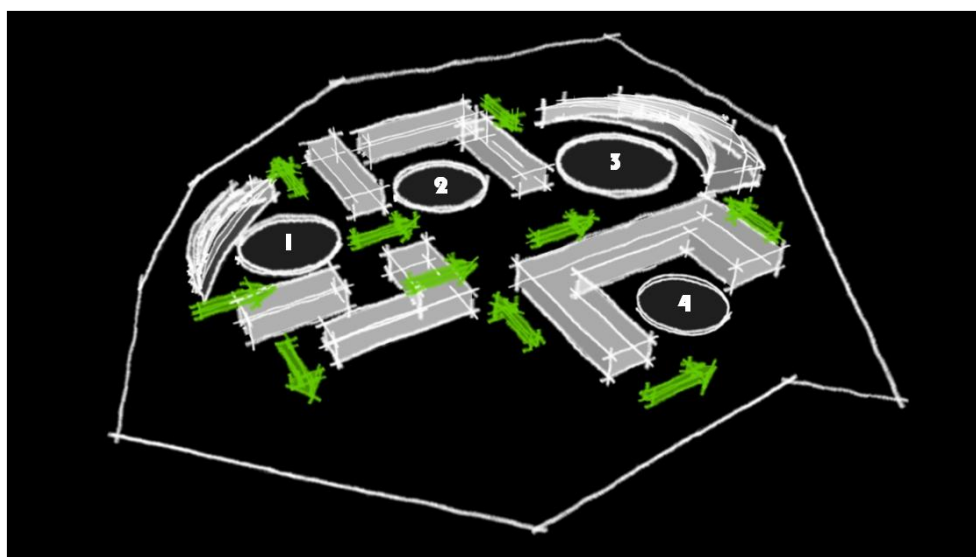
**Restaurant:** L'ancienne cuisine sera conservée pour des raisons d'installation, tandis que le réfectoire connaîtra un prolongement en direction de la lingerie et la chaufferie. En dessus, nous relierons la partie restauration à une cafétéria afin de regrouper en une seule zone les fonctions de consommation.

▪ **Constat :**

Le bâti existant, dans sa totalité, a été investi. Cependant, plusieurs fonctions n'ont pas encore été assignées (amphithéâtres, bibliothèque, ateliers maquette, salle d'exposition, librairie...). Nous sommes donc confrontées à ce souci de flexibilité et d'évolutivité de l'espace. Notre réflexion doit donc répondre partiellement à la problématique spécifique en termes de besoins quantitatifs et de mariage des temporalités bâties.

L'espace bâti actuel est saturé, nous sommes dans l'obligance d'ajouter à l'ensemble existant d'autres structures que nous décrirons comme suit à travers la formalisation du projet d'extension.

### III.3. Concepts

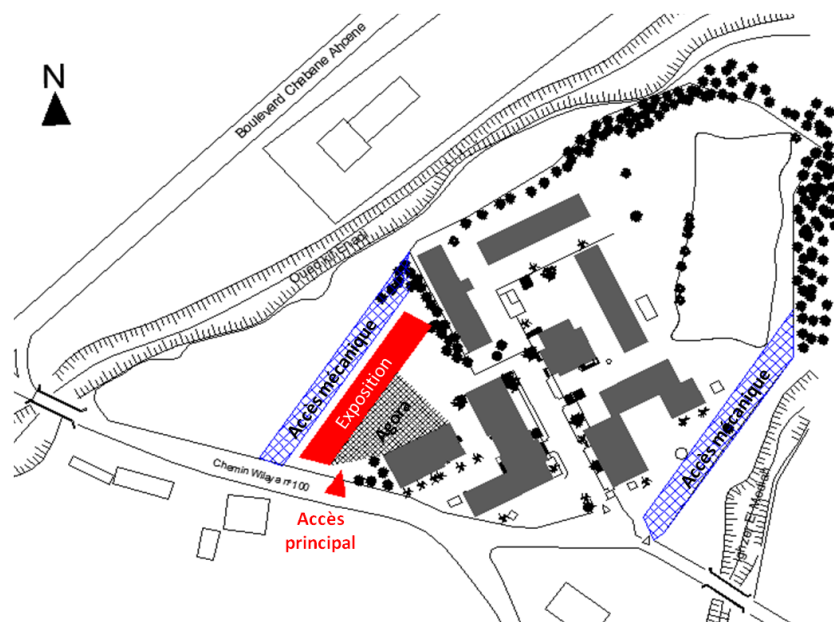


- **Perméabilité** (rester dans l'esprit pavillonnaire)
- **Fluidité** (dégager les circulations)
- **Ouverture sur cour** (incitation à la convivialité et au dialogue)
- **Horizontalité** (développement en largeur non en hauteur afin de ne pas excéder le R+2 et ainsi rester à échelle humaine)
- **Déstructuration de la linéarité** (en intégrant des formes épousant les traits aléatoires et irréguliers du site)

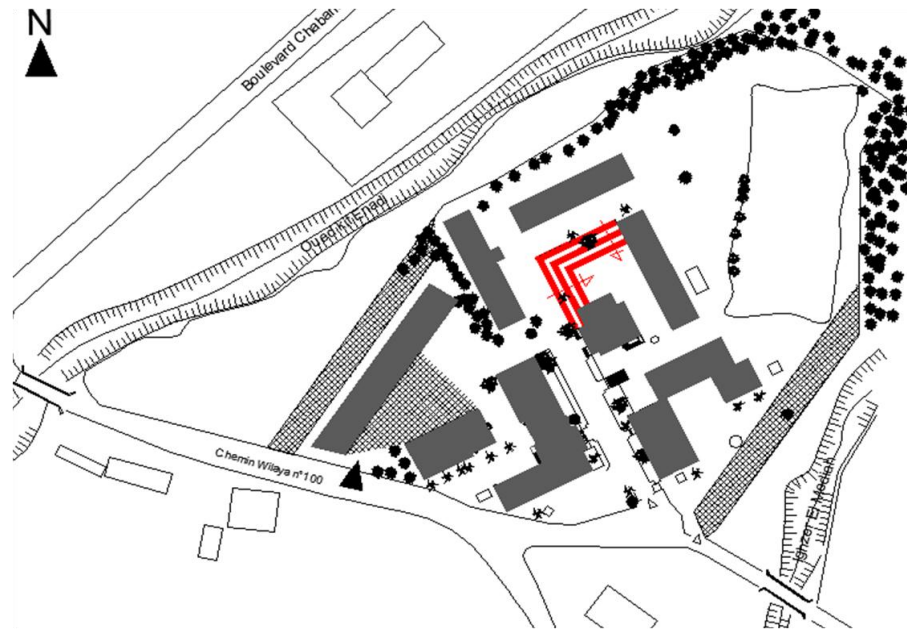
« Le projet doit émaner de son contexte tout comme l'arbre se développe pour façonner son paysage. »

### III.4. Formalisation du projet d'extension

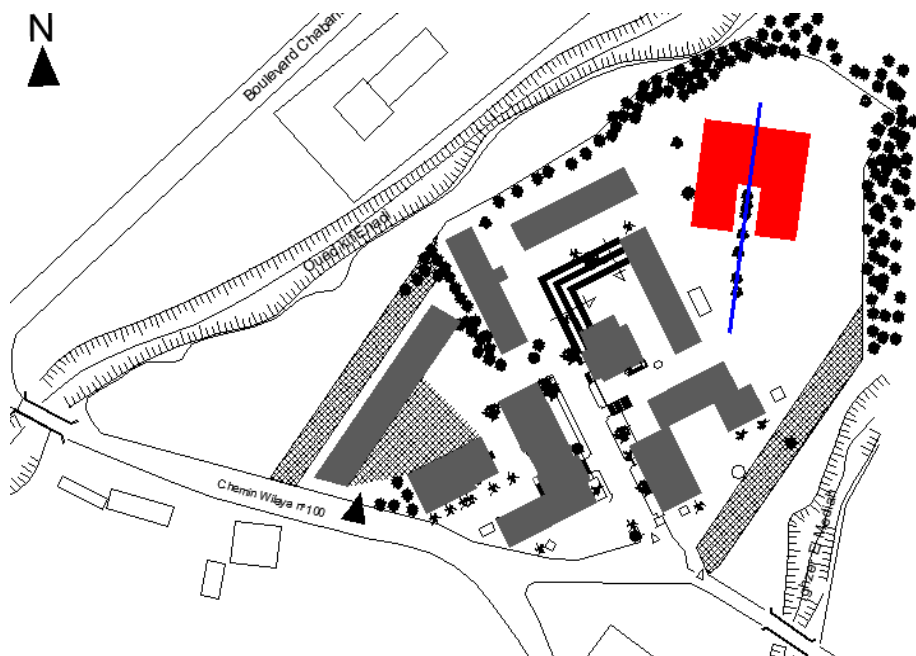
1/ L'accessibilité : étant donné les problèmes liés à l'accessibilité actuelle, plusieurs possibilités s'offrent à nous sur l'axe du chemin wilaya. Le bloc B pouvant représenter un obstacle, l'unique solution était de se tourner vers l'extrême Ouest de la parcelle avec un accès principal donnant sur une agora géante, principal espace de rencontre et de discussion de la future école d'architecture. Pour mieux marquer le seuil d'entrée, ce dernier sera habiller d'une galerie qui aura pour principale vocation l'exposition et la mise en exergue des disciplines diverses relatives à l'architecture. Les circulations mécaniques périphériques longeront la parcelle et recevront les aires de stationnement.



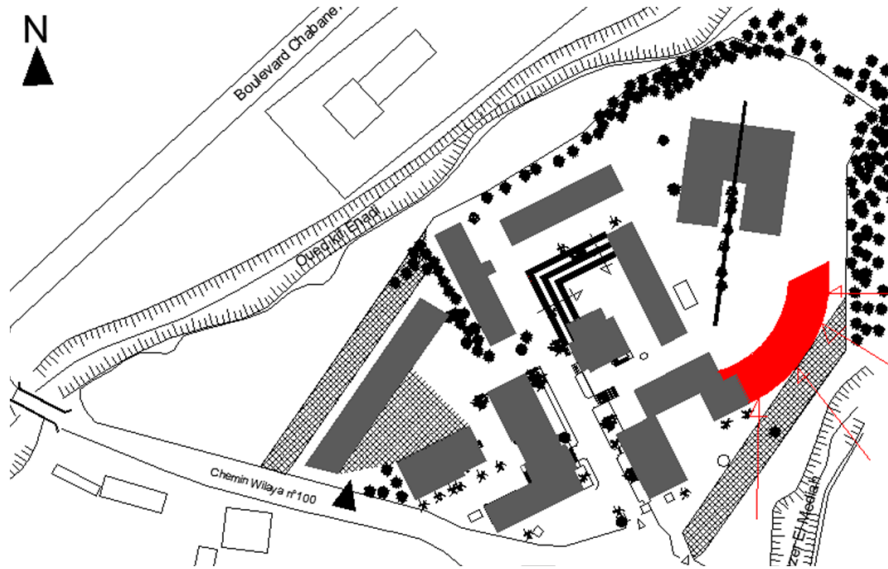
2/ L'axe : la transition entre partie haute et partie basse du projet sera matérialisée par une liaison en gradins à l'échelle de la parcelle. Ces derniers vont inciter les usagers à descendre sans qu'ils ne s'en rendent compte. Les clôtures séparant le département d'architecture de la résidence seront supprimées afin de mettre en interaction les deux entités mais aussi libérer la perspective de l'axe.



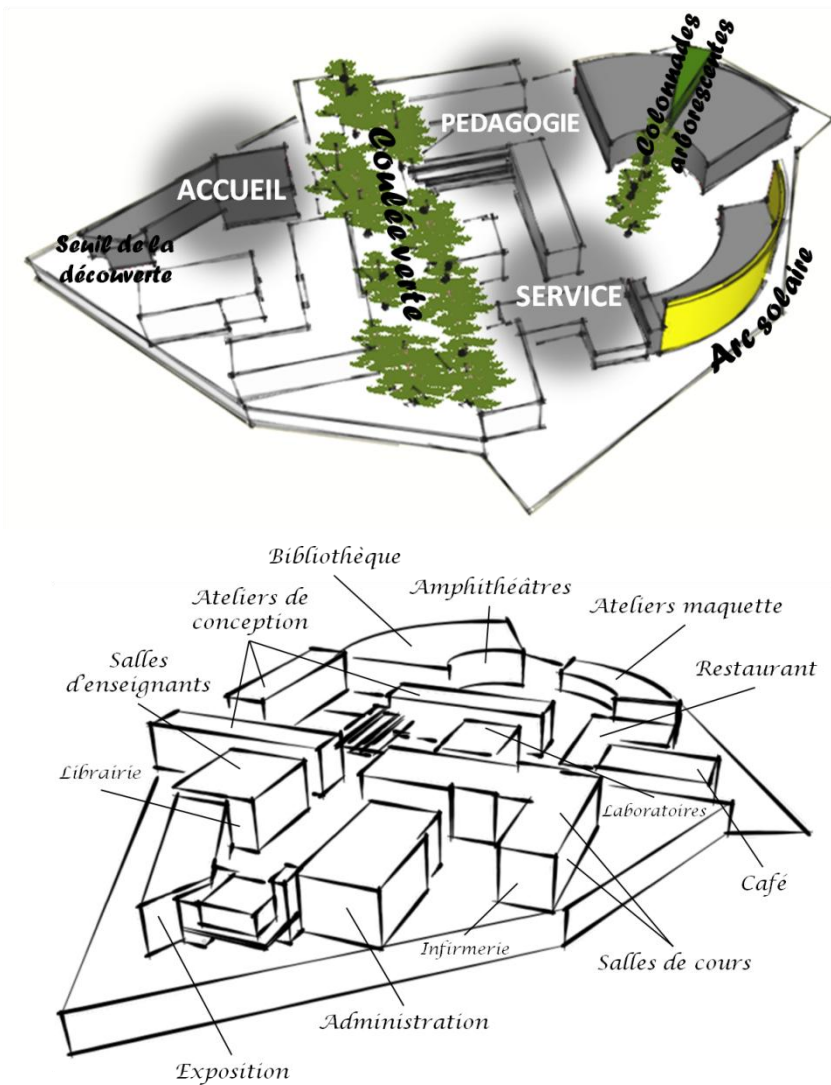
3/L'alignement des arbres : deux amphithéâtres seront implantés de part et d'autre de l'axe d'alignement, en symétrie par rapport à ce dernier afin de marquer la limite entre les deux bâtiments et de dégager des aires d'accueil de part et d'autre. Une bibliothèque au centre viendra unifier l'ensemble.



4/Au Sud-est de la parcelle seront implantés des ateliers maquettes en forme courbe ayant pour avantage l'interception du rayonnement solaire dans toutes les directions. Cette forme n'est que le résultat du demi-cercle ayant pour centre le milieu de la longueur du dortoir à proximité du réfectoire actuel.



### III.5. Image mentale



## IV. Projet

### IV.1. Présentation générale

Le projet de la nouvelle école d'architecture est ancré dans un site éloigné de 2km du centre ville, sur un vaste terrain déjà occupé par des bâtiments du XIX<sup>ème</sup> siècle dont le programme impose la conservation tout en augmentant les surfaces existantes de façon importante.

Le bâtiment isolé au milieu de quelques vergers régionaux, appartient au paysage magnifique des plaines arboricoles de la région.

Visible depuis l'arrivée des étudiants et enseignants, l'auvent en acier joue le rôle de signal ouvrant des perspectives sur l'accueil cadré par les colonnes en terre cuite de la galerie d'exposition et les murs enduits de chaux blanche du bloc administratif. Cet accueil est simplement matérialisé par une agora qui sera le lieu intermédiaire entre la rue et l'école. Une librairie vient habiller l'entrée tandis que les bureaux enseignants surplombent l'agora.

L'ancien « bloc A » en forme de L, se déploie sur ses deux niveaux abritant 13 salles de cours et deux salles informatiques soit un total de 15 salles, des cloisons ont été cassées pour agrandir les espaces. A ses deux extrémités sont logées l'infirmerie et la reprographie.

Le toit du réfectoire, à la hauteur du RDC de la vidéothèque, se transforme en café-terrasse dominant ainsi deux cours. Malgré la densification imposée par le programme, la construction originelle ne comptait pas suffisamment de salles. Nous avons trouvé important de conserver les espaces vides entre les différents pavillons d'où le parti-pris de construire en hauteur tout en essayant de garder l'esprit pavillonnaire. C'est ainsi que la silhouette surélevée de l'ancienne résidence universitaire domine toujours le site, mais la présence de coursives souligne le changement d'usage de la structure. Les étroites chambres de 4x4 m<sup>2</sup> ont alors été transformées en vastes ateliers de conception.

Un platelage en bois bordant les deux amphithéâtres, la bibliothèque et l'atelier maquette accentue la spirale formée par les colonnades dessinées en liaison avec la ligne d'arbres existante pour définir un espace extérieur autour duquel file un plan d'eau. Ces lignes courbes seraient le trait d'union entre l'ancien linéaire et le nouveau déstructuré épousant les irrégularités du site. Aux déviations, nous livrons donc une raison : « le projet doit s'intégrer dans le site ». Par conséquent, pour ne pas que l'établissement domine les alentours, nous avons choisi des figures discrètes, à faible élévation entourant des cours. L'implantation se fait dans le respect des végétaux existants et en cohérence avec le caractère calme, paisible et paysager.

Pour ce qui est de la coulée verte, un cordon botanique est déployé, remarquable par sa collection d'essences locales symbolisant la culture kabyle (chêne vert, houx, merisier, genévrier, pin noir...). C'est par les interactions biophysiques et biogéochimiques de ces végétaux avec l'atmosphère que la température et le régime des vents sont régulés créant ainsi un microclimat.

## IV.2. Fonctionnement du projet

La nouvelle organisation du bâtiment prévoit différents accès mécaniques et piétons. L'entrée principale, directement depuis la w100 donne accès à la cour d'accueil tandis que l'entrée secondaire depuis la piste offre une perspective sur la coulée verte.

Le programme spatial définit deux principales fonctions : l'accueil et la pédagogie.

Un espace d'enseignement, telles que les salles de cours, nécessite, pour des raisons acoustiques, un espace fermé, alors qu'un lieu de réception doit proposer au contraire un espace ouvert. Concilier ces impératifs d'utilisations contradictoires, entre le dedans et le dehors, fut l'un des enjeux du projet. C'est pourquoi, au niveau de la circulation, l'école se présente tel un parcours alternant constamment les transferts entre l'intérieur et l'extérieur renforçant le rapport primordial entre étudiants et nature. Pour conserver ce même principe dans les étages, nous avons opté pour des coursives extérieures implantées le long des façades. Certaines salles TD sont par contre accessibles par un corridor intérieur qui sert de filtre acoustique entre les différents espaces d'enseignement.

Sortir pour rentrer de nouveau, ne pas figer l'usager dans un même espace, inciter au mouvement et à la dynamique dans ce lieu aéré et respirant grâce à la déconcentration des flux sont les points clés du fonctionnement de l'établissement.

## IV.3. Confort et environnement

Ce projet se veut exemplaire, démonstratif, participatif et innovant. Il veut offrir une nouvelle qualité de confort à ses étudiants, ses enseignants et son personnel administratif, tout comme il veut réduire les consommations et les charges de gestion et de maintenance.

L'approche environnementale du bâtiment a donc été guidée par un double objectif, celui de baisser au mieux les consommations sans compensation d'énergie et celui d'assurer un confort maximal aux usagers.

Il faut noter qu'au-delà de la volonté de renforcer le rapport de l'usager à la nature, les coursives et les déplacements extérieurs contribuent à alléger les frais d'exploitation de la construction, car en sortant toutes les circulations, 1/3 du volume n'a pas besoin d'être chauffé et isolé. Outre cet aspect capital, les objectifs sont atteints par :

### IV.3.a. La création d'une enveloppe très performante

#### ▪ L'isolation thermique par l'extérieur

Cette isolation consiste à réaliser autour du bâtiment une double peau isolante ce qui réduit au maximum les ponts thermiques et conserve une température régulière quelques soient les conditions climatiques extérieures. Le froid comme le chaud restant à l'extérieur de l'enveloppe ne perturbent en rien le cœur même des parois. La température intérieure est régulée et assure un confort thermique de qualité tout en réduisant la facture énergétique.

L'ITE est une solution écologique par le choix de matériaux bio-sourcés précisément adaptés. Pour l'isolant, notre choix s'est porté sur des panneaux de liège expansé, autrement dit « liège

noir » issu du chêne liège des montagnes de Kabylie. Outre son excellente isolation thermique (conductivité de 0,04 W/m.K et temps de déphasage de 7 à 8h), c'est un matériau hydrofuge, imputrescible, ininflammable, durable dans le temps et 100% recyclable. Sa fabrication nécessite que peu d'énergie grise (aux environs de 85 KWh.m<sup>-3</sup>).

Pour des raisons esthétiques, nous avons procédé à deux méthodes :

- L'isolation sous enduit de chaux hydraulique : l'isolant collé à la paroi, est couvert par un enduit de marouflage (colle, pate fibrée) sur une armature de fibre de verre. L'enduit de chaux vient terminer le système.
- L'isolation sous bardage en zinc : l'isolation thermique est réalisée par l'insertion d'isolants entre les ossatures bois, elles-mêmes fixées au support au moyen d'équerres. Quant au bardage, il est fixé directement sur l'ossature bois.

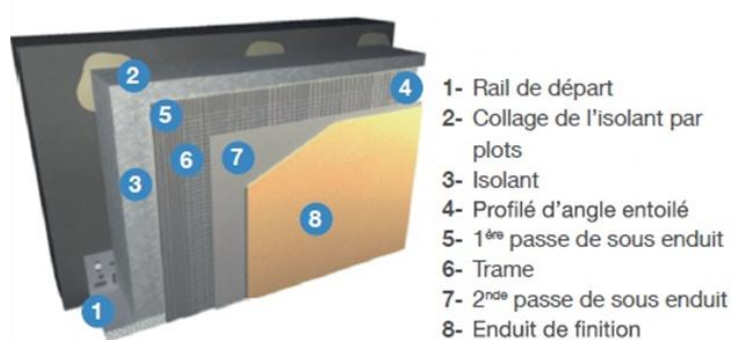


Figure 77 : ITE sous enduit

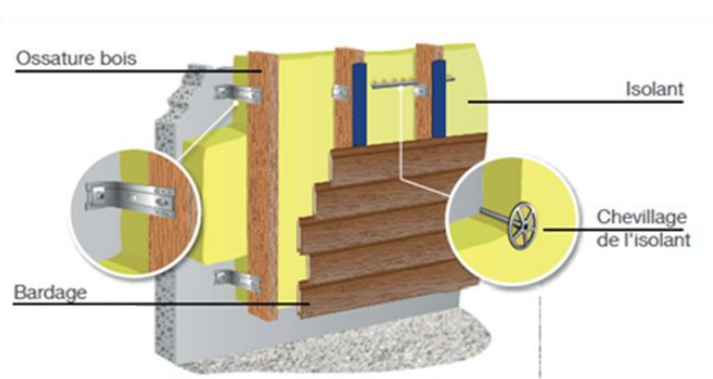


Figure 78 : ITE sous bardage

L'isolation extérieure a l'énorme avantage de ne pas être pathologique pour le bâtiment contrairement à l'isolation intérieure, plutôt recommandée dans la construction neuve, qui demande une compréhension parfaite des équilibres hygrothermiques. En effet, Il existe deux familles de risques avec l'isolation intérieure:

1. Le transfert de vapeur d'eau, qui s'effectue généralement de l'intérieur vers l'extérieur, peut être bouleversé par une chute trop brutale de température et donc conduire à de la condensation dans le mur. Cette chute brutale est exactement l'effet produit par un isolant posé sur la face intérieure du mur.

2. L'infiltration d'eau liquide depuis l'extérieur (ex : pluie battante), qui trempe la structure, ne peut s'évacuer à cause de l'imperméabilisation intérieure.

L'ITE, en plus de la réalisation d'une isolation thermique performante pour réduire les dépenses de chauffage permet en même temps la réalisation de l'étanchéité du bâtiment, la rénovation de l'aspect des façades, la suppression des ponts thermiques et la conservation de la surface intérieure.

#### ▪ Le double vitrage

Les anciennes menuiseries ont été remplacées pour réduire les ponts thermiques. Les nouvelles sont dotées d'un vitrage isolant caractérisée par une superposition de 2 plaques de verres de 4 mm chacune séparées par un coussin d'air de 16 mm. Un joint assure l'étanchéité et la cohésion de l'ensemble. Une couche à basse émissivité apposée sur le verre permet de ne laisser s'échapper qu'une petite partie de la chaleur intérieure vers l'extérieur.

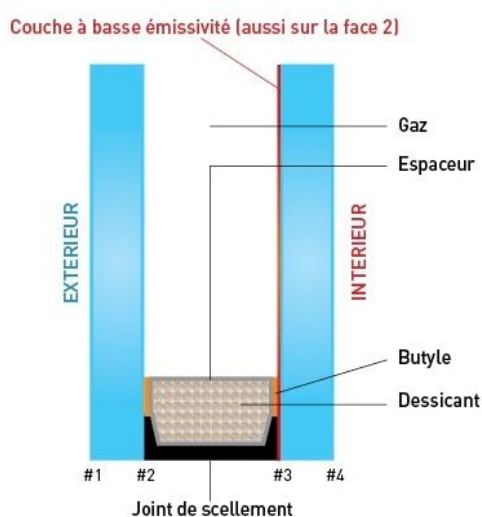


Figure 79 : Détail d'un double vitrage

#### ▪ L'isolation phonique

Elle a pour objectif d'atténuer ou supprimer la propagation des bruits intérieurs ou extérieurs du bâtiment. Plus un matériau est lourd, plus il atténue la transmission des ondes sonores. Ainsi, à épaisseur égale, une paroi simple en béton protège mieux des bruits aériens que la brique creuse ou le carreau de plâtre. En doublant l'épaisseur de la paroi, on obtient un affaiblissement acoustique de 5 à 6 dB. Mais toutes les constructions ne le permettent pas (surcharge importante, nécessité de renforcer les fondations...). C'est pourquoi nous avons opté pour la loi masse-ressort-masse. Le principe s'appuie sur l'interposition entre deux masses d'un élément ressort qui est l'isolant souple (laine de roche). Les ondes sonores créent des vibrations en passant par la paroi existante. Elles sont absorbées par le ressort, qui les transmet amorties à la deuxième masse (gain de 6 à 8 dB). Les bâtiments de l'entrée secondaire bordée par une route parcourue par les camions de la briqueterie ainsi que les différentes salles de cours nécessitent cette protection contre les bruits extérieurs et intermédiaires.

#### ▪ Le toit jardin du réfectoire étudiant

La végétalisation comme finition de la toiture-terrasse du réfectoire participe à l'inertie thermique du bâtiment et au confort hygrométrique.

Cette toiture recouvre une terrasse plate en béton sur un isolant de laine de roche, une membrane traitée anti-racines avec une couche filtrante géotextile en non-tissé imputrescible en polyester et des dalles pré-végétalisées. On inclura à l'ensemble, une couche drainante en gravillons entre la couche filtrante et l'étanchéité du fait de l'absence de pente. La membrane d'étanchéité est totalement recyclable en fin de vie. Ce toit-jardin est une barrière aux UV ce qui augmente la durée de vie de la couverture. C'est également un bon isolant thermique et acoustique.

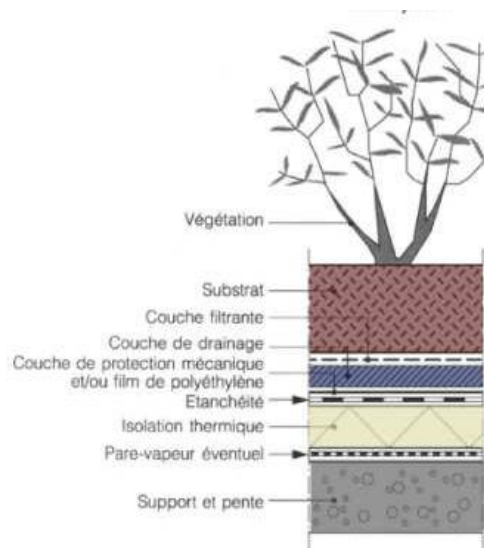


Figure 80 : Détail du toit-jardin

#### IV.3.b. La récupération des apports solaires passifs en hiver

##### ▪ Cas de l'atelier maquette

L'orientation Sud-Est de l'atelier maquette permet la récupération des calories naturelles par l'apport solaire passif. Sa forme courbe intercepte le rayonnement dans toutes les directions. Ses murs sont inclinés en suivant la course du soleil. Plus le soleil est haut, plus la pente est importante.

Les murs en béton cellulaire servent aussi de masse de stockage de calories en journée de fort ensoleillement, pour les restituer ensuite en déphasé, le soir.

Pour l'évacuation de l'air chaud pendant l'été, l'atelier est équipé de plusieurs ouvrants à projection mais aussi d'un système de lames horizontales.

#### IV.3.c. La garanti du confort d'été

##### ▪ Les lames horizontales

La chaleur du soleil pénètre dans le bâtiment via les fenêtres. L'emploi de brise soleil permet de respecter aisément les critères de surchauffe même dans le cas de surfaces vitrées particulièrement importantes et fortement exposées en été ou à la mi-saison. Avec des lames orientables, le brise soleil permet de moduler efficacement les apports thermiques et lumineux, réduisant ainsi le

recours aux solutions de chauffage et de climatisation. Un atout écologique et économique certain. En toute saison, ce brise soleil permettra de réguler la luminosité et l'ensoleillement. C'est une véritable barrière contre la chaleur l'été et contre la déperdition l'hiver. Grâce à un système de gestion automatisée permettant de relier les lames à un détecteur solaire, la protection contre les effets d'éblouissement tout au long de la journée est assurée ainsi qu'une ambiance lumineuse unique.

#### ▪ La ventilation naturelle

Seuls les amphis, la bibliothèque, la vidéothèque et les laboratoires sont ventilés par puits canadiens. Le reste du projet fonctionne en ventilation naturelle grâce à des ouvertures qui assurent une ventilation traversante.

Le puits canadiens (ou son homologue le puits provençal) permet de préchauffer (pré refroidir) l'air neuf d'un système de pulsion mécanique par l'intermédiaire d'un conduit d'amenée d'air enfoui dans le sol.

- En hiver, le sol, à une profondeur, est plus chaud que la température extérieure : l'air froid est donc préchauffé lors de son passage dans les tuyaux. Avec ce système, l'air aspiré ne sera pas prélevé directement de l'extérieur, d'où une économie de chauffage.
- En été, le sol est, à l'inverse, plus froid que la température extérieure, ce principe va donc utiliser la fraîcheur relative du sol pour le refroidissement naturel de l'air entrant dans le bâtiment.

Le puits canadien permet une économie de l'ordre de 25 % de la consommation liée au chauffage de l'air neuf et à son rafraîchissement.

Pour ce qui est des règles de conception : une conduite sera enterrée entre 2 à 4 m de la surface du sol, la vitesse de l'air dans le conduit ne dépassera pas 3 m/s, le conduit comprendra une pente d'environ 2 % et une évacuation des condensats produits en été, le conduit sera lisse et étanche de manière à éviter l'infiltration d'eau et les développements bactériens et l'entrée d'air sera équipée de plusieurs filtres pour la protection contre les différentes intrusions.

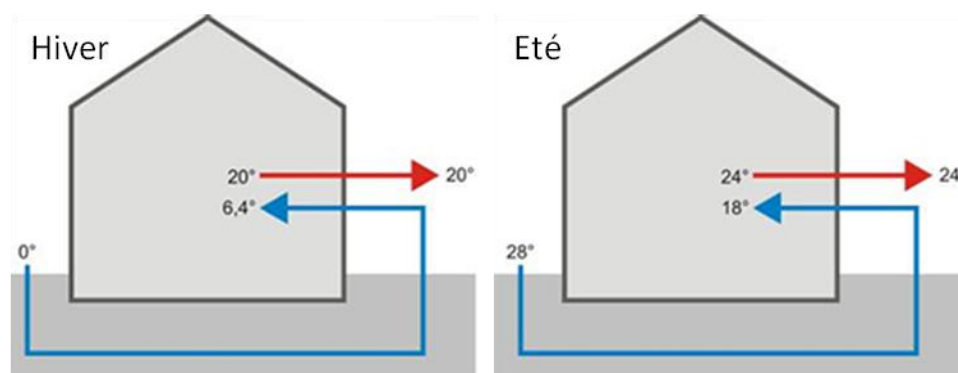


Figure 81 : Principe du puits canadien

#### ▪ Les amphithéâtres semi-enterrés et les sas d'entrée

Protégés par une épaisseur de terre, les deux amphithéâtres sont toujours à la température de celle-ci. Ce qui fait que la température de la salle ne descend jamais très bas en hiver et ne monte jamais très haut en été. En conséquence, la climatisation et le chauffage sont réduits.

Les sas d'entrée permettent d'éviter les pertes d'énergie liées à l'ouverture fréquente de la porte. C'est ainsi que la fraîcheur stockée en été est soigneusement conservée (inversement en hiver).

- **Les colonnades en terre cuite**

La colonnade conjugue admirablement technique et esthétique. L'espace compose des transparences et des perspectives étonnantes. Filtre visuel mais aussi climatique, il invite le public à traverser un microclimat créé par une forêt de tubes métalliques creux de 9m de haut recouvert de terre cuite. Les 18 futs métalliques de la galerie d'exposition sont disposés autour de d'un plan trapézoïdal et sont capotés de pièces de céramiques réalisées sur mesure. Ces modules en terre cuite composent des demi-cylindres produits par extrusion d'une argile calcaire subissant une cuisson dans des fours à grande capacité pendant 56 heures à une température de 1030°C. Cette technique garantit une haute résistance à la fois physique et chimique, en particulier face aux agressions climatiques. La finition terre naturelle, sans traitement supplémentaire, est structurée par une cannelure obtenue lors de l'extrusion. Elle affine la silhouette des colonnes et permet à l'air humide de s'évacuer vers l'extérieur, créant ainsi un microclimat. La fixation de ces modules de céramiques semi-cylindriques sur les tubes métalliques s'exécute mécaniquement à l'aide d'attaches spéciales, à joints ouverts entre modules céramiques. En outre, un large toit incliné en panneau sandwich recouvre l'ensemble du pavillon laissant un arbre le transpercer. Une réalisation en harmonie offrant une nature artificielle autour d'arbres authentiques.

#### IV.3.d. L'aménagement des extérieurs

- **Végétation**

La végétation participe à la protection solaire. Elle apporte un ombrage et crée un microclimat par évapotranspiration. Elle permet de stabiliser la température de l'air par rétention de l'eau dans ses feuilles et par évaporation de l'eau à leur surface. Lorsque l'eau est en contact avec l'air chaud non saturé, deux phénomènes se produisent : d'une part a lieu un échange de chaleur entre l'eau et l'air ; d'autre part, l'évaporation abaisse la température de l'air en puisant l'énergie nécessaire à son évaporation. Le choix de l'espèce est varié, plus l'arbre est dense plus la qualité de l'ombre est élevée. Ainsi, le feuillage d'un arbre peut filtrer de 60 à 90 % du rayonnement solaire. Un tapis de végétation réduit également le rayonnement solaire réfléchi par le sol. Les plantations créent des zones de basses et de hautes pressions favorisant l'écoulement de l'air au travers des bâtiments.

- **Sols perméables**

Les eaux considérées comme non polluées doivent, autant que possible, être infiltrées dans le sol. Par principe, les eaux superficielles non polluées ne doivent pas être déversées dans les égouts, car elles chargeraient inutilement les canalisations et les stations d'épuration.

Les revêtements perméables, tels que les pavés des parkings, les surfaces de graviers-gazon ou le platelage en bois, offrent des étendues irrégulières comprenant des anfractuosités qui permettent à l'eau de séjourner temporairement et de créer des microclimats propices au développement de certaines plantes.

### IV.3.e. Les pratiques éco-responsables

#### ▪ Récupération des eaux pluviales

L'eau de pluie ruisselant sur le toit est acheminée par les gouttières et descentes de gouttières vers une citerne pour y être traitée via le système de filtration (élimination biologique par principe actifs de tous les résidus organiques contenus dans l'eau). L'eau de pluie filtrée est ensuite stockée dans la cuve en attendant d'être utilisée. Une pompe de refoulement munie d'une crépine d'aspiration permet l'exploitation de l'eau stockée de la cuve. La crépine d'aspiration est équipée d'un flotteur afin d'éviter l'aspiration des fins sédiments déposés sur le fond. Les eaux sont ensuite acheminées dans le réseau d'eau de la maison via le gestionnaire d'eau de pluie.

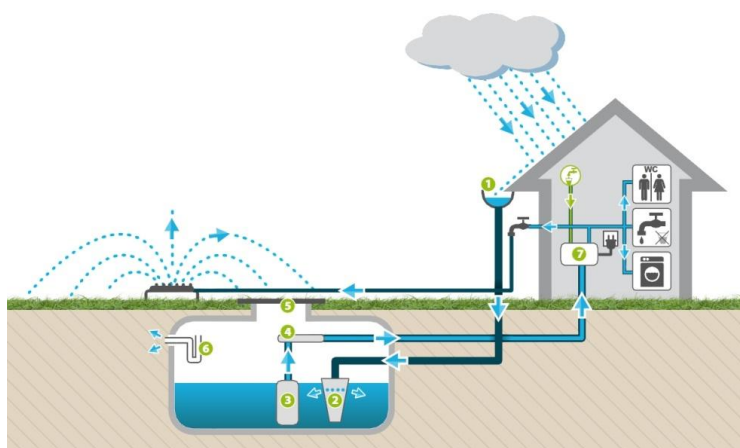


Figure 82 : Schéma explicatif

#### ▪ Gestion des déchets

Malgré les nouvelles technologies de l'information, les activités pédagogiques restent très fortes consommatrices de papier, car une grande partie du travail effectué se matérialise grâce au papier. Le papier est ainsi très souvent considéré dans les établissements scolaires comme une ressource illimitée, ne faisant l'objet d'aucune restriction ni d'aucun contrôle. Le papier est produit à partir du bois provenant essentiellement des coupes d'éclaircies pratiquées en forêt. Faire la prévention de ces déchets c'est préserver les forêts, à travers :

1. L'installation des corbeilles de tri.
2. La sensibilisation des usagers (privilégier et promouvoir l'envoi d'informations par mail ainsi que la mise en ligne de documents sur Intranet ou Internet, l'utilisation recto/verso des feuilles de papier, la documentation électronique, l'achat de produits recyclés...).

## IV.4. Façades et expression architecturale

Une ligne d'acrotère sépare le bâtiment du ciel, sans autre complication. Ce bandeau lisse valorise la géométrie régulière et simple du projet en réduisant visuellement la perception de la hauteur réelle. Partout les ouvertures jouent le rôle que leur confère la logique formelle et technique du projet.

La fenêtre verticale traditionnelle ouvre l'espace interne sur l'extérieur mais, simultanément, elle définit un lieu et un seuil, elle établit un rapport d'exclusion spatiale et sentimentale. C'est

pourquoi, notre choix s'est porté sur la fenêtre en longueur, ou "bandeau", qui favorise les vues panoramiques. Cette fenêtre en bande a une forme qui lui permet de rassembler toute sa lumière à la hauteur utile qui est celle des yeux de l'utilisateur. Un large vitrage permet un éclairage naturel optimal. On peut désigner cette fenêtre en bande comme l'unique acteur de la façade.

En ce qui concerne la façade principale de bloc administratif, la rythmique par des fenêtres horizontales de 3m de large est perçue comme une large persienne. La massivité de l'ensemble est interrompue au centre du bâtiment par une incisive vitrée laissant transparaître la salle de réunion.

Ailleurs, les façades sont magnifiées par l'agencement de fines lames horizontales de bois, superposées, pour former un filtre visuel mais aussi lumineux et apporter une ventilation naturelle. Le postulat de base consiste en la création d'une peau qui soit perméable aux rais du soleil, ni trop ni trop peu, ainsi qu'à l'air pour en assurer le renouvellement. Le jeu de lumière à travers la résille qui forme claustra devant les baies créent des perceptions variées et proposent des lectures changeantes de l'espace.

Le dessin de la toiture du bloc enseignants, de la bibliothèque et des deux amphithéâtres a été guidé par le souhait d'apporter un maximum de lumière zénithale à l'intérieur du bâtiment. Cette osmose offre au projet une réelle topographie de toiture et dégage une esthétique particulière.

L'inclinaison des éléments de toiture formant sheds et lanterneaux permet de réaliser des économies d'énergie en instillant de la lumière naturelle généralement très appréciée, au contraire des éclairages artificiels trop vifs.

En termes de matière, le recours à des panneaux préfabriqués en zinc s'est imposé comme la solution la plus expressive. Le matériau affirme une esthétique contemporaine dans un panneau qui décline plusieurs aspects de surface dans une matière unique. Ses reflets bleutés apportent une touche plus poétique aux façades qui se marie très bien avec la couleur du ciel lors d'une belle journée ensoleillée.

## IV.5. Eco-matériaux

Quand on parle d'éco-matériau, on évoque un matériau qui ne nuit pas à la santé et ne perturbe pas l'environnement, qui contribue à la diminution de l'impact environnemental du bâtiment dans l'ensemble de son cycle de vie, notamment en terme de maîtrise de l'énergie et qui a un bilan extraction, transformation, recyclage qui n'entraîne pas un gaspillage d'énergie.

Ici le projet fait appel à des matériaux propres avec un impact limité sur l'environnement, des nuisances de chantier réduites et prend en compte la nécessité d'économies futures.

### IV.5.a. L'acier en structure

Alliage principalement composé de fer, l'acier est un matériau extrêmement résistant capable de supporter de fortes charges, ce qui autorise des gains d'espaces conséquents. Très malléable, il se laisse facilement travailler et se marie aisément avec d'autres matériaux. L'ajout d'alliages anticorrosion lui assure en outre une longévité remarquable, l'acier devenant théoriquement inoxydable.

De la mise en œuvre à son élimination, l'acier présente peu de contraintes environnementales. Issu de la filière sèche, il ne consomme pas d'eau sur les chantiers et ne génère que peu d'inconvénients (poussière, bruit...). Son excellente longévité assure au bâtiment une durée de vie optimale, participant ainsi au développement durable. Sur le même principe que la construction, la déconstruction s'opère de manière bien plus propre que les ouvrages en béton. La possibilité de démonter un bâtiment en acier sans le détruire, puis de le reconstruire ailleurs ou de réutiliser certains composants, constitue un avantage pertinent. L'autre gros atout de l'acier, c'est l'évolutivité des constructions qui peuvent être agrandies, transformées ou adaptées facilement à de nouveaux besoins ou usages. Enfin, l'acier possède l'avantage supérieur d'être à 100% recyclable car il possède des vertus magnétiques qui permettent sa séparation et sa récupération parmi des déchets de toute nature.

#### **IV.5.b. Le béton cellulaire pour le cloisonnement**

Matériau de construction fabriqué exclusivement à partir de matières premières naturelles, le béton cellulaire résulte d'un savant dosage d'eau, de sable, de ciment, de poudre d'aluminium et d'air.

Il ne nécessite aucun isolant complémentaire. Sa structure alvéolaire constituée de millions de microcellules d'air lui confère ses propriétés d'isolant thermique. Sa conductivité thermique (notée  $\lambda$ ) étant de  $0,12 \text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$  ne permet que de faibles déperditions de chaleur. C'est un matériau qui respire en laissant migrer la vapeur d'eau naturellement dégagée par les occupants et leurs activités quotidiennes. Cette hygrorégulation est principale pour éviter tous risques de barrière à l'humidité ambiante, à la formation de condensation ainsi qu'à la naissance de moisissures. Il est aussi ininflammable. Il ne dégage aucun gaz, ni fumée toxique. En cas d'incendie, un mur possède une capacité coupe-feu de six heures.

#### **IV.5.c. La chaux hydraulique comme enduit**

Obtenue à partir de calcaire argileux contenant une proportion de 10 à 20 % d'argile qui lors de la calcination donne des silicates et aluminates de calcium, la chaux hydraulique fait prise, en quelques heures, au contact de l'eau, d'où son appellation. La chaux consomme beaucoup moins d'énergie que le ciment pour sa fabrication. De plus, il s'agit d'un matériau naturel, qui retourne lentement à son état d'origine, tandis que le ciment contient des éléments chimiques qui ne sont pas biodégradables. Elle est perméable à la vapeur d'eau, qu'elle absorbe puis rejette rapidement. On dit qu'elle « respire ». Cela lui permet d'éliminer l'humidité des murs et des sols, contrairement au ciment qui empêche celle-ci de s'évaporer, provoquant moisissures et fissures. C'est un matériau souple, qui s'adapte aux évolutions du bâti. La chaux possède aussi des vertus antibactériennes et antiseptiques qui lui permettent d'agir comme un véritable désinfectant. La couleur de l'enduit peut être donnée par le sable ou bien par l'utilisation de terres colorantes sans dépasser 10% du poids de la chaux.

#### **IV.5.d. Le zinc pour le bardage**

Métal pur à 100%, le zinc utilisé est très légèrement additionné de cuivre pour la dureté et de titane pour la résistance au fluage. Ce matériau au long cycle de vie, ne nécessite aucun entretien

spécifique car il est particulièrement étanche à l'eau, résistant à la corrosion et la mousse n'y adhère pas. Il n'y a donc aucun risque d'oxydation et de dégradation.

C'est un matériau respectueux de l'environnement car il est 100 % recyclable et bénéficie d'un bilan énergétique global favorable. En effet, sa fabrication consomme peu d'énergie et n'émet que peu de CO<sub>2</sub>. De plus, il n'est pas combustible et il protège contre la foudre et le rayonnement électromagnétique.

Le zinc a par ailleurs des propriétés optiques. Les bardages sont intemporellement esthétiques et offrent une protection sûre pour des générations car il est également peu sensible aux variations de température.

Il s'agit d'une matière légère qui peut rester en bon état jusqu'à 100 ans après son installation.

C'est aussi une matière assez facile à façonner et à travailler.

En Algérie, le potentiel en zinc est évalué à 150 millions de tonnes de minerai. Il est localisé principalement au Nord du pays. Des recherches sont menées sur des sites prospectifs dans la région Est du pays (Batna, massif du Guergour etc...).

#### **IV.5.e. Le bois pour la résille**

Matériau de construction renouvelable, le bois requiert moins d'énergie de son extraction à son utilisation comparativement au béton et à l'acier. Le bois est un véritable « puits de carbone » : la production d'une tonne de bois absorbe 1,5 tonne de gaz carbonique et rejette 1,1 tonne d'oxygène dans l'atmosphère. En effet, pendant sa croissance, le jeune arbre absorbe du carbone, avec lequel il fabrique les cellules bois et rejette de l'oxygène dans l'atmosphère. A la maturité de l'arbre, ce processus ralentit d'où la nécessité de replanter de jeunes arbres pour conserver cet équilibre. C'est pour cela que la récolte du bois favorise le renouvellement régulier des forêts. Cependant, le bois d'extérieur a deux principaux ennemis : les UV (rayons ultraviolets de la lumière solaire) et l'humidité. Les premiers provoquent une sorte de brûlure superficielle qui se traduit par des petites crevasses et du grisaillement. L'humidité pose des problèmes beaucoup plus sérieux : si l'eau de pluie ne s'écoule pas ou ne s'évapore pas rapidement, le taux d'humidité du bois va permettre l'installation de champignons lignivores précurseurs de la pourriture et favoriser les attaques d'insectes xylophages. La réticulation du bois donne aux lames une couleur brune. Elle limite les reprises d'humidité et donc les attaques de champignons leur conférant une meilleure durabilité, mais ne ralentit pas le grisaillement. Pour cela il suffira de traiter le bois avec un dégriseur, produit permettant de le nettoyer même après 15 ou 20 ans et qui redonne aux lames exactement leur couleur d'origine.

#### **IV.5.f. La terre cuite en colonnes**

100 % naturelle, solide, incombustible, elle résiste aux intempéries et répond aux exigences environnementales actuelles. Ce matériau présente une bonne inertie thermique, c'est un régulateur hygrométrique, durable dans le temps et recyclable.

#### **IV.5.g. Les panneaux sandwich en couverture**

Bardage double peau en bois hydrofuge avec comme isolant la laine de roche (matériau naturel né de l'activité volcanique et du savoir-faire humain, aussi utilisée dans le bâtiment comme

protection contre l'incendie). Ces panneaux sont fabriqués en une seule pièce pour ne provoquer aucun pont thermique. Ils ont un grand pouvoir isolant thermique et acoustique. Ils sont durables car l'isolant utilisé ne se désagrège pas et demeure stable sous tous les climats. Par ailleurs, les panneaux ont un aspect fini avec des sous faces décoratives telles que les plaques de plâtre.

## IV.6. Aspect technique

### IV.6.a. L'ossature de l'existant

Elle est principalement composée d'un système poteaux-poutres en béton armé, avec une section moyenne de 30x30 cm<sup>2</sup> pour les poteaux et une portée maximum atteignant les 7,35m. Les planchers sont de type corps-croix. Le tout repose sur des semelles filantes sur pieux.

### IV.6.b. L'ossature de l'extension

Celle-ci est faite en structure métallique pour assurer solidité et grandes portées. Pour des raisons économiques, nous privilégions la préfabrication en usine d'un maximum d'éléments (IPN et profils creux circulaires). Les sections varient de 30 à 50 cm. Une charpente métallique recouvre le tout.

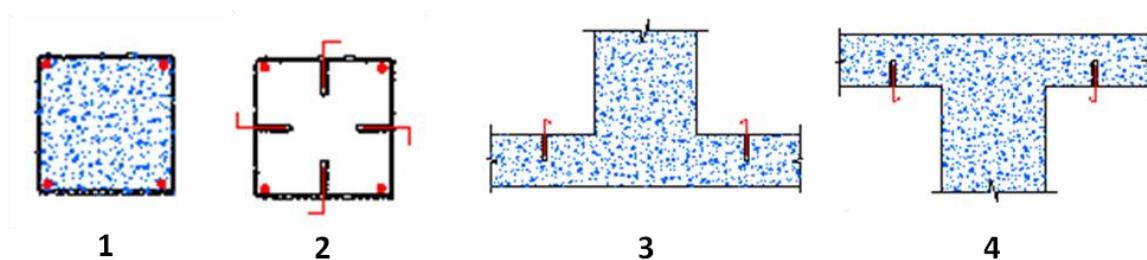
### IV.6.c. Surélévation des ateliers de conception

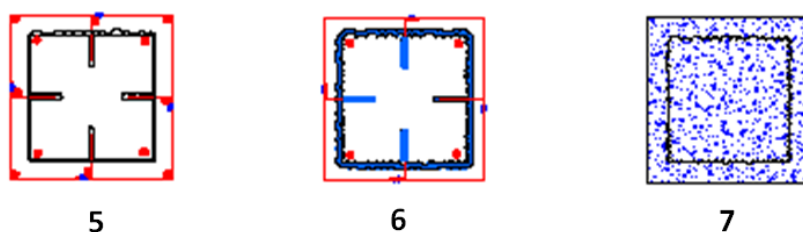
L'élévation permet d'augmenter la surface habitable sans modifier l'emprise au sol. Ici, la surélévation nécessite la remise en état des éléments structurels présentant des défauts. Le renforcement des éléments porteurs va améliorer leurs caractéristiques mécaniques de manière à ce qu'elles offrent une meilleure solidité pouvant accueillir le nouveau niveau.

Le procédé choisi consiste à chemiser l'élément en augmentant sa section par mise en œuvre d'une épaisseur de béton sur tout le périmètre de l'élément primitif. Mais avant il faudra mettre une armature en place pour réaliser le bétonnage par coulage. Ces éléments de renfort doivent être ancrés dans le béton primitif.

Les étapes de chemisage se feront comme suit :

1. Nettoyage et sablage du support initial de béton du poteau.
2. Ancrage et scellement de chevilles pour fixation d'armatures additionnelles.
3. Scellement d'armatures d'ancrage sur le plancher en amont du poteau.
4. Scellement d'armatures d'ancrage sous le plancher en aval du poteau.
5. Fixation des armatures additionnelles sur les tiges d'ancrage.
6. Etalage d'une couche de résine sur la surface de béton primitif.
7. Coulage de l'enveloppe en béton riche et fluide.





L'adhérence entre le béton existant et le nouveau béton sera due essentiellement à une liaison chimique.

Cependant, le renforcement par béton et armature additionnels augmente la descente de charges de la structure. Il faudra donc remédier avant tout à un redimensionnement des fondations.

#### IV.6.d. Traitement des ponts thermiques

Un pont thermique est une zone ponctuelle ou linéaire qui présente une variation de résistance thermique. Il s'agit d'un point de la construction où la barrière isolante est rompue et laisse apparaître des déperditions de température.

Le rupteur de pont thermique est un dispositif structurel d'isolation thermique spécialement conçu pour traiter les ponts thermiques principalement au niveau des jonctions dalle/balcon. L'utilisation de ce dispositif permet de réduire les fuites de chaleur grâce à la mise en place d'une interposition d'un élément isolant entre l'intérieur et l'extérieur du bâtiment tout en assurant la transmission des sollicitations de la structure. Le rupteur de pont thermique est aussi l'élément principal pour lutter contre les problèmes d'humidité car une trop grande différence de température entraîne de la condensation sur les parois, puis des moisissures.

Ce procédé est composé d'un corps isolant et d'armatures qui reprennent les sollicitations. La laine de mouton est un choix pertinent en termes d'isolant. Sa conductivité thermique de 0,035 permet une bonne régulation thermique mais aussi d'humidité. De plus, le rapport qualité/prix est intéressant. Il s'agit d'un isolant écologique qui présente un bien meilleur écobilan que les isolants minéraux ou synthétiques car il est issu de matières premières renouvelables et recyclables nécessitant peu d'énergie grise et d'émissions de CO<sub>2</sub> pour leur fabrication.

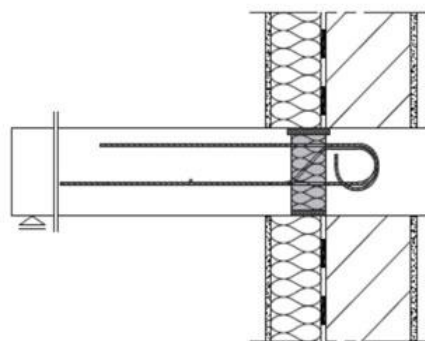


Figure 83 : Détail d'un rupteur de pont thermique

#### IV.6.e. L'étanchéité en couverture

L'étanchéité à l'air et à l'eau, joue un rôle au moins aussi important que l'isolation. Confort, insonorisation, économies d'énergies et durée de vie du bâtiment sont les conséquences d'une bonne étanchéité.

Dans ce projet, on optera pour un système d'étanchéité liquide nouvelle génération constitué d'une résine polyuréthane bi-composant et armé d'un voile textile qui optimise ses caractéristiques performantielles. Cette solution d'étanchéité liquide sans solvant dont la résine, est issue à 80% de ressources renouvelables. Le voile textile à effet buvard intègre quant à lui 25% de matériaux recyclés.

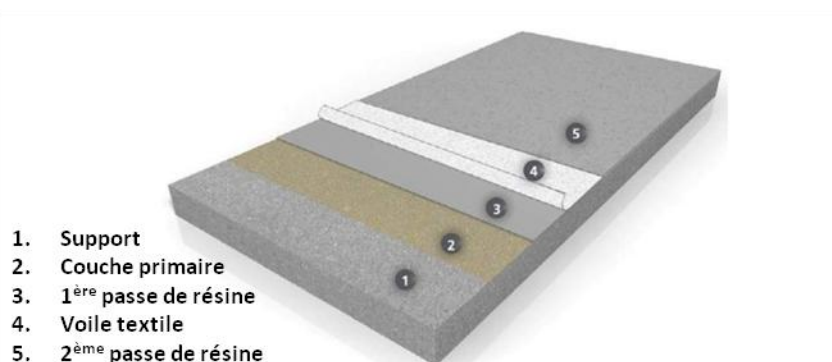


Figure 84 : Les différentes couches de revêtement

#### IV.6.f. Drainage des amphithéâtres

Remontée capillaire, eau de ruissellement et eau de la nappe phréatique sont les principaux ennemis des deux amphis semi-enterrés. Le drainage est impératif pour l'évacuation de ces eaux. Il est réalisé à l'aide d'une couche de granulats drainants (sable, gravillons et cailloux) protégé du colmatage par un filtre en géotextile. Un drain horizontal (buse perforée) est ensuite placé à la base pour permettre l'évacuation des eaux vers le réseau d'égouttage.

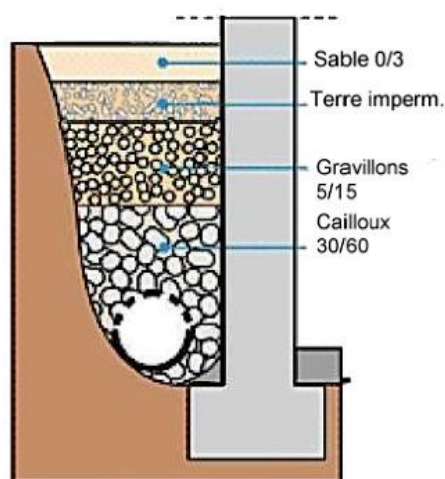


Figure 85 : Schéma d'un drainage conventionnel

#### IV.6.g. L'évacuation des eaux usées

Les eaux sont généralement rejetées dans un réseau d'assainissement collectif, que l'on appelle couramment le tout à l'égout. Or, dans notre cas, le système est inexistant. Les eaux sont actuellement déversées, sans aucun traitement, dans l'Oued bordant le site.

Ici, on placera une fausse septique qui aura pour rôle d'épurer les eaux avant de les rejeter dans le milieu naturel. Cette fausse est composée d'une cuve en béton qui accumule et liquéfie les eaux usées ainsi qu'un épandage posé en sortie pour assurer la dispersion des eaux à l'aide de tuyaux percés en partie inférieure et enterrés à faible profondeur. Le traitement est assuré par les bactéries contenues dans le sol superficiel.

#### IV.7. Aspect sécuritaire

- Un extincteur portatif à eau pulvérisée de 6 litres minimum tous les 200 m<sup>2</sup> de plancher est installé à chaque étage.
- Un dispositif de désenfumage naturel est installé dans les locaux de plus de 300 m<sup>2</sup>. Ce qui est aussi le cas pour les locaux aveugles, situés en sous-sol de plus de 100 m<sup>2</sup>.
- Pour les issues de secours, si l'effectif est inférieur à 20 personnes, il suffira de prévoir une issue (de 90 cm de large). Au-delà de 20 personnes, d'autres sorties et moyens d'évacuation sont aménagés. Dans tous les cas, les dégagements doivent permettre une évacuation rapide et en toute sécurité des usagers du bâtiment. Les portes utilisées pour l'évacuation de plus de 50 personnes sont de 2m de large et s'ouvrent simplement (pas de portes coulissantes, à tambour ou s'ouvrant vers le haut).
- Pour les escaliers de secours d'une largeur minimale de 1,20 m les bords de marches sont traités de façon à les rendre antidérapants. Les bords de marches de la première et de la dernière marche de chaque volée sont d'une couleur très contrastée par rapport à la couleur des marches.

## Conclusion

Le projet, tout répondant au programme, cherche à redonner vie au lieu sans lui faire perdre le caractère paysager et le charme qui l'a fait choisir comme site pour la nouvelle école, un établissement à vivre ensemble par des espaces et services supports de rencontre pour les étudiants.

L'école se cache et se confond avec le site dans ses parties les plus privées, comme elle se révèle et s'affiche dans ses parties les plus publiques. L'utilisateur est amené à se déplacer dans l'intégralité de l'édifice, alors que du côté de la rue, on ne perçoit du projet que des volumes abstraits.

L'école n'est pas une mais multiple avec plusieurs pôles, dispersés de part et d'autre et ayant subi plusieurs types d'interventions allant de la réhabilitation complète à la reconversion, jusqu'à la construction neuve. Les nouveaux bâtiments annoncent le rafraîchissement, à plus ou moins long terme, de l'ensemble.

La conception de cet ensemble répond aux circonstances climatiques. C'est un point de synergie et d'échange protégé par une peau de lames qui filtre la lumière et permet une ventilation naturelle des locaux.

## Conclusion générale

L'intervention sur un bâtiment exige non seulement une analyse approfondie de son état physique et des causes de sa dégradation, mais aussi une connaissance de ses usagers, de ses modes de gestion et d'entretien, de son fonctionnement et de son environnement.

Notre projet d'éco-réhabilitation en vue d'une nouvelle école d'architecture s'est avéré très riche en interventions. En effet, en plus de l'amélioration et de la modernisation du bâti existant, il nous a fallu faire un travail de reconversion partielle (cas des anciens dortoirs transformés en ateliers de conception, de l'ancienne administration changée en café...), mais aussi un travail de réflexion sur les manières de réaliser l'extension du projet. Pour ce faire, ce rajout ne s'agit nullement d'une répétition pure et simple de ce qui s'est fait auparavant. La nouvelle pensée manifeste à chaque fois son caractère de germe vivant. L'école en interaction avec son site adopte une forme qui lui est propre.

Les systèmes naturels sont ceux qui ne mettent pas en œuvre de technologies complexes pour transformer l'énergie solaire ou éolienne en mode de chauffage et de rafraîchissement. Ici, la fenêtre, le SAS et le patio sont des systèmes naturels car ils ne nécessitent aucun mécanisme pour restituer l'énergie reçue.

Nous voulions éviter de faire de la nouvelle école une vitrine trop démonstrative du développement durable. Les panneaux photovoltaïques ne doivent pas être un signe inévitable de reconnaissance écologique. Le bois est présent mais son emploi reste secondaire. Nous avons axé notre démarche sur la prise en compte précise et pertinente du site. Le bâti existant, la course du soleil, la topographie ainsi que la forme du terrain ont été les paramètres qui ont guidé l'étude. La pérennité des matériaux, la qualité de l'éclairage, la bonne gestion de l'eau et la qualité de l'air ont été des facteurs tout aussi déterminants que le confort thermique ou la maîtrise des consommations énergétiques.

Notre démarche environnementale atteint donc les objectifs visant la basse consommation et le confort des usagers grâce à une forte performance de l'enveloppe et ses protections solaires adaptées, à l'utilisation de matériaux à faible impact environnemental et à la diminution des déchets de construction et de démolition (usage de l'acier en structure et récupération totale du bâti existant).

Cependant, pour la durabilité du bâtiment il est recommandé d'organiser un suivi sur le long terme. Capitaliser les enseignements, les difficultés de mise en œuvre, comparer les économies d'énergies réalisées à celles prévues par la théorie, organiser par ce biais l'autocritique et l'amélioration des pratiques, l'identification d'éventuelles pathologies liées à l'hygrothermie sont des actions à mener parmi tant d'autres afin d'assurer le bon entretien du bâtiment.

## Références bibliographiques

1. AITF et EDF, « Guide bâtiments basse consommation »
2. ALILI Sonia, « Guide technique pour une réhabilitation du patrimoine architectural villageois de Kabylie », mémoire de magister, soutenu le 03.07.2013, UMMTO
3. ANAH, « Réhabiliter et entretenir un immeuble ancien point par point », ed Moniteur 1993
4. AQC (Agence Qualité Construction) et la fondation Excellence SMA, « Fiches pathologie bâtiment, l'outil de prévention et de sensibilisation indispensable », ed 2015
5. ATHEBA, « Amélioration thermique du bâti ancien ».
6. BEAULE, LAROCHE, LIZOTTE et ROBITAILLE, « Des modèles de pensée constructive. Les lauréats du prix Pritzker, Alvaro Siza prix 1992 », ARC-6021
7. BIÈRE Aurélie, « Le développement durable, la qualité environnementale des bâtiments et les maîtres d'ouvrages », mémoire de fin d'étude, soutenu le 28.01.2011, ENSA Lyon
8. CANDAS Victor, « Confort thermique, traité génie énergétique »
9. CERKAS, Centre du Patrimoine Mondial de l'UNESCO et CRATerre, « Manuel de conservation du patrimoine architectural en terre des vallées présahariennes du Maroc »
10. CHEBAHI Malik, « L'enseignement de l'architecture à l'École des Beaux-arts d'Alger et le modèle métropolitain », réceptions et appropriations 1909-1962
11. CHERNAI Samia, « Elaboration d'un guide technique de réhabilitation du patrimoine de la période Ottomane », mémoire de magister, soutenu le 30.06.2012, UMMTO
12. COURBIÈRES Caroline et FRAYSSE Patrick, « Langage de l'architecture/architecture des langages », 7<sup>ème</sup> colloque du chapitre français de l'ISKO, p9
13. CSTB (Centre Scientifique et Technique du Bâtiment), « Référentiel technique de certification », janvier 2005
14. DAICH Safa, « Simulation et optimisation du système light shelf sous des conditions climatiques spécifiques, cas de la ville de Biskra », mémoire de magister, soutenu en 2011, université Mohamed Khider de Biskra
15. DIRAHOUI Mohamed Adlene, « Caractérisation de la qualité de l'environnement lumineux à l'intérieur des ateliers d'architecture de l'EPAU », mémoire de magister soutenu le 12.02.15, EPAU Alger
16. ECO-ARQ, « Guide méthodologique pour l'éco-réhabilitation du patrimoine bâti dans le Sud-ouest européen »
17. ECOLOGIK 16, « Energie grise »
18. EFFINERGIE, « Réussir un projet de bâtiment basse consommation, des clés pour des logements neufs confortables et économes en énergie »
19. FRAC Centre, « Ecologies et approches critiques », dossier pédagogique
20. FRAC Centre, « Paysages », dossier pédagogique
21. GIVONI.B, « L'homme, l'architecture et le climat », ed Moniteur, 1978

22. <http://www.esa-paris.fr> [EN LIGNE]
23. <http://www.explorations-architecturales.com> [EN LIGNE]
24. <https://www.arc.ulaval.ca> [EN LIGNE]
25. IBGE (Institut Bruxellois pour la Gestion de l'Environnement), « Prendre en compte le cycle de vie des bâtiments et de leurs composantes », 2010
26. JOURNAL LIBERTE « Déficit d'encadrement à l'université de Tizi-Ouzou »
27. LALIBERTE-VINCENT, MARINE et MICHAUD, « Etude d'une pensée constructive d'architecte, faculté d'architecture université de Porto », ARC-6021
28. LAROUSSE illustré, ed 2015
29. Le Comité d'Histoire du ministère de la culture et de la communication, France
30. LE GOUVERNEMENT DU GRAND-DUCHÉ DE LUXEMBOURG, « Plan général de gestion des déchets », janvier 2010
31. LIEBARD Alain et DE HERDE André, « Traité d'architecture et d'urbanisme bioclimatiques », ed Observ'ER, 2005
32. MANH TRI Nguyen, « Les significations du concept d'harmonie entre être humain, architecture et nature dans la théorie architecture d'Alberti et les philosophes d'Orient », mémoire de maîtrise en sciences de l'architecture, Université Laval, 2008
33. MAURO-CHASSAGNE, « Développement durable et réhabilitation », travail de fin de formation HQE, ENSAL, janvier 2007
34. MERZEG Abdelkader, « La réhabilitation thermique de l'habitat contemporain en Algérie », mémoire de magister, soutenu le 21.10.2010, UMMTO
35. MULLER G. Dominique, « L'architecture écologique », éd ADEME
36. MURET Jean-Pierre et DERRIEN Albert, « L'école et les collectivités locales », ed Moniteur
37. NAIT Nadia, « La réhabilitation énergétique dans les logements collectifs existants, cas du climat semi aride de Constantine », mémoire de magistère, université Mentouri de Constantine
38. OULD-HENIA Amina, « Choix climatiques et construction en zones arides et semi-arides, cas de la maison à cour de Boussaâda », thèse de doctorat, école polytechnique fédérale de Lausanne, soutenue en 2003
39. REHABIMED, « Architecture traditionnelle méditerranéenne, réhabilitation des bâtiments », ed 2007
40. ROCHETTE ANDRE, président d'Ecosystem « Les bâtiments : une source de bénéfices environnementaux et économiques à exploiter dès maintenant », mémoire pour la Commission sur les enjeux énergétiques du Québec, 2013
41. SBARGOUD Abdellah, « Diagnostic environnemental de la gare routière », mémoire d'ingénieur d'état en écologie et environnement, 2009, UMMTO
42. SCHWEITZER Roland, professeur à l'Ecole d'Architecture PARIS TOLBIAC-U.P.7 (1969-1991) et membre de la Commission Enseignement de l'U.I.A. 2008-2011

43. Société française des architectes SFA, bulletin n°49, 2011/2012
44. SOUKANE.S et DAHLI.M, « La réhabilitation du patrimoine colonial 19<sup>ème</sup> et 20<sup>ème</sup> dans le contexte du développement durable »
45. Station ONM de Boukhalfa
46. TROCME Maxime et PEUPORTIER Bruno, « Analyse de cycle de vie d'un bâtiment », communication aux journées Energie et Développement Durable, antenne de Bretagne de l'ENS, mars 2007
47. VITA Florence, « Alvaro Siza vs Alvar Aalto, liens et influences », mémoire de master et de séminaire « patrimoine, théories et dispositifs », soutenu le 28.05.2015, ENSA Toulouse
48. VIVIER Alain, Président de la MAF et Membre de la SFA
49. WRIGHT David, « Manuel d'architecture naturelle », ed Parenthèses, 2004

## Liste des figures

Figure 1 : L'école nationale d'Alger des Beaux-arts. Cours de dessin 1965-----	11
Figure 2 : Ecole régionale d'architecture de Strasbourg. L'atelier dessin au premier étage du Palais du Rhin vers 1930-----	11
Figure 3 : Organigramme général des fonctions-----	14
Figure 4 : Partie Niemeyer -----	17
Figure 5 : Partie BEREG-----	17
Figure 6 : Partie Deluz -----	17
Figure 7 : Niveau RDC-----	17
Figure 8 : Niveau R+1-----	17
Figure 9 : Niveau R+2-----	17
Figure 10 : Vues en coupe-----	19
Figure 11 : Vues en plan du RDC-----	19
Figure 12 : Vues en plan du R+1-----	20
Figure 13 : Délimitations du site-----	21
Figure 14 : Vue en plan du projet-----	21
Figure 15 : Pavillon Carlos Ramos-----	22
Figure 16 : Plan RDC du pavillon-----	22
Figure 17 : Relations géométriques entre les parties du projet-----	23
Figure 18 : Répartitions des fonctions-----	24
Figure 19 : Coupe longitudinale -----	24
Figure 20 : Coupe transversale sur la cour montrant les différents jeux de hauteur et de dialogue entre les plateformes du site-----	25
Figure 21 : La tour à dessin-----	25
Figure 22 : La cour centrale-----	27
Figure 23 : FAU Porto -----	27
Figure 24 : Guy Rottier, Maison enterrée « Carcasses de voitures », 1965-72-----	30
Figure 25 : Tableau des caractéristiques des matériaux-----	33
Figure 26 : Les distributions du spectre solaire-----	34
Figure 27 : Pourcentages de rayonnement solaire incident réfléchi-----	34
Figure 28 : Trajectoires du soleil lors du solstice d'été, du solstice d'hiver et des équinoxes. -----	34
Figure 29 : Variations de l'azimut et efficacité en pourcentage du rayonnement solaire-----	34
Figure 30 : Les pourcentages d'absorption -----	34
Figure 31 : Distribution schématique des pressions autour d'un bâtiment, basée sur les résultats d'Irminger et Nokkentved-----	34
Figure 32 : Influence de l'inertie thermique des grandes masses d'eau-----	34
Figure 33 : Réhabilitation du Santa Caterina Market à Barcelone-----	34
Figure 34 : Considérations d'un diagnostic thermique-----	34
Figure 35 : Schéma d'un diagnostic acoustique -----	34
Figure 36 : Affaissement de dallage-----	34

Figure 37 : Fissuration -----	34
Figure 38 : Mousse-----	34
Figure 39 : Décollement -----	34
Figure 40 : Faiççage-----	34
Figure 41 : Enduit de renfort -----	34
Figure 42 : Supplément de résistance pour les poutrelles-----	34
Figure 43 : Pose additionnelle de dalle en béton armé-----	34
<b>Figure 44 : Collage d'un revêtement de sol sur carrelage existant -----</b>	<b>34</b>
Figure 45 : Forme en béton pour une pièce humide -----	34
Figure 46 : Doublement -----	34
Figure 47 : Vitrage isolant-----	34
Figure 48 : Survitrage-----	34
Figure 49 : Cycle de vie d'un bâtiment -----	34
Figure 50 : Les échanges thermiques entre l'Homme et son environnement -----	34
Figure 51 : Diagramme de Kruithof-----	34
Figure 52 : Préoccupations et critères des conditions d'hygiène-----	34
Figure 53 : Les polluants extérieurs et intérieurs -----	34
Figure 54 : Les 3 piliers du développement durable -----	34
Figure 55 : Evolutions des consommations d'énergie -----	34
Figure 56 : Principaux ponts thermiques à traiter-----	34
Figure 57 : Isolants écologiques -----	34
Figure 58 : Système double flux -----	34
Figure 59 : Fonctionnement du puits canadien -----	34
Figure 60 : Fonctionnement de la chaudière a condensation -----	34
Figure 61 : Efficacité des lampes basse consommation-----	34
Figure 62 : Calcul géométrique d'un auvent pour une façade verticale -----	34
Figure 63 : Disposition et orientation des ouvertures en fonction du rayonnement solaire-----	34
Figure 64 : Effets de la végétation sur le bâtiment -----	34
Figure 65 : Situation de l'EX-HABITAT-----	34
Figure 66 : Vue d'ensemble de la parcelle d'intervention-----	34
Figure 67 : Vue en plan des différents niveaux -----	34
Figure 68 : Vues sur les différentes espèces végétales -----	34
Figure 69 : Positionnement des différents arbres-----	34
Figure 70 : Etude de la course du soleil -----	34
Figure 71 : Vitesse moyenne et direction des vents dominants pour la région de Tizi-Ouzou entre 1990 et 2006 -----	34
Figure 72 : (1) De la cours du bloc B vers le hall (2) Du hall vers la cours du bloc B (3) Bloc B à gauche, bloc A en face et à droite-----	34
Figure 73 : Façade principale du bloc A -----	34
Figure 74 : Végétation structurant la façade de bloc A-----	34
Figure 75 : Structure du bloc A et B-----	34
Figure 76 : Schéma de structure-----	34

Figure 77 : ITE sous enduit-----	34
Figure 78 : ITE sous bardage-----	34
Figure 79 : Détail d'un double vitrage-----	34
Figure 80 : Détail du toit-jardin-----	34
Figure 81 : Principe du puits canadien-----	34
Figure 82 : Schéma explicatif-----	34
Figure 83 : Détail d'un rupteur de pont thermique-----	34
Figure 84 : Les différentes couches de revêtement-----	34
Figure 85 : Schéma d'un drainage conventionnel-----	34

# ANNEXES









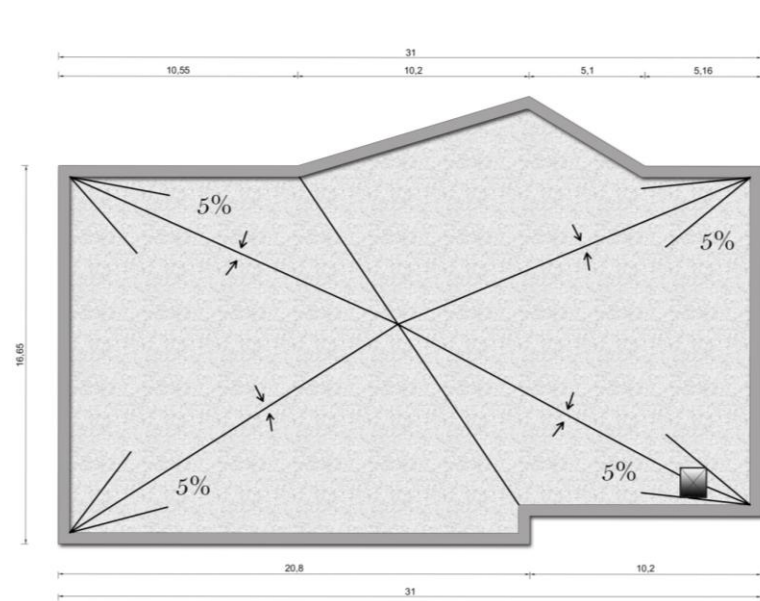




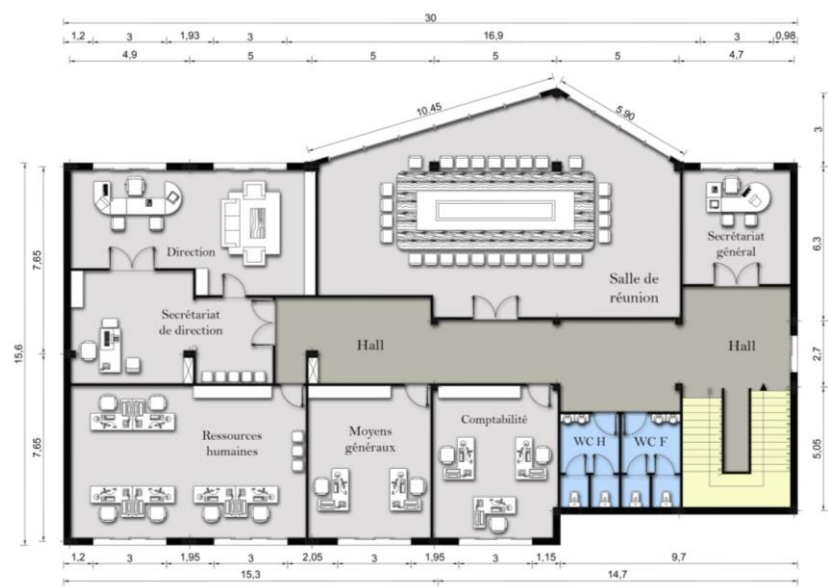
# PLAN DE MASSE



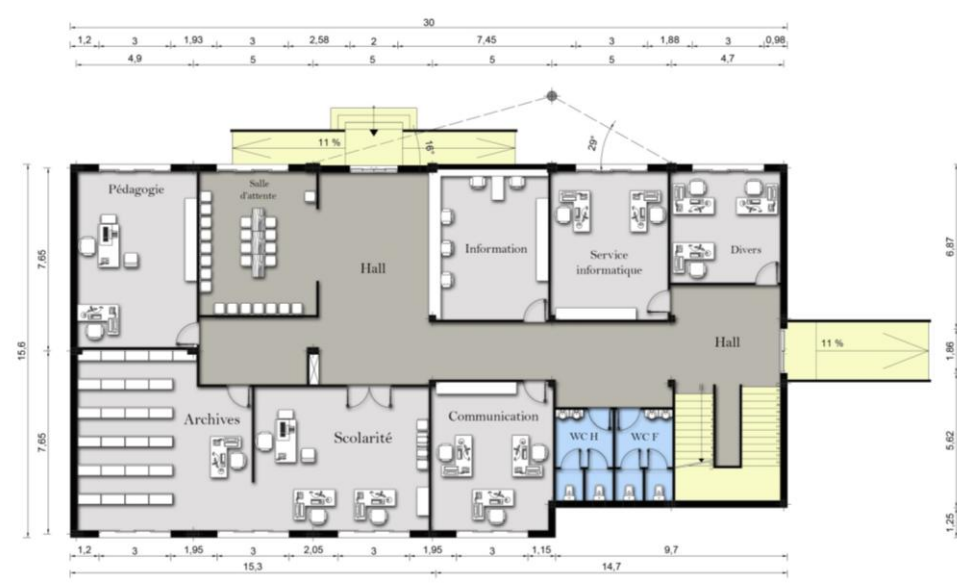
# ADMINISTRATION



TOITURE

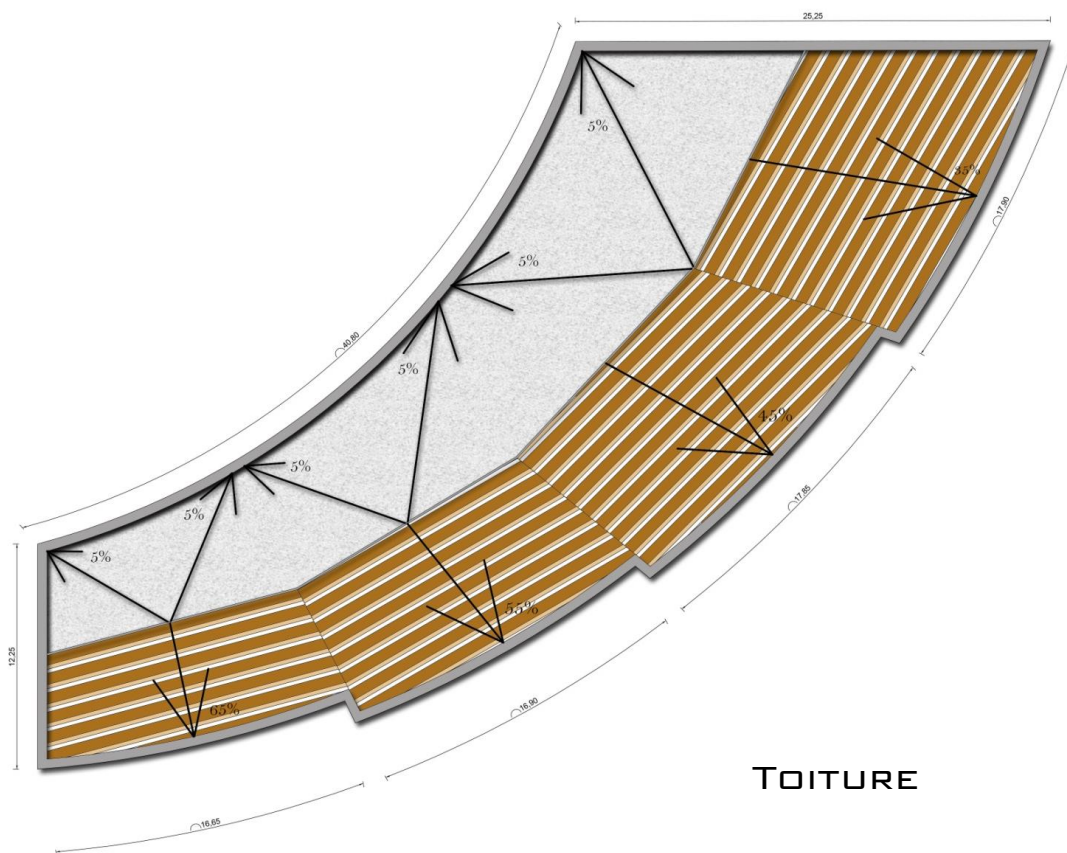


R+1

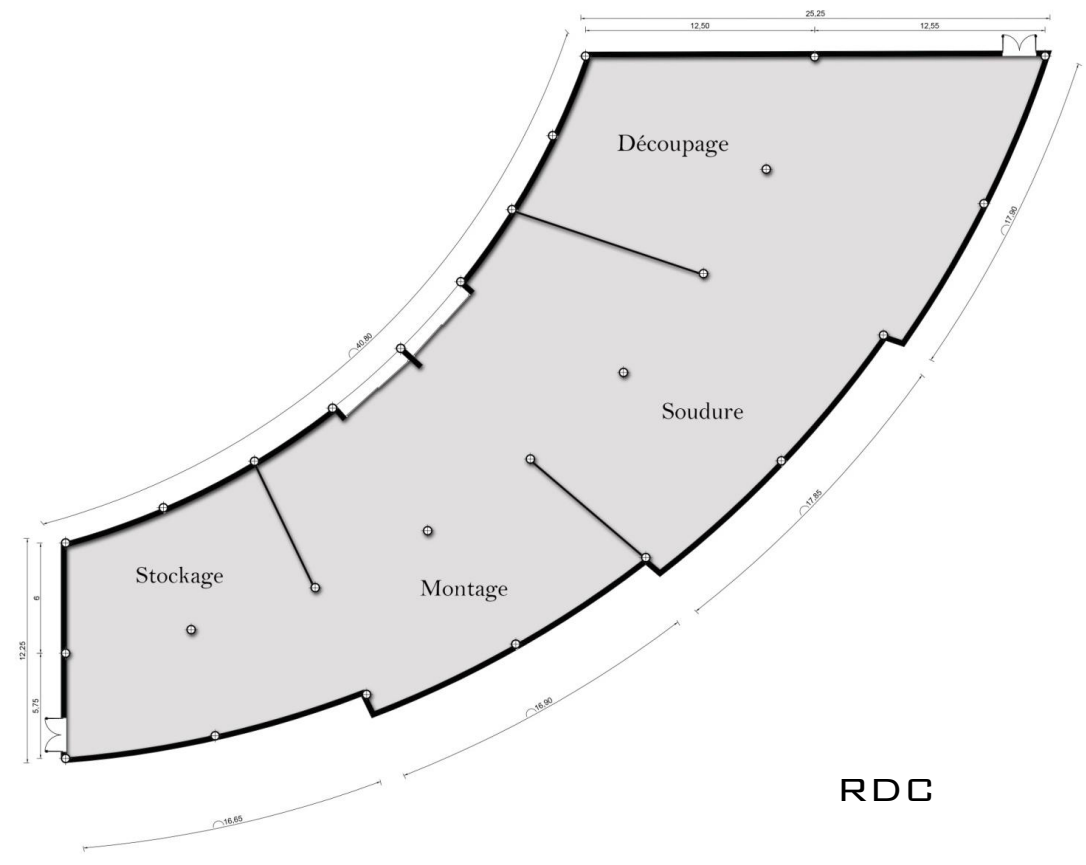


RDC

# ATELIER MAQUETTE

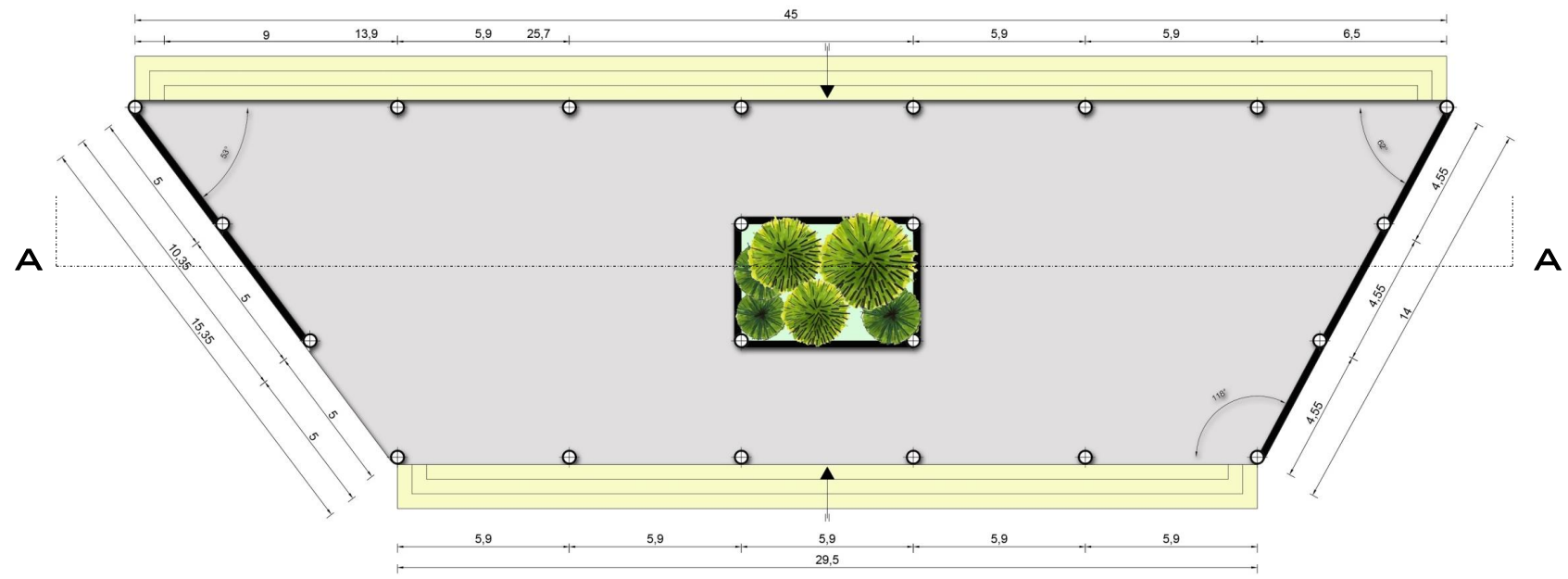


TOITURE

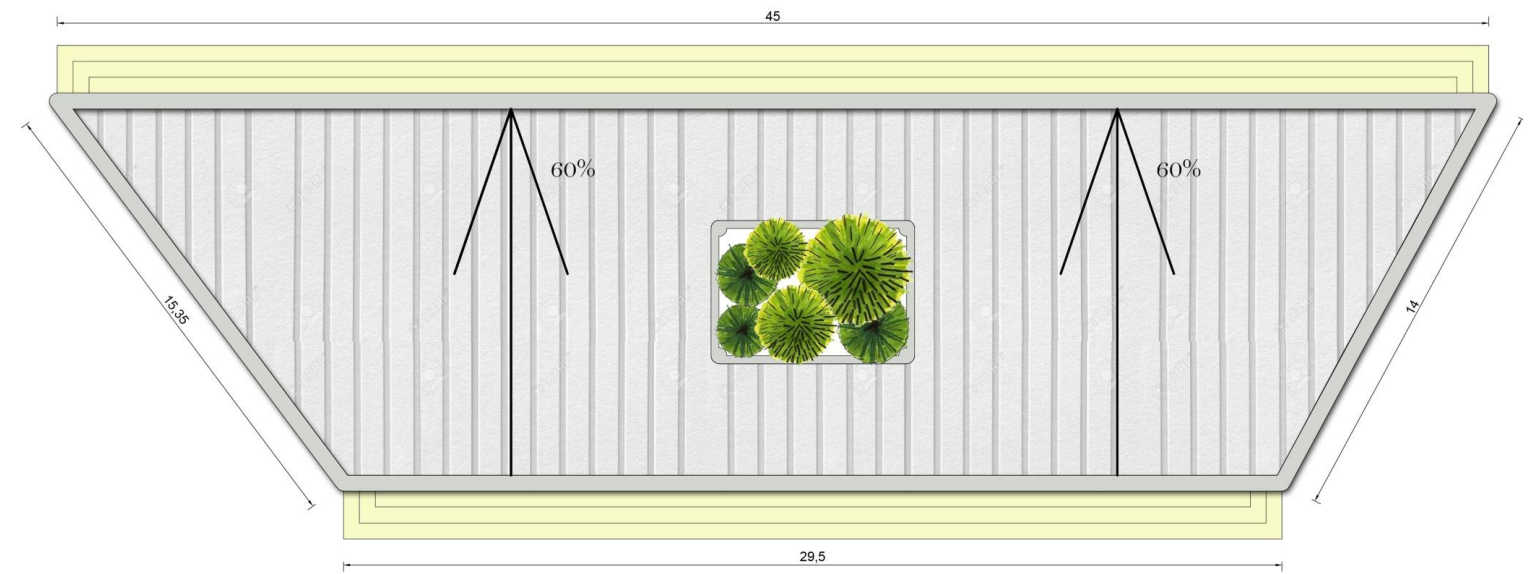


RDC

# EXPOSITION



RDC

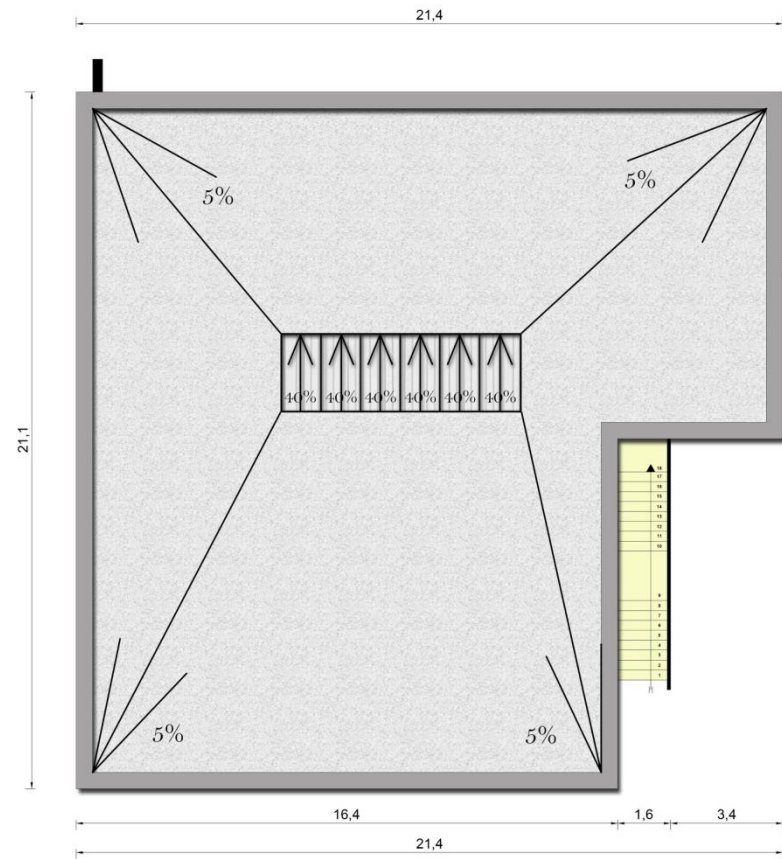


TOITURE



COUPE AA

# LIBRAIRIE/ENSEIGNANTS



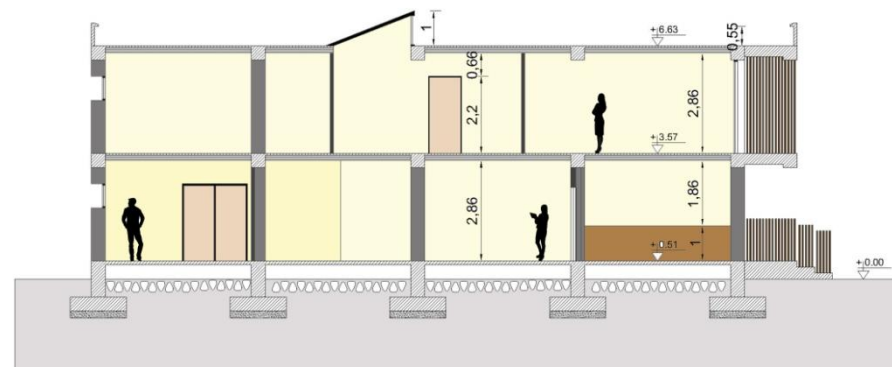
TOITURE



R+1

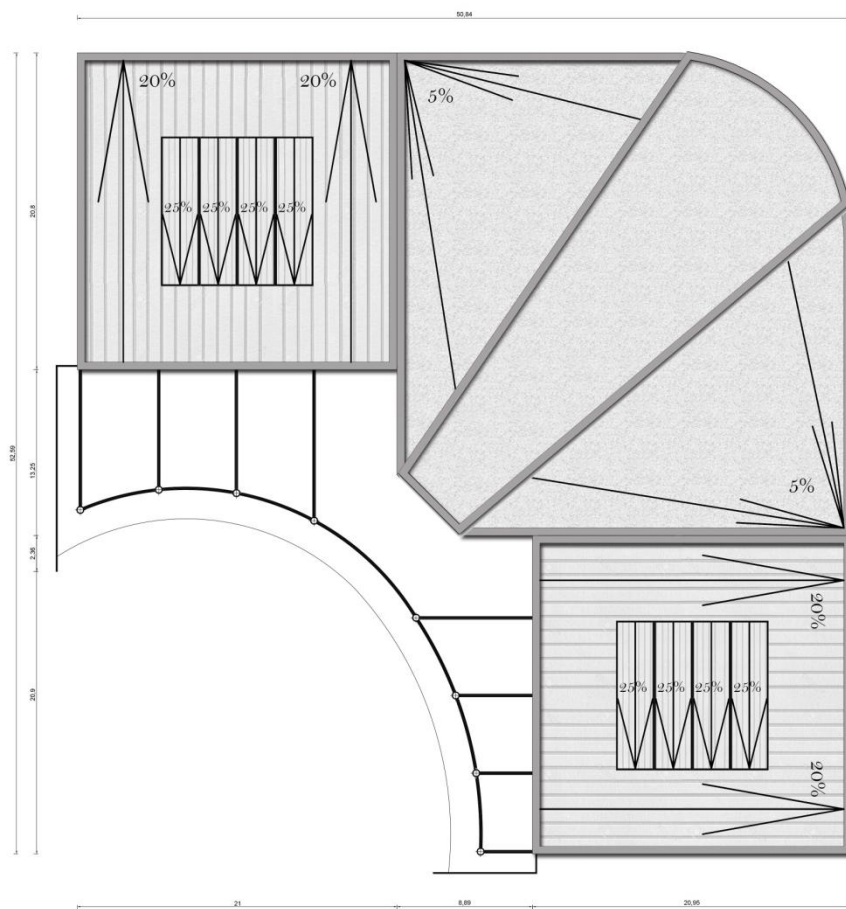


RDC

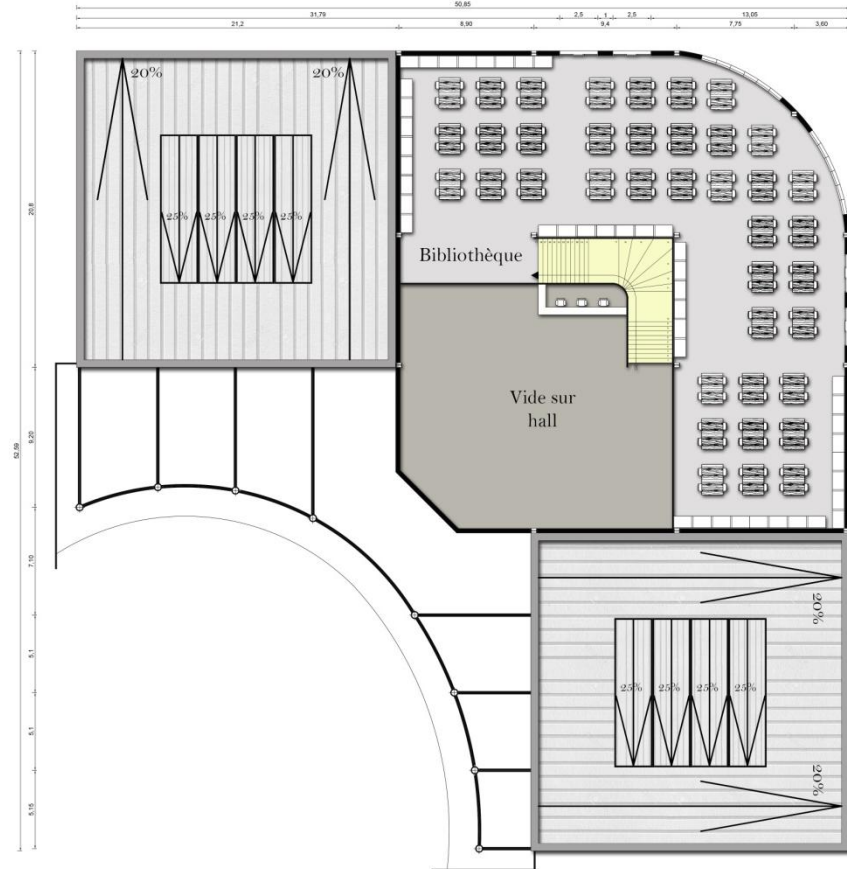


COUPE AA

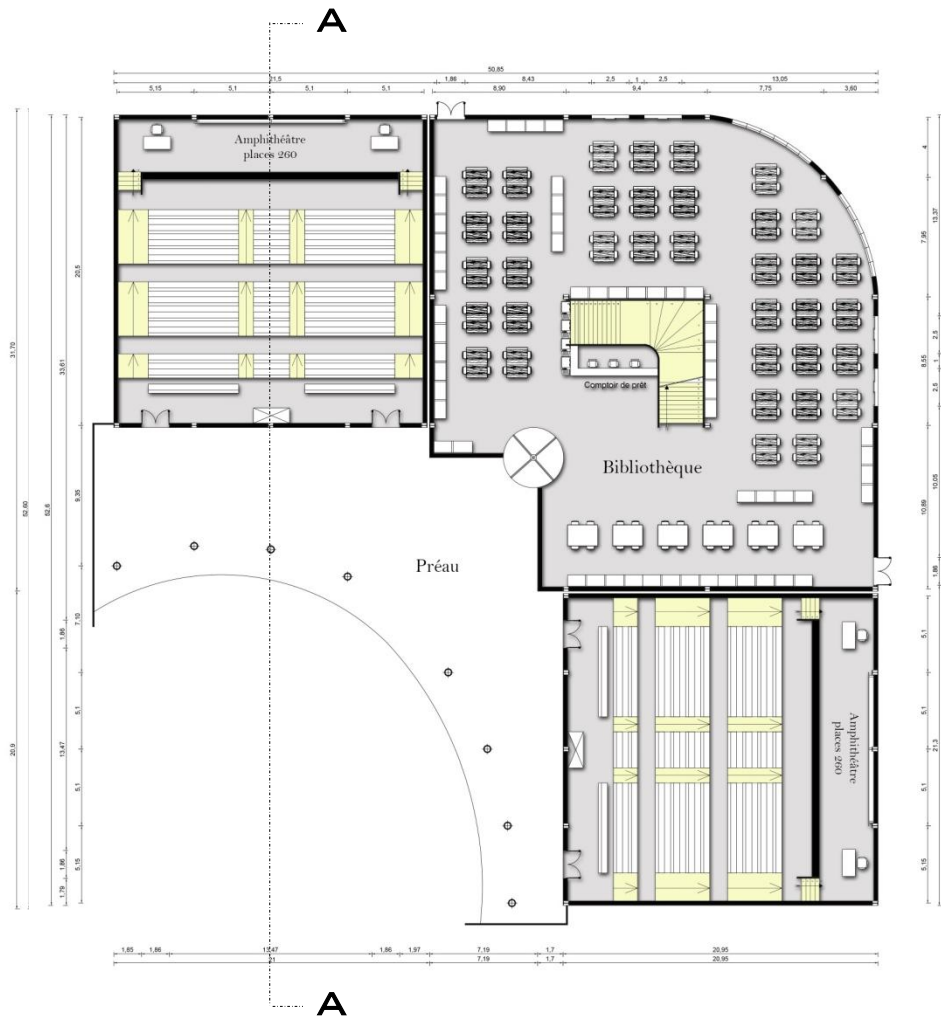
# AMPHITHÉÂTRES/BIBLIOTHÈQUE



TOITURE



R+1



RDC



COUPE AA

# SALLES TD

