

**Le confort d'été dans l'architecture vernaculaire
et ses applications dans l'architecture contemporaine**

MEMOIRE de FIN de STAGE
Session 2010-2011

FORMATION :

EUROPE & ENVIRONNEMENT
12 rue Justin Godart - 69004 LYON
Tél. : 06 75 46 73 27
www.europeetenvironnement.eu
Mél : europe.environnement@wanadoo.fr

EQUIPE

Sylvie Solvet - sylviesolvet@free.fr
Pierre Lamotte - pierrelamotte@gmail.com
Marie Delhommeau - marie.delhommeau@montreuil.fr
Christine Pezzana - christine@fontani.fr

Synopsis

L'étude de procédés d'architecture vernaculaire pour le confort d'été, à différentes échelles (l'aménagement urbain, le bâtiment et son enveloppe, les systèmes) semble une riche source d'inspiration pour les architectes d'aujourd'hui. Leur adaptation aux contraintes actuelles pourrait permettre d'étoffer l'éventail des solutions pour assurer le confort d'été dans les bâtiments bioclimatiques, qui privilégient parfois le confort d'hiver et la réduction des besoins en chauffage. S'affranchir des systèmes de refroidissement ou de ventilation énergivore pourrait en effet devenir le prochain défi pour l'architecture bioclimatique, avec la multiplication des épisodes caniculaires due au dérèglement climatique.

Synopsis	2
Introduction.....	5
1. L'architecture vernaculaire pour le confort d'été.....	7
1.1 La forme urbaine.....	7
1.1.1 <i>Le rôle majeur de la forme urbaine dans le contrôle climatique</i>	7
1.1.2 <i>L'habitat lacustre et l'architecture de l'eau</i>	7
Villages pallafittes, un habitat lacustre du Néolithique.....	7
Madans et moudhifs des marais d'Amara (Irak)	9
1.1.3 <i>Les dispositifs vernaculaires islamiques pour garantir le confort d'été</i>	9
La ville de Fez (Maroc)	10
La ville d'Alep (Syrie).....	10
La ville de Marrakech (Maroc).....	10
La ville de Shibam (Yemen)	11
Comparatif des rues et espaces publics entre les villes de Fez-Alep et Shibam	11
Bâti et espaces extérieurs : l'exemple des mosquées.....	11
Différentes typologies d'habitat dans les espaces urbains vernaculaires.....	11
Paysagement des villes : l'exemple des jardins islamiques.....	12
1.1.4 <i>Les villes vernaculaires et le confort d'été : éléments clés à retenir</i>	12
1.2 Le bâti : enveloppe, matériaux et systèmes.....	13
1.2.1 <i>S'isoler</i>	13
Résistance thermique du matériau : constructions en terre	14
Mur extérieur protecteur : la citadelle de Barn (Iran).....	14
Inertie thermique des parois « internes » : tours de Sana'a (Yémen).....	15
Résistance thermique du matériau : constructions en « pierre»	15
Villes blanches, renvoyer la chaleur du soleil.....	16
Trogodytes : l'hyper-inertie thermique des locaux enterrés.....	16
Couvertures voûtées : "maisons-obus", voutes nubiennes et maisons "pains de sucre"	16
Toitures plantées.....	16
Double peau et combles ventilés	17
Protections solaires : ombrage par des galeries ou loggias, patios	17
Protections solaires : des plantations pour ombrer les bâtiments.....	17
Protections solaires : les systèmes (brise-soleil, stores vénitiens, etc.)	18
1.2.2 <i>Ventiler et climatiser</i>	18
Pourquoi ventiler ?	18
Pouvoir rafraichissant de l'eau : l'évaporation.	20
Pouvoir de l'inertie en confort d'été : stocker des frigories	20
Fraicheur et l'inertie de la terre : la géothermie	21
Rayonnement nocturne.....	21
Constructions vernaculaires en climats chauds et humides	21
Constructions vernaculaires en climats chauds et sec.....	22
Utilisation de l'eau pour rafraîchir	25
Tours à vent et utilisation de l'action du vent et de la convection	25
Glacières naturelles : produire et conserver le froid (voir annexe).....	Erreur ! Signet non défini.
2. Des sources d'inspiration pour l'architecture d'aujourd'hui.....	31
2.1 Une transposition complexe	31
2.1.1 <i>Lutter contre la mondialisation uniformisatrice</i>	31
Vers un confort thermique mondialisé	31
Vers un nouveau "localisme" des méthodes constructives	31
2.1.2 <i>Relever le défi des formes existantes</i>	32
Concilier densité et confort d'été	32
Transformer l'existant, un défi délicat	32
2.1.3 <i>Prendre en compte les réglementations et les contraintes actuelles</i>	32
La norme contre la créativité ?	32
Ou l'imagination au pouvoir ?.....	32
2.2 De l'échelle de la ville à celle du bâtiment : solutions contemporaines inspirées du vernaculaire.....	33
2.2.1 <i>Solutions contemporaines à l'échelle de la ville</i>	33
Analyser le métabolisme des villes.....	33

Favoriser la proximité et moindre utilisation au quotidien de la voiture	34
Rendre la ville compacte	35
Limiter les gaspillages	35
Evaluer les bilans financiers et fixer des objectifs environnementaux	35
Rafraichir et protéger du soleil les rues et les cours intérieures	36
Hierarchiser les espaces publics et l'ensemble des systèmes de transports.....	36
Organiser la densité du bâti	37
Favoriser les échanges entre la campagne et la ville, les terres productives en ville	37
Utiliser les sources d'énergies renouvelables disponibles	37
Utiliser les outils réglementaires disponibles pour encourager l'évolution des pratiques.....	37
2.2.2 Solutions contemporaines à l'échelle du bâtiment	38
Inertie thermique et les parois « performantes » d'aujourd'hui.	38
Inertie thermique en expérimentation : le « changement de phase ».....	38
Enveloppe double peau « intelligente ».....	38
De la double peau à la double façade ventilée	38
Développement des toitures végétalisées	39
Peindre nos villes en blanc ?	40
Protections solaires d'aujourd'hui : ombrières et protections polyvalentes	41
Bâtiment à énergie positive en climat tropical : l'IUP de Saint-Pierre (La Réunion - France).....	42
Privilégier des solutions passives : Lycée Jean-Jaurès à Saint-Clément de Rivière (France)	42
Ventiler grâce aux effets du vent	43
Ventiler par tirage thermique : les cheminées thermiques (ou solaires).....	44
Concevoir pour minimiser les besoins en climatisation : le BRE Office à Watford (GB)	44
Organiser la ventilation naturelle : exemples de bâtiments d'enseignement	45
Conclusion.....	47
Bibliographie	48
Ouvrages	48
Sites Internet	48
Littérature grise	48

Introduction

Si au 19^{ème} le Littré¹ définit sobrement l'architecture comme "[l']art de construire les édifices", on peut lire dans son homologue du 21^{ème} siècle, le Wiktionnaire², qu'il s'agit de "[l']art de transformer, de concevoir et construire des édifices et des espaces extérieurs selon des critères esthétiques et des règles sociales, techniques, économiques, environnementales déterminées".

Cette seconde définition nous paraît particulièrement intéressante, car elle met en lumière les nombreux paramètres que l'architecte est amené à concilier dans son travail. Le paramètre environnemental, cité en dernier, pourrait apparaître comme le petit nouveau de cette liste, tant l'architecture de l'ère industrielle³ s'est détachée de l'attention portée aux conditions climatiques pour aller vers une uniformisation des solutions constructives.

Et pourtant, avant cette période, les édifices construits par l'homme cherchaient, par leurs spécificités et leur diversité, à concilier trois facteurs :

- **l'homme**, pour assurer sa survie et son confort, en fonction du milieu naturel où il évolue ;
- **le climat**, qu'il s'agisse de s'en protéger ou d'exploiter les éléments naturels considérés comme "bénéfiques" pour l'homme ;
- **les bâtiments**, comme forme de réponse de l'homme pour s'adapter au climat localement.

Aucune réponse universelle ne semble possible, tant chacun de ces facteurs peut présenter de variations, dont nous ne pouvons citer ici que quelques exemples :

- **l'homme**, son ressenti subjectif du confort, ses différentes activités, son mode de vie en société ;
- **le climat**, chaud ou froid, humide ou sec, le vent et le rayonnement solaire et toutes les combinaisons possibles en ces facteurs (chaud-humide, chaud-sec, chaud-vent, froid-humide, etc.) ;
- **le bâtiment**, son implantation géographique, son enveloppe et les matériaux qui le composent, les systèmes simples ou complexes dont il est équipés, sa toiture ou couverture, etc.

L'architecture de la période "pré-industrielle" pourrait donc être définie comme vernaculaire : "*qui est propre à une région ou à un pays ou à ses habitants*"⁴. Pour analyser les réponses vernaculaires au vu de la complexité des paramètres décrits, il est nécessaire de restreindre le champ d'étude à une typologie de climat, et nous avons choisi (cf. infra) le cas des milieux chauds, qui poussent à rechercher des solutions pour le ce qu'on appelle aujourd'hui le confort d'été.

Nous nous attacherons dans ce mémoire à développer les réponses apportées par l'architecture vernaculaire pour vivre dans des conditions climatiques dite d'été (partie 1), caractérisées par une forte chaleur, accompagnée d'une atmosphère sèche ou humide, de puissants rayonnements solaires et d'une absence de vent (ou la présence de vents chauds). Pour mieux survivre dans ce contexte, l'homme a donc recherché des solutions pour :

- **se protéger des rayonnements solaires** par des protections solaires ;
- **mieux ventiler les lieux de vie**, par une ventilation naturelle ou des systèmes de ventilation ;
- **apporter ou rechercher de la fraîcheur**, par des modes de "climatisation" naturels.

Le contraste est fort avec l'architecture issue de l'ère "industrielle", qui, pour la structure et l'implantation des bâtiments, ne tient compte qu'à la marge de la spécificité géographique et du climat. Elle compense cette "uniformisation" par le recours immodéré aux systèmes de refroidissement énergivores, alimentés par des sources d'énergies fossiles non renouvelables (pétrole, gaz, charbon, etc.).

Mais le dérèglement climatique actuel et l'épuisement des ressources qu'on sait aujourd'hui non-renouvelables, conduisent à rechercher des réponses nouvelles en architecture, urbanisme et construction. L'enjeu, y compris pour les zones tempérés, est de mieux vivre les épisodes caniculaires qui se multiplient et surtout de limiter les besoins en énergie. C'est dans ce cadre qu'a émergé l'intérêt pour une architecture plus respectueuse de son environnement. On utilisera ici le terme de bioclimatique, c'est-à-dire "*qui valorise l'environnement géographique et climatique d'un bâtiment, dans le respect des*

¹ Dictionnaire de la langue française, plus connu comme le Littré, du nom de son principal auteur Émile Littré, dictionnaire normatif de langue française, publié par Hachette entre 1863 et 1872 pour la première édition, [consulté le 07 novembre 2010] <http://francois.gannaz.free.fr/Littré/accueil.php>

² Dictionnaire libre, gratuit et collaboratif en ligne, branche francophone du projet Wiktionary, [consulté le 7 novembre 2010] <http://fr.wiktionary.org/wiki/architecture>

³ On évoque ainsi la période débutée au 18^{ème} siècle, et qui trouve son apogée entre le milieu du 19^{ème} et le milieu du 20^{ème} siècle, qui se caractérise par une croissance durable et irréversible de la production industrielle, accompagnée de transformation dans l'organisation de la production et dans les sociétés. Elle repose sur une idée de rupture avec le passé et un effacement de facto des spécificités locales "vernaculaires". (d'après Wikipedia, <http://fr.wikipedia.org/wiki/Industrie>)

⁴ D'après le Wiktionnaire, [consulté le 5 novembre 2010] <http://fr.wiktionary.org/wiki/vernaculaire>

modes et rythmes de vie ainsi que de la santé énergétiques du cycle de vie d'un bâtiment (construction, exploitation, rénovation, déconstruction) sans créer de pression sur les ressources environnementales, afin de maintenir des températures constantes et agréables, tout en contrôlant l'hygrométrie, l'acoustique, la qualité de l'air et la lumière intérieures. Elle a pour objectif de réduire au minimum les besoins des usagers du bâtiment."⁵

Né d'abord dans les pays développés et en Europe, cet intérêt s'est d'abord logiquement tourné vers le confort d'hiver, pour limiter les besoins en chauffage, favoriser l'isolation et l'inertie thermique, ainsi que l'étanchéité à l'air des bâtiments. Des solutions convaincantes ont été trouvées et l'on sait aujourd'hui réaliser des bâtiments ne nécessitant quasiment aucun système de chauffage⁶. Le défi est donc de concilier ces progrès pour le confort d'hiver avec une meilleure prise en compte du confort d'été.

Nous avons donc voulu explorer dans ce mémoire les procédés qu'utilisaient les architecture vernaculaires pour s'adapter aux conditions climatiques de chaleur extrême et assurer le confort d'été dans les bâtiments (partie 1). Cette recherche nous a permis d'explorer si certaines techniques vernaculaires pourraient encore devenir des sources d'inspiration pour la construction contemporaine (partie 2), afin de capitaliser sur l'expérience du passé et le bon sens de ceux qui nous ont précédés, plutôt que de chercher dans le progrès scientifique des systèmes techniques complexes, gourmands d'une énergie qui se raréfie.

⁵ D'après Wikipedia : http://fr.wikipedia.org/wiki/Architecture_bioclimatique

⁶ En référence par exemple au label allemand "Passivhaus" ou à la RT 2020, qui reste à définir (bâtiment passif, sans système de chauffage ou bâtiment "à énergie positive" ?)

1. L'architecture vernaculaire pour le confort d'été...

1.1 La forme urbaine

1.1.1 Le rôle majeur de la forme urbaine dans le contrôle climatique

L'origine de l'existence des constructions est tout d'abord liée aux conditions environnementales et au fondement économique de la population qui les développe, avant d'être issue d'une culture ou d'un rituel spécifique.

Offrir un environnement maîtrisé, en supportant les variations saisonnières de température, c'est réexplorer les technologies passives qui utilisent l'énergie renouvelable domestiquée à partir des ressources naturelles comme les plantes, le vent, le soleil, la terre et l'eau. C'est se rappeler les techniques anciennes qui ont largement démontrées leur efficacité.

A travers la typologie spécifique du « construit » des zones tropicales ou prédominent les hautes températures, l'humidité et les pluies abondantes ; puis la typologie spécifiques du « construit » des zones à forte sécheresse et à forte amplitude thermique, nous allons observer le rapport intime de la ville avec son environnement, le rôle majeur de la forme urbaine dans le contrôle climatique, au travers de quelques exemples qui nous ont semblé significatifs.

1.1.2 L'habitat lacustre et l'architecture de l'eau

Villages palafittes, un habitat lacustre du Néolithique

Une maison sur échasses

Les palafittes sont des habitations sur l'eau, construites sur pilotis, allant des maisons individuelles à des villages entiers ; reliées entre elles et à la terre ferme par de grandes passerelles et des jetées. C'est une des typologies les plus anciennes de l'architecture vernaculaire, et celle qui s'est le plus développée sur notre planète. Son origine est aussi lointaine que l'histoire même de l'humanité.

Depuis les vestiges des premières constructions lacustres en Suisse (env. 3000 ans avant JC) aux maisons traditionnelles sur pilotis des différents continents (Afrique, Océanie, Amérique), les palafittes sont en relation directe avec l'eau, et toutes développent leurs réseaux (commerce et transports) en utilisant l'eau comme voie principale. Il s'agit d'une typologie qui a peu changée au fil des siècles : matériaux et méthode constructive restant traditionnellement les mêmes.

Cette typologie se rencontre sur la géographie des cinq continents, dans la zone tropicale de la planète, même si l'on a trouvé de nombreux vestiges en Europe.

Cette typologie est appropriée aux conditions environnementales du lieu : eau et chaleur.

Le climat chaud et humide se caractérise par un rayonnement intense, et l'inconfort dû à l'humidité augmente rapidement avec la chaleur. Il faut donc ventiler au maximum l'habitat et se procurer de l'ombre, mais une forte inertie thermique est inutile puisque la température varie peu.

Les maisons érigées sur l'eau profitent des courants d'air, protègent leurs habitants des animaux sauvages et des moustiques et sont la solution aux changements de niveaux. des eaux provoqués par les inondations.

Des ensembles urbains (néolithique -5000 à 800 ans avant JC)

Les palafittes sont des groupements urbains de différentes tailles, formés par des structures individuelles unies par des ponts ou par de vastes plateformes sur lesquelles sont érigés plusieurs bâtiments.

Cette typologie vernaculaire simple a engendré des colonies urbaines complexes qui dénotent une relation étroite et respectueuse entre les populations et le milieu naturel.

La préservation des écosystèmes et la conservation d'un mode de vie respectueux déterminent l'évolution de ce système social complexe : ce sont des structures urbaines particulières dont l'architecture a évolué en tenant compte des changements sociaux et économiques de la région, mais sans oublier les conditions de l'environnement géographiques.

A l'origine, l'édification d'un village lacustre était un travail étalé sur plusieurs générations, même si les constructions n'étaient jamais définitives. Une partie de l'habitat était construit sur la terre ferme : cuisine et salle commune. Les palafittes ont donc été construits pour fuir les dangers de la terre

et servir de refuge pendant la nuit. Puis ils deviennent une forme d'habitat permanent disposant de tous les espaces nécessaires à une famille.

Puis, les habitants de la plus part des palafittes contemporains ne dépendent plus des rivages ; ils ont accumulé un mélange de limon et de coquillages de mollusques pour gagner du terrain sur l'eau. Ainsi culture et élevage ont été possibles.

On trouve encore des palafittes en Indonésie, en Thaïlande, aux Philippines et au sud de l'Inde.

Soit la structure qui surélève la maison soutient à la fois la plateforme qui tient lieu de sol et les cloisons qui la ferment, soit la structure soutenant les plateformes où sont construites les maisons est indépendante de la structure de chaque bâtiment. Les ponts de bois sont les principales voies de communication et les barques le moyen de transport prédominant.

Siberut est une des quatre îles de l'archipel de Mentawai. Le climat tropical et le régime des moussons déterminent ces habitations établies en tenant compte de la végétation environnante qui leur assure ombre et protection contre les vents. L'implantation est conditionnée par l'accès au fleuve, source d'eau potable et voie de communication.



Dans le grand Marais de Santa Marta, (côte caraïbe colombienne), trois villages lacustres subsistent depuis le XIXème siècle. Il s'agit d'ensembles urbains complexes (habitations et commerces), reliés entre eux par des rues et des placettes et où les relations intracommunautaires se sont adaptées aux conditions de la vie sur l'eau, avec la barque comme seul moyen de transport et la pêche comme économie. Le bois est le matériau utilisé pour la structure et les murs tandis que la toiture à l'origine en feuille de palmes a été remplacée par des plaques de ciment ou de tôle.

Au sud du Chili, les palafittes sont construits juste en bordure des collines qui donnent sur l'océan pacifique. On peut y accéder depuis la terre. Dans cette agglomération urbaine, la plus part des maisons sont à deux niveaux. La vie quotidienne se déroule en fonction des besoins de la communauté.

Cette architecture de l'eau s'adapte parfaitement aux contraintes environnementales.

C'est le premier point qui détermine sa conception : situation et hauteur du bâtiment par rapport aux variations du niveau du plan d'eau. L'habitat lacustre est une unité très compacte, composée d'un unique volume couvert, comportant deux ouvertures pour la ventilation intérieure.

Quand l'armature du bâtiment est indépendante de la structure immergée, on construit une plateforme reposant sur celles-ci. Les pilotis immergés s'élèvent entre 4 et 10 mètres au dessus de l'eau et leur extrémité comportent une mortaise qui servira à fixer les poutres de la plateforme : Elles seront les supports du sol qui servira d'assise à la maison. La plateforme devient une partie des fondations du palafitte. Dans d'autres cas les pilotis plantés forment parties intégrantes de la structure de l'édifice jusqu'à la toiture sur laquelle on fixe les planchers et les murs.

La technique ne varie que très peu en fonction de l'époque de la construction et des matériaux présents dans la région.

Le matériau utilisé est le bois, ressource prédominante des régions intertropicales de la planète, justement là où cette typologie a été principalement développée. C'est un matériau flexible et facile à manipuler quand on travaille sur l'eau

Madans et moudhifs des marais d'Amara (Irak)

Les Madans des marais d'Amara, au sud de l'Irak, disposaient d'une seule ressource pour construire leurs maisons, le roseau phragmite communis géant, grâce auquel ils réalisaient toutes leurs constructions, habitations ou étables, ainsi que les moudhifs, vastes maisons collectives destinées aux activités communautaires. Faute de bases solides dans les terrains marécageux, les fondations mêmes sont faites d'assemblages de roseaux pour obtenir une plateforme hors d'eau.

La structure primaire du moudhif est formée d'un nombre impair d'arches (de 7 à 15). Chacune est constituée de deux faisceaux cylindriques de roseaux de 30 à 100 centimètres de diamètre à la base. La structure secondaire porte la couverture dans chaque travée.



© Wilfried Thesiger

Les peuples lagunaires de Côte-d'Ivoire ainsi que les Malais bâtissent des murs de bambous ou de côtes de palmier juxtaposés verticalement qui, outre la bonne ventilation qu'ils autorisent, filtrent la lumière et évitent la réverbération violente.

En Oman, les pêcheurs du bord de mer se sont dotés d'un habitat très élaboré, conçu de manière à assurer un certain confort thermique. Il comporte deux parties dans la même cour : des pièces d'hiver aux murs de terre épais, dont l'inertie thermique permet d'avoir chaud la nuit et de retransmettre la fraîcheur nocturne pendant le jour ; des pièces d'été en tranche de palme juxtaposées verticalement et liées, laissant passer le vent. Le dispositif est complété par les « tours à vent » en poteaux de bois, supportant quatre grandes pièces de tissu disposées selon les diagonales, de manière à capter les vents venant de toutes les directions. Le flux d'air est aspiré naturellement vers le bas, créant dans la pièce située au-dessous un courant d'air rafraîchissant.

1.1.3 Les dispositifs vernaculaires islamiques pour garantir le confort d'été

Les architectures islamiques se sont adaptées aux conditions climatiques locales qui sont caractérisées par une forte sécheresse, une importante amplitude thermique quotidienne (jour nuit), une moyenne de température annuelle assez élevée, une forte intensité de rayonnement solaire et des vents. Leur implantation dans le paysage, la forme urbaine, l'enveloppe des bâtiments, leurs structures, leurs toitures et leur imbrication sont les résultats de cette adaptation et leur adéquation à ces sévères conditions climatiques.

Observons le rapport intime de la ville avec son environnement, le rôle majeur de la forme urbaine dans le contrôle climatique comme la compacité de la ville qui sert à la fois à éviter l'exposition des façades au rayonnement solaire et éviter au maximum les vis-à-vis dans un souci d'intimité ; voir que la continuité des ruelles, bien que tortueuses permet, à la fois de relier tous les grands équipements urbains et assurer des mouvements d'air à l'échelle urbaine.

Les quatre exemples de ville de pays chaud, déclinés ci après, permettront d'observer les mêmes réponses qu'on eu les êtres humains face aux conditions environnementales du lieu.

La ville traditionnelle du monde islamique est constituée d'édifices de hauteurs moyennes (un ou deux niveaux) associés par mitoyenneté pour ne former qu'un tissu complexe continu et ne présentant

quasiment que les toitures et quelques façades réduites vers l'extérieur. Cette forme urbaine répond à la fois à des fonctions climatiques et des fonctions sociales.

Les exemples de villes qui seront étudiées plus loin sont tous caractérisés par une forte inscription dans leur site. Que le choix de leur établissement se soit effectué pour des raisons défensives ou pratiques (la proximité d'un point d'eau, de terres riches...), cette inscription est réelle aussi bien d'un point de vue climatique, que paysager.

La ville est en quelque sorte constituée comme le « prolongement du terrain naturel. Elle épouse les mouvements du relief. Elle est construite avec les matériaux disponibles sur place, créant une unité de matière avec son site.

Elles ont toutes su tirer partie des avantages climatiques de leur situation (vents, pluies...) et se protéger judicieusement des rayons du soleil par leur forme urbaine bien caractéristique.

La ville de Fez (Maroc)

La ville de Fez est intéressante pour les rapports entre surface du territoire, densité du construit et végétalisation : elle est constituée de 67% d'espaces fermés pour 33% d'espace ouverts.

Les rues étroites, la hauteur des maisons (deux niveaux) et l'épaisseur des murs contribuent à une bonne isolation et au maintien d'une température agréable, sans apport d'énergie. L'entité de base est la maison de terre battue, de brique crue ou pisée, à deux niveaux seulement, avec son petit jardin en courrette entourée de hauts murs.

Voir schémas
ANNEXE 1

La ville d'Alep (Syrie)

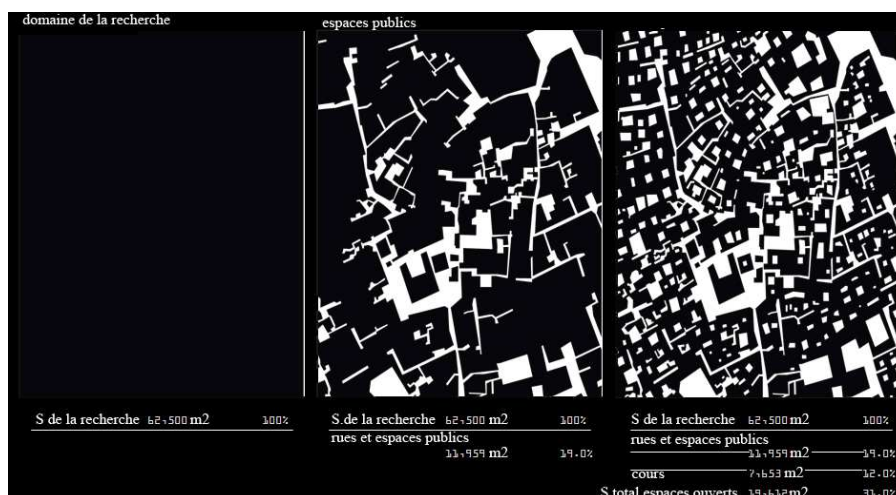
Alep est une des plus anciennes villes habitées au monde, située au nord du pays. Les êtres humains s'y sont installés depuis 4 000 ans dont 2 000 ans avant JC ; ceci a été prouvé lors de la découverte des maisons d'habitation sur le site de Tell Qaramel ; l'une des collines où les anciens ont construit la ville d'Alep. Sa longue histoire est probablement due à sa position géographique : située sur un point médian et à carrefour stratégique entre la mer Méditerranée et l'Euphrate. Au départ, Alep s'est développée sur un petit groupe de collines qui entourent le point le plus haut où le château fut construit. La rivière Quweiq (قويق) traverse la ville et l'irrigue.

Voir schémas
ANNEXE 2

La ville de Marrakech (Maroc)

La ville de Marrakech est constituée de 67% d'espaces fermés pour 33% d'espace ouverts dont la moitié sont des jardins, sur un territoire de 62 500 m². Le bâti est extrêmement serré, sur une trame orthogonale

Hormis sur cour ou le long des places, les maisons et les édifices ne présentent pas de façade. On ne peut pas tourner autour d'un bâtiment. Le bâtiment se fond dans la masse urbaine.



Marrakech (Maroc),
analyse de la trame viaire et de la trame parcellaire



La ville de Shibam (Yemen)

Shibam, en arabe مابش, est une ville du Yémen, située dans l'Hadramaout et peuplée de 7 000 habitants. Son architecture en immeubles de briques terre crue de plusieurs étages séparés par un dédale de ruelles étroites lui vaut le surnom de « Manhattan du désert » et son inscription au patrimoine mondial de l'UNESCO. Elle fut à de nombreuses reprises la capitale du royaume Hadramaout.

La méthode de construction des immeubles en terre crue est ancestrale et suit un plan bien défini ; les plus anciennes datent du XVI^e siècle (la ville a brûlé au XV^e siècle). Pour lutter contre les intempéries, les façades sont recouvertes d'un enduit épais qu'il faut renouveler régulièrement.

Les terrasses des maisons de Shibam sont recouvertes d'un enduit utilisé par les maçons du Hadramaout depuis la plus haute Antiquité, le "ramad", un mélange de chaux et de cendre qui, s'il est de bonne qualité et bien appliqué sur plusieurs couches, dure cinquante ans

Voir schémas
ANNEXE 3

Comparatif des rues et espaces publics entre les villes de Fez-Alep et Shibam

Voir schémas
ANNEXE 4

Bâti et espaces extérieurs : les espaces publics, l'exemple des mosquées et des espaces commerciaux

Voir schémas
ANNEXE 5

Différentes typologies d'habitat dans les espaces urbains vernaculaires

L'entité de base est la maison de terre battue, de brique crue ou pisée, à deux niveaux seulement, avec son petit jardin en courette entourée de hauts murs : maximum d'espace intérieur pour un minimum de surface de paroi de l'enveloppe.

La ville « à deux niveaux » entre les rues et les terrasses, permet à la fois de vivre là où il fait le plus frais selon les moments de la journée, et de créer une certaine sociabilité de voisinage, à l'abri des regards de la rue.

Voir schémas
ANNEXE 6

Les jardins d'Islam ont dû s'adapter à des conditions climatiques difficiles pour créer des espaces naturels maîtrisés utilisant les qualités des plantes du Sud. Les espaces dégagés y sont rares, de même que les allées découvertes, trop exposées. La rareté de l'eau et la permanence de l'ensoleillement ont amené une typologie particulière inspirée de l'aménagement des oasis: le jardin étagé.

Voir schémas
ANNEXE 7

1.1.4 Les villes vernaculaires et le confort d'été : éléments clés à retenir

Au cours de l'évolution du comportement humain, depuis le chasseur-cueilleur jusqu'à l'agriculteur, voir le citadin, les villes sont apparues comme le symbole de la spécialisation des fonctions de l'homme.

Le développement d'une ville ou son effondrement est lié à la perte ou l'abondance de ressources naturelles fondamentales.

En observant les villes, leur passé leur présent leur avenir, les pratiques quotidiennes de la vie en ville, on s'aperçoit que l'espèce humaine s'adapte d'une façon perpétuelle aux nouveaux environnements. Aujourd'hui, on sait que les perspectives de changement de climat ont été induites par l'homme.

Et même si les douze mille dernières années ont été une période de climat relativement stable, malgré certains épisodes localisés de variation de climat, suite à des changements d'affectation de la terre et en particulier la déforestation, depuis le début de la révolution industrielle, il y a deux cent cinquante ans, nous avons par nos activités entraînées des modifications et/ou des altérations de l'ensemble du système climatique.

Que nous sommes engagés dans un processus de changement climatique avec un réchauffement des températures moyennes sur le monde entier et qu'en conséquence, une hausse du niveau de la mer.

Ces modèles de villes inscrites sur le paysage naturel, tirant leur richesse aussi bien des contraintes du paysage alentour, nous font redécouvrir des pratiques simples d'adaptation de l'homme face à son environnement ; réapprendre les principes de villes closes pour maintenir la cohérence de la vie urbaine dans l'enceinte et prévenir les attaques de l'extérieur ; réapprendre les principes d'une ville équitable, une ville compacte et intégrée, une ville cohérente.

1.2 Le bâti : enveloppe, matériaux et systèmes

Cette partie du mémoire vise à introduire les différents dispositifs appliqués au bâtiment pour s'adapter aux contraintes climatiques d'été, dans l'architecture vernaculaire. Elle permet de poser également quelques principes de base en thermodynamique, climatisation, etc. qui sont indispensables à la compréhension des dispositifs vernaculaires. On abordera tour à tour les questions suivantes :

- **comment s'isoler** pour protéger du chaud les occupants ?
- **comment ventiler** pour éviter la stagnation de l'air chaud dans le bâtiment ?
- **comment climatiser** pour récupérer la fraîcheur là où elle existe ?

1.2.1 S'isoler

Avant d'aborder les systèmes d'isolation dans l'architecture vernaculaire, il paraît important de parcourir rapidement les principes de thermodynamique. Ils permettent en effet de comprendre comment peut être organisée l'inertie thermique du bâtiment.

Celle-ci dépend en effet de la manière dont le matériau réagit aux modifications de température. Sont notamment en jeu les notions d'effusivité et de diffusivité thermique et la manière dont s'organise les échanges thermiques entre l'air et les matériaux (conduction, convection, rayonnement).

Voir explications
ANNEXE 8

Plusieurs procédés sont utilisés plus ou moins simultanément, nous verrons pour chacun d'eux un ou plusieurs exemples d'architectures vernaculaires utilisant ces procédés :

- **La résistance thermique du matériau ;**
- **La réflectivité de la surface ;**
- **La réduction des échanges thermiques** (dont l'habitat troglodyte, les couvertures voûtées, les toitures plantées, la double peau et les protections solaires).

Nous ferons un zoom sur les protections solaires car elles sont d'un intérêt tout particulier pour l'architecture contemporaine et que les sources d'inspiration sont multiples dans le vernaculaire, notamment :

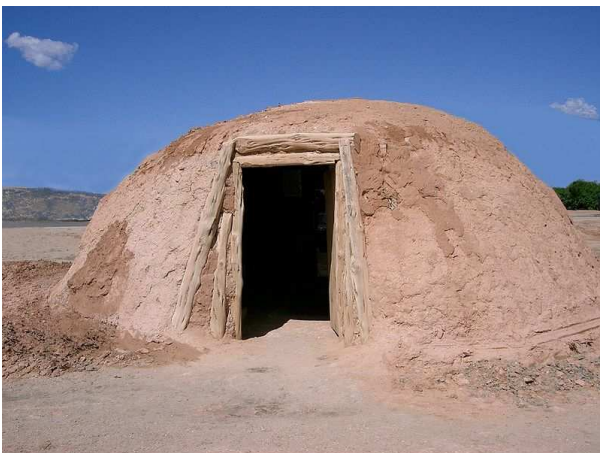
- l'ombrage par des galeries ou loggias, patios, etc. ;
- les plantations ;
- les systèmes.

La résistance thermique du matériau

Si la forme urbaine permet de limiter les expositions des façades dans certains cas d'habitat groupés, toutes les constructions sont exposées au rayonnement solaire.

La notion d'inertie thermique est souvent utilisée dans le cas du bâtiment où les températures intérieures et surtout extérieures varient fréquemment et où les matériaux constitutifs de la structure participent à la stabilité de la température intérieure.

L'inertie thermique est directement liée à la résistance thermique du matériau



Dans l'Architecture traditionnelle, sans mise en œuvre d'isolation thermique les murs porteurs épais et les façades des bâtiments en matériaux « lourds » (terre, pierre etc ..) ont aussi une fonction de masse thermique. Ils permettent le stockage et le déstockage de chaleur et de fraîcheur selon les principes de thermodynamique rappelés ci-dessus.

- *Habitation NAVAJO - HOGAN*

Résistance thermique du matériau : constructions en terre

L'adobe est de l'argile qui, mélangée à de l'eau et à une faible quantité de paille hachée ou d'un autre liant, peut être façonnée en briques séchées au soleil.

Par extension, l'adobe (ou banco) est la brique de terre crue, séchée au soleil et utilisée comme matériau de construction. Ces briques sont obtenues à partir d'un mélange d'argile, d'eau et éventuellement d'une charge utilisée en petite quantité : de la paille hachée par exemple.

Il s'agit d'un des premiers matériaux de construction : les premières villes connues étaient construites en briques de terre crue. Ce matériau est encore l'un des plus utilisés au monde. La terre présente des caractéristiques thermiques intéressantes, notamment diffusivité assez faible (donc bonne inertie) et effusivité suffisante.



Mur extérieur protecteur : la citadelle de Bam (Iran)

La « citadelle de Bam » était le plus grand ensemble construit en adobe du monde, situé à Bam, une ville de la province de Kerman dans le sud-est de l'Iran. Il est inscrit sur la liste du patrimoine mondial de l'UNESCO depuis 2004

S'étendant sur une superficie d'environ 180 000 m². Le mur d'enceinte s'élève à six ou sept mètres sur un périmètre de 1815 mètres.



Un mur exposé au rayonnement solaire et /ou à la chaleur de l'air, présentant une forte inertie va se charger progressivement de la chaleur reçue. Mais au moment où il commencera de restituer cette chaleur à l'intérieur des locaux, si la masse est suffisante la température extérieure aura baissé il ne restituera pas cette chaleur au moment le plus chaud de la journée mais la nuit lorsque la température est plus fraîche.

En étalant l'action de la chaleur et du froid extérieurs sur une longue durée la masse inerte des murs réduit l'écart entre les températures intérieures maxi et mini.

Notamment sous des climats où les amplitudes thermiques entre le jour et la nuit sont les plus fortes, l'enveloppe joue un rôle régulateur.

Inertie thermique des parois « internes » : tours de Sana'a (Yémen)

A surface de plancher égale, la forme architecturale peut avoir pour effet d'augmenter ou réduire l'inertie thermique du bâtiment.

Par exemple un bâtiment à étages présente les planchers intermédiaires non exposés à la chaleur extérieure dont l'inertie jouera un rôle significatif dans le comportement thermique du bâtiment. Les refends « lourds » participent également, car placés en position « interne » ils ne subissent pas de sur-échauffement.

- *Exemple des maisons tours de SANA'A au Yémen.*



Les maisons tours de SANA'S sont construites selon ces principes : de grande hauteur (4,5 ou 6 étages) elles sont construites en maçonnerie de pierre pour le soubassement et en brique de terre ou de pisée pour les niveaux supérieurs. La grande hauteur des bâtiments répond à la fois à une stratégie fonctionnelle de libération du sol fertile, à des raisons sociales : la polygamie réunit plusieurs familles dans une même maison mais aussi aux contraintes climatiques. Cette architecture est la solution face à la forte amplitude quotidienne des températures et à la forte intensité du rayonnement solaire et la sécheresse de l'air. La surface des parois extérieures est réduite par rapport aux volumes intérieurs diminuant ainsi les surfaces d'échange thermique, les planchers non exposés sont plus nombreux et contribuent à l'inertie thermique.

Résistance thermique du matériaux : constructions en « pierre »



La réflectivité de la surface

Les couleurs claires renvoient le rayonnement solaire, les couleurs sombres l'absorbent et réchauffent les matériaux. Ce phénomène peut être observé tous les jours. Par exemple en touchant la carrosserie d'une voiture blanche, puis noire. Cette dernière sera brûlante, la première simplement tiède.

Voir explications
ANNEXE 9

La capacité à renvoyer le rayonnement solaire est appelée réflectivité. Plus elle est grande et s'approche de 100 %, moins de rayonnement solaire sera absorbé et transformé en rayonnement thermique, réchauffant les matériaux.

Pour les façades des bâtiments, le même phénomène s'observe : la réflectivité diminue avec les couleurs sombres et la température des façades, puis des murs, augmente.

[Villes blanches, renvoyer la chaleur du soleil](#)

Voir photos
ANNEXE 9

La réduction des échanges thermiques

Celle-ci permet, comme l'inertie thermique des matériaux, de limiter la température dans le bâtiment.

[Troglodytes : l'hyper-inertie thermique des locaux enterrés](#)

L'habitat troglodytique est une architecture présente dans différentes traditions consistant à aménager des habitats souterrains ou creusés dans le rocher à flanc de montagne. Les maisons troglodytiques sont souvent creusées dans la roche tendre de type calcaire, mollasse ou grès.

Voir schémas et photos
ANNEXE 10

[Couvertures voûtées : "maisons-obus", voutes nubienues et maisons "pains de sucre"](#)

De nombreux bâtiments sont couverts de toits non plats qui présentent des avantages au regard de la protection solaire.

En effet, une coupole, ou un cône par exemple ne recevra pas le rayonnement solaire de façon uniforme (sauf à midi lorsque le soleil est vertical). **La chaleur absorbée par la partie du toit au soleil se transmettra à la partie plus fraîche du toit à l'ombre.**

De plus l'incidence de la forme de ces toitures n'est pas neutre sur les volumes intérieurs. **L'air chaud qui « monte » peut se concentrer au dessus des têtes** répondant au phénomène de stratification (voir annexe). Si une évacuation est aménagée en partie haute, la ventilation naturelle est très efficace.

Voir explications
ANNEXE 11

Toitures plantées

Le toit vert puise ses origines dans les pays où l'isolation thermique est un facteur primordial dans le choix des matériaux et techniques de construction. La technique existe depuis la Préhistoire ! Le principe est de recouvrir d'un substrat contenant des végétaux, un toit plat ou en faible pente suffisamment robuste, imperméable et résistant aux racines afin de l'isoler contre les intempéries, le froid en hiver et la chaleur en été. Historiquement, la construction de toitures végétales se fait de manière traditionnelle dans plusieurs pays scandinaves et européens.

Le principe utilisé depuis des millénaires dans la zone paléarctique, qui fait encore partie des traditions des Amérindiens d'Amérique du Nord, est le suivant : un épais mélange de terre et de végétaux herbacés enracinés permettait de réaliser des toitures relativement bien isolées, étanches à l'air et à l'eau, résistantes au vent et au feu, le tout se faisant avec des matériaux facilement disponibles localement. Ces lourdes toitures exigent de solides charpentes et une couche protectrice placée entre la partie végétalisée et la charpente afin que cette dernière ne pourrisse pas. Pour ce faire, on utilise traditionnellement par exemple des tuiles de bois peu putrescibles, ou plus souvent des plaques d'écorce déroulée de bouleau.

Voir explications et photos
ANNEXE 12

Double peau et combles ventilés

▪ *Combles ventilés*

Dans l'architecture vernaculaire les combles étaient rarement habités, ils servaient d'espace tampon, constituant une « double peau », ils occultaient le rayonnement solaire direct sur la paroi (plafond) en contact avec l'habitation, la ventilation de la toiture permettait la bonne conservation des charpentes et évitait un échauffement qui se serait transmis par le plafond surtout si celui-ci n'était pas thermiquement isolé.

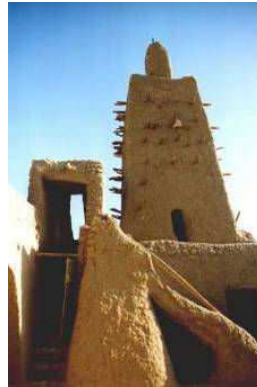
▪ *Exemple des constructions à double peau africaines : Mali- Niger*

On trouve au Mali ou au Niger par exemple des constructions à double paroi en banco.

Une paroi extérieure, une paroi intérieure et entre les deux un espace de 90 cm environ, faisant usage de lame d'air, ventilée en partie haute. Ou même par des percements en façade.



ville de Sangha - maison Ghi'na . Pays DOGON



Double peau BANCO- MALI

La paroi extérieure absorbe la chaleur de l'extérieur, l'air entre les parois s'échauffe et s'échappe par la ventilation en partie haute sans se transmettre à la paroi intérieure.

La non continuité de l'enveloppe, ou le recours à une « paroi composée », permet de limiter la transmission directe de la chaleur.

Les protections solaires

Il s'agit d'un système efficace pour limiter l'impact des rayonnements solaires sur les bâtiments. On a rappelé en annexe quelques généralités sur ces rayonnements solaires

**Voir explications
ANNEXE 13**

La protection du bâtiment peut passer par plusieurs types de systèmes :

- L'ombrage par des galeries ou loggias, patios ..
- Les plantations
- Les systèmes

Protections solaires : ombrage par des galeries ou loggias, patios ..

Celles-ci permettent de structurer le bâtiment pour limiter la pénétration de l'air chaud à l'intérieur du bâtiment ou tourner celui-ci sur lui-même afin que ses occupants entrent le moins possible en contact avec l'extérieur et sa chaleur insupportable.

**Voir explications
ANNEXE 14**

Protections solaires : des plantations pour ombrer les bâtiments



Les plantations d'arbres, de buissons ou de treilles aux endroits appropriés permettent sous de nombreux climats de projeter une ombre bénéfique sur les constructions



Dans cette volonté d'abriter un bâtiment des apports solaires il est essentiel d'intercepter les rayons du soleil avant qu'ils aient frappé les vitrages et les façades. Ces dispositions évitent d'avoir à trouver des moyens de chasser la chaleur au dehors.

Les arbres peuvent se comporter en humidificateurs et abaissent la température de l'air circulant entre leurs feuilles et leurs branchages.

Ils ombragent aussi le terrain autour des bâtiments évitant la formation de chaleur dans le sol et modifiant ainsi le microclimat du site.

Les allées et les oasis illustrent très bien cette influence du feuillage dans les pays chauds.

Protections solaires : les systèmes (brise-soleil, stores vénitiens, etc.)

Brise-soleil, moucharabié, stores vénitiens, protections réglables, avancées de poutres, lames, écrans et claustras, panneaux... voici un petit aperçu des systèmes disponibles pour protéger du soleil les ouvertures d'un bâtiment. Plusieurs d'entre eux sont détaillés et illustrés en annexe.

Voir explications
ANNEXE 15

1.2.2 Ventiler et climatiser

Rechercher un confort habitable en été se résume principalement à trouver des solutions pour se rafraîchir. La ventilation, cumulée avec des espaces appropriés (patios), l'eau ou l'inertie peut servir efficacement à climatiser. Il est important de d'abord recenser les principes fondamentaux avant de recenser plusieurs exemples en architecture bioclimatique.

a) Pourquoi ventiler ?

La recherche d'un confort en été est souvent liée à la mise en mouvement de l'air. On peut ventiler soit **en brassant** l'air soit **en renouvelant** l'air intérieur grâce à un apport d'air venant de l'extérieur.

Dans le cas du **brassage**, il s'agit d'obtenir une sensation de fraîcheur, en facilitant l'évaporation de la sueur sur la peau (l'évapotranspiration) et donc l'évacuation de la chaleur corporelle. La vitesse de l'air au contact de la peau augmente les échanges par convection et s'accompagne d'un transfert de la chaleur de la peau vers la vapeur d'eau créant ainsi une sensation de refroidissement.

Cependant, le brassage de l'air n'assure ni le renouvellement hygiénique de l'air ni une baisse de sa température.

En revanche, le **renouvellement d'air communément appelé ventilation** permet à la fois :

- De maintenir de bonnes conditions d'hygiène dans le bâtiment, en remplaçant l'air vicié par de l'air « neuf »
- D'évacuer les fumées, odeurs et autres polluants.
- D'assurer un confort thermique intérieur, en favorisant de légers courants d'air et en évacuant l'air trop chaud.

Evidemment, pour que cette ventilation rafraîchisse efficacement, il faut que la température de l'air extérieur soit inférieure à la température de l'air intérieur et est d'autant plus efficace que l'écart de température entre intérieur et extérieur est grand.

Nos anciens ont utilisé la ventilation naturelle afin d'améliorer le confort thermique de leur habitat. Bien qu'étant des techniques empiriques elles font appel à des phénomènes physiques, tels que la mécanique des fluides, la convection.

La ventilation naturelle permet d'assurer de manière passive des conditions de confort d'été. C'est le moyen le plus élémentaire pour ventiler. Ne nécessitant aucune source d'énergie, il existe depuis les temps les plus reculés.

La ventilation naturelle fait appel à trois facteurs essentiels : Le vent, direction et vitesse

Rappel des principes fondamentaux
ANNEXE 16

Après avoir vu les principes fondamentaux pour comprendre les différents phénomènes à prendre en compte, attardons nous sur les différents type de ventilation naturelle

b) La ventilation naturelle

La ventilation unilatérale : ventilation à travers une seule fenêtre.

L'air frais pénètre en partie basse des ouvertures et l'air chaud migre vers l'extérieur en partie haute. Les débits et le renouvellement d'air sont limités.

La ventilation traversante:

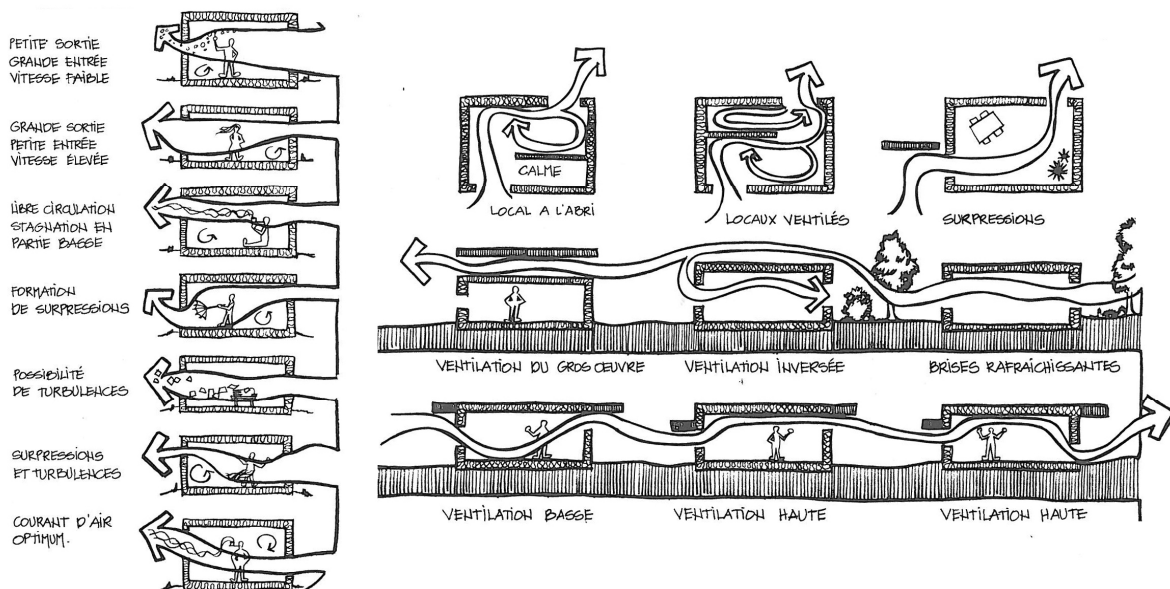
Ventilation par des ouvertures sur des façades opposées (ou à la rigueur adjacentes). L'air se déplace principalement grâce aux pressions et dépressions exercées sur les façades par le vent. Le taux de renouvellement d'air obtenu est nettement plus élevé qu'avec des ouvertures sur une seule façade et donc bien plus efficace pour ventiler. Les débits peuvent être contrôlés, en réduisant ou en agrandissant les entrées et les sorties d'air.

Pour une aspiration maximale et pour faciliter la libre circulation de l'air à travers le local, les sorties, sous le vent, doivent être plus grandes que les entrées, au vent.

Comme l'illustre David Wright dans son Manuel d'architecture naturelle.

La taille et la position des entrées influent sur les débits et le confort intérieur

La configuration des espaces extérieurs et intérieurs a une influence certaine sur les mouvements d'air à travers et autour des bâtiments.



Ainsi, pour que cette ventilation soit efficace et permette un balayage satisfaisant des pièces, toutes les zones d'un même local doivent pouvoir être parcourues par l'air en déplacement et permettre ce déplacement et garantir une communication directe entre des pièces aussi bien de part en part qu'entre pièces de niveaux différents.

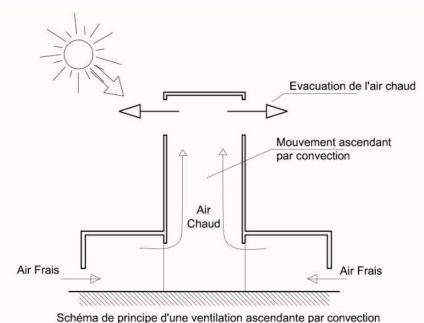
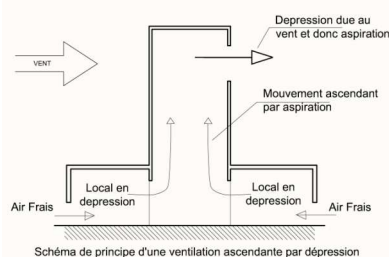
La ventilation transversale sous-entend une largeur de rue suffisamment élevée. En pratique, il est souhaitable que le rapport hauteur du bâtiment/largeur de la rue soit inférieur à 0,65. A défaut, le vent "passe au-dessus des toits" et ne met pas en surpression la façade au vent et en dépression la façade sous le vent. Seuls quelques tourbillons sont ressentis dans la rue et le moteur du déplacement d'air devient alors trop faible.

Enfin, comme nous l'avons vu, l'orientation du bâtiment et ses ouvertures par rapport aux vents dominants influencent l'efficacité de ce système.

La ventilation verticale:

La ventilation ascendante:

peut fonctionner aussi bien par tirage thermique comme décrit ci-dessus, ou par l'effet de



dépression et donc d'aspiration.

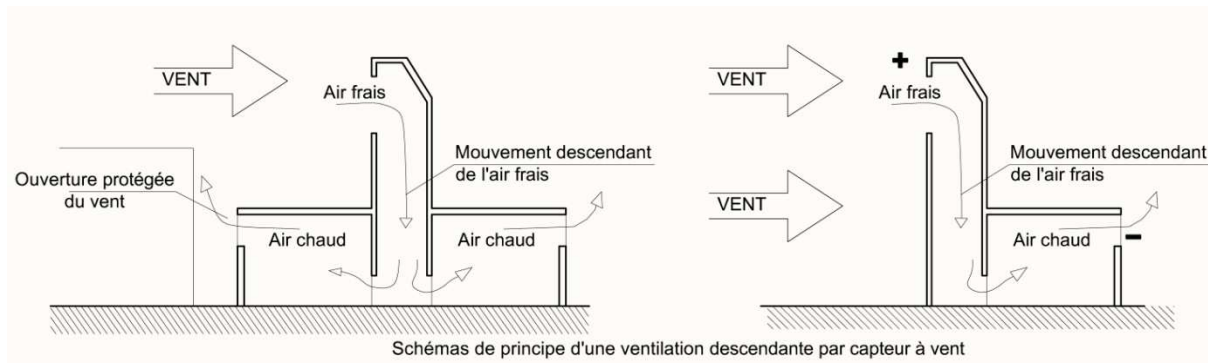
Dans ces deux cas, le phénomène de tirage est d'autant plus important, que le vent est fort et que la différence de température entre les entrées (basses) et les sorties (hautes) d'air est élevée.

La ventilation descendante par « capture des vents » :

La capture des vents est réalisée au moyen d'écofes fixes orientées face au vent.

Placés en hauteur, (les vents les plus forts se rencontrent généralement vers 6 ou 12 m au dessus du sol) ces capteurs peuvent assurer une ventilation verticale descendante. Cet air canalisé vers le bas, va créer au travers du bâtiment un courant d'air qui dépendra de la vitesse du vent et de la répartition des pressions. Lorsqu'ils prennent la forme d'entonnoirs, ces capteurs accélèrent l'air par effet venturi.

En tissu urbain dense, les capteurs seront placés au dessus des masses bâties, à l'abri des turbulences.



La ventilation, associée à des espaces appropriés (patios), à l'eau, à l'inertie ou à la géothermie peut servir efficacement à climatiser.

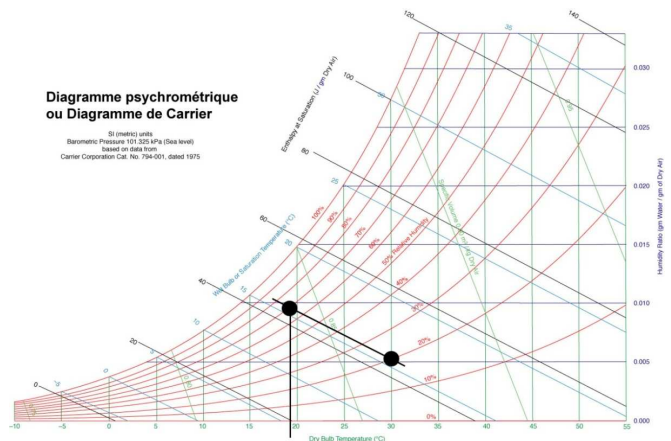
Pouvoir rafraichissant de l'eau : l'évaporation.

La quantité de vapeur d'eau contenue dans l'air est limitée en fonction de la température de ce dernier.

Dans les climats secs, il est possible de diminuer la température de l'air en l'humidifiant.

Les changements d'état de l'eau en vapeur d'eau mettent en jeu une quantité importante d'énergie (enthalpie). Pour évaporer 1kg d'eau, il faut lui fournir 500 à 600 Kcal. En prenant un air à 30°C et 20% d'humidité relative, et en l'humidifiant jusqu'à une humidité relative de 70%, on obtient une température d'air de 19.5°C.

Le diagramme de Carrier définit la corrélation entre température de l'air, humidité absolue et humidité relative. L'humidité absolue (g/kg air sec) est la quantité d'eau contenue dans 1 kg d'air, et l'humidité relative ou degré hydrométrique est le rapport (%) entre le contenu en vapeur d'eau de l'air et sa capacité maximale à en contenir dans les mêmes conditions (température et pression).



Pouvoir de l'inertie en confort d'été : stocker des frigories

Comme nous l'avons vu dans le chapitre précédent, les constructions traditionnelles dans les régions à fortes amplitudes journalières se caractérisent souvent par une enveloppe à forte inertie thermique.

Le réchauffement durant la journée d'éléments passifs de tirage à forte inertie permet de maintenir une ventilation ascendante en fin de journée alors que l'air ambiant extérieur est déjà plus frais (déphasage thermique)..

La ventilation nocturne associée à cette inertie permet de stocker des frigories la nuit, qui seront restituées en début de journée.

Cet effet de rafraîchissement est d'autant plus efficace :

- que le renouvellement d'air est rapide. (surventilation nocturne) ;
- que la différence de température de l'air extérieur et intérieur est élevée,
- et enfin, que la durée de cette différence de température est longue.

Fraicheur et l'inertie de la terre : la géothermie

La température de la terre varie de quelques degrés sur une année. Cette température est déjà stabilisée à une profondeur de 1,50m à 2,5m de la surface en terrain sec. A 1,5m de profondeur, la température de la terre ne dépassera pas 21°C, pour une température en surface proche de 38°C. Grâce à des conduits de ventilation enterrés reliant l'extérieur à l'intérieur, il est possible de récupérer cette température stabilisée de la terre afin de rafraîchir les espaces intérieurs.

Rayonnement nocturne

Un transfert de chaleur peut s'effectuer de plusieurs manières : par conduction, par convection ou par rayonnement. L'énergie calorifique transmise par **rayonnement** s'effectue par les ondes électromagnétiques. Ainsi si on place un objet devant un foyer, seule la face avant est réchauffée. Sur terre, le principal rayonnement énergétique provient du Soleil. Puisque la température moyenne à la surface de la Terre est pratiquement constante, la quantité d'énergie reçue du Soleil doit équilibrer la quantité d'énergie perdue. (En raison de l'inertie thermique du système cela s'établit sur une longue période et sur l'ensemble de la Terre). Plus le Soleil réchauffe la surface de la Terre, plus grande sera l'énergie renvoyée dans l'espace par le rayonnement terrestre.

Ainsi, tout corps chaud cède une part de sa chaleur à l'atmosphère par rayonnement nocturne (ou rayonnement terrestre). Il s'agit d'un rayonnement de grandes longueurs d'onde émis vers l'espace (infrarouge lointain). Cette émission de flux radiatif (radiation) correspond à une perte d'énergie et il se produit donc un refroidissement. Par ciel couvert, le rayonnement infrarouge de la Terre est en partie compensé par le rayonnement infrarouge de la base des nuages d'où une diminution nocturne plus lente de la température par ciel couvert que par ciel clair.

Le rayonnement est une cause de pertes thermiques dans un bâtiment. La chaleur accumulée en journée va se propager par rayonnement amplifiant les déperditions. Ce processus peut donc être judicieusement exploité en été. D'après David Wright et son *Manuel d'architecture naturelle*, « il est possible de rafraîchir une étendue d'eau ou n'importe quelle masse solide bien en dessous de la température de l'air ambiant si sa surface est exposée au ciel d'une nuit claire et si elle est isolée des corps tièdes environnants ».

Néanmoins, compte tenu que les surfaces les plus exposées la nuit au rayonnement nocturne sont aussi celles qui le jour reçoivent les flux les plus importants, le bilan net apports solaires/pertes radiantes ne peut être négatif que si l'on protège en journée les surfaces du rayonnement solaire et qu'on retire ces protections durant la nuit pour faciliter leur rayonnement nocturne.

Comme nous venons de le voir, rafraîchir l'air met en scène de nombreux facteurs, parfois complexes, que nos anciens ne connaissaient certainement pas mais qu'ils ont néanmoins largement utilisés par simple observation, de manière empirique et logique pour améliorer leur confort dans l'architecture vernaculaire.

C'est souvent dans les régions aux conditions climatiques extrêmes, que les solutions les plus abouties sont mises en place et sont souvent encore visibles ou même utilisées.

Nous allons maintenant présenter des applications dans le vernaculaire selon les différents climats chauds identifiés :

Constructions vernaculaires en climats chauds et humides

Bien qu'on puisse distinguer certaines variantes en fonction des climats (forêt tropicale, savane, mousson indienne) ces climats présentent des caractéristiques identiques : une forte pluviométrie, de faibles amplitudes thermiques journalières et saisonnières et une grande humidité de l'air.

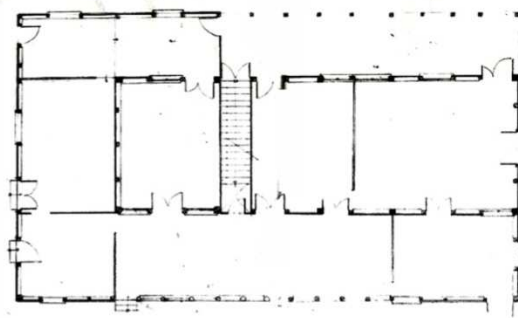
La seule manière de trouver un peu de fraîcheur est de se mettre dans un courant d'air afin de permettre au corps humain de perdre sa chaleur par évaporation. La moindre brise doit pouvoir être captée ou créée par effet de cheminée.

Les matériaux utilisés sont principalement des matériaux légers ne présentant pas d'inertie.

Les parois verticales sont principalement perméables pour permettre une bonne ventilation des espaces intérieurs. Ces derniers sont souvent très simples, constitués d'une seule pièce ou conçu pour une

ventilation traversante optimale. L'utilisation de cloisons légères perméables (en fibres végétales) ou l'utilisation de persiennes, d'impostes ouvertes... sont autant de solutions pour favoriser cette ventilation. Les toitures légères sans inertie à large débord (pluies journalières et protection solaire) sont très souvent ouvertes en partie haute pour l'évacuation de l'air chaud. Lorsque les sols sont saturés en eau, l'espace habitable se dégage du sol, soit sur un terre plein soit sur pilotis. Cette dernière présentant l'avantage de pouvoir profiter d'une ventilation par-dessous.

Dans les zones soumises à des vents importants, les façades extérieures peuvent être constituées d'éléments à claires-voies ou de résilles fixes ou mobiles ou de parois opaques avec des ouvertures spécialement conçues pour canaliser les vents. La forme de la toiture, l'orientation des pignons au vent ainsi que leur ouverture en partie haute, permet d'accélérer les courants d'air et d'aspirer l'air des espaces en contrebas par effet venturi, améliorant ainsi la ventilation transversale et verticale.



Plan du rez-de-chaussée, maison de maître,
Sucrerie Union au Lamentin (Martinique).
Pièces en enfilade, ventilation entre pièces, galerie à l'ombre en périphérie.



Maison de maître de l'habitation La Sucrerie aux Anses-d'Arlets (Martinique).
Galerie persiennée pour conservée la ventilation tout en se protégeant d'avantage du soleil.
Principe d'ouvertures intérieures permanentes ou mobiles pour une gestion de la ventilation traversante.

Photos et plans,
http://www.revue.inventaire.culture.gouv.fr/insitu/insitu/image.xsp?numero=5&id_article=d4-1023&no_image=1

Les constructions sous ces climats chauds et humides sont particulièrement diverses.

Voir illustrations
ANNEXE 17

Constructions vernaculaires en climats chauds et sec

Ces climats se caractérisent principalement par de fortes amplitudes journalières, pouvant atteindre 30°C dans les régions désertiques. Les constructions traditionnelles de ces régions adoptent principalement une enveloppe à forte inertie thermique ainsi que des systèmes de ventilation particulièrement efficaces et ingénieux afin d'atteindre des conditions de bien être et de confort. Les systèmes de ventilation naturelle utilisés dans ces régions au climat chaud et sec sont particulièrement riches et offrent un éventail de solutions et de variantes considérables dont nous développerons quelques exemples représentatifs de ce savoir faire.

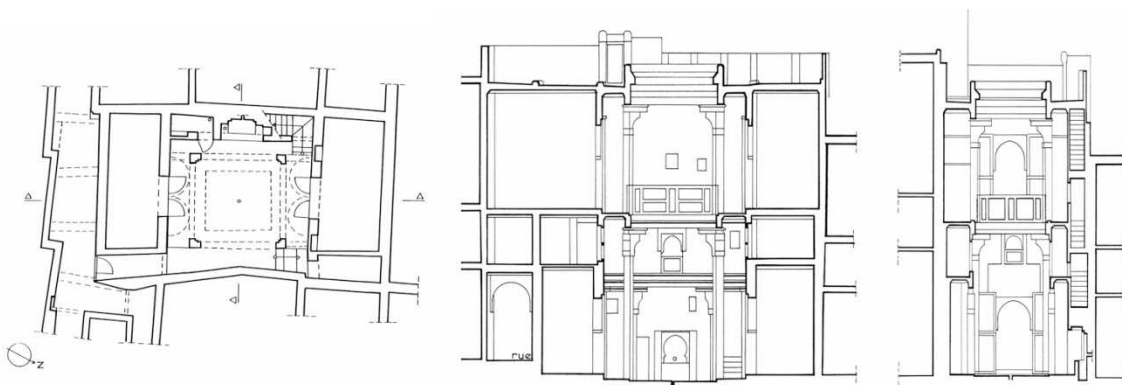
Mais le point commun à toutes ses solutions reste la recherche d'une ventilation optimale de chaque espace.

La nature est hostile au niveau du sol dans ces zones, particulièrement dans les déserts. Les habitants ont appris à fermer leurs maisons à l'extérieur et les ouvrir intérieurement sur des cours internes. Il y a de nombreux types de cours intérieures. Soit en tant que simples puits d'aération (ou puits de jour), voir de lanterneaux, soit en tant que patios: espaces majeurs de vie intérieure, lumineux et frais.

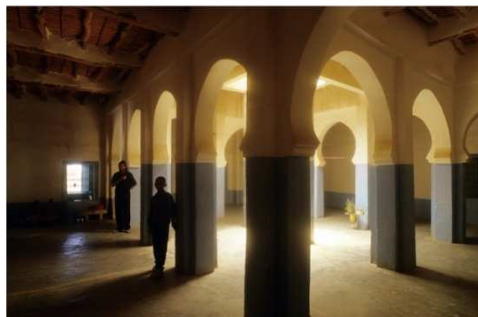
A l'instar du *Dar*, l'utilisation des puits de jour pour éclairer et pour ventiler les pièces sans ouverture directe sur l'extérieur est une conséquence de la densité du bâti dans la plupart des villes anciennes.

Le puits sert à la régulation thermique de la maison par effet de cheminée. L'étroite ouverture limite le rayonnement solaire. La nuit, La chaleur en partie haute du puits, ainsi que le rayonnement des murs entraîne un courant de convection qui évacue l'air chaud et peut servir à ventiler transversalement les pièces ayant une autre fenêtre sur la rue.

Le jour, la maison profite de la fraîcheur de l'air au fond du puits.

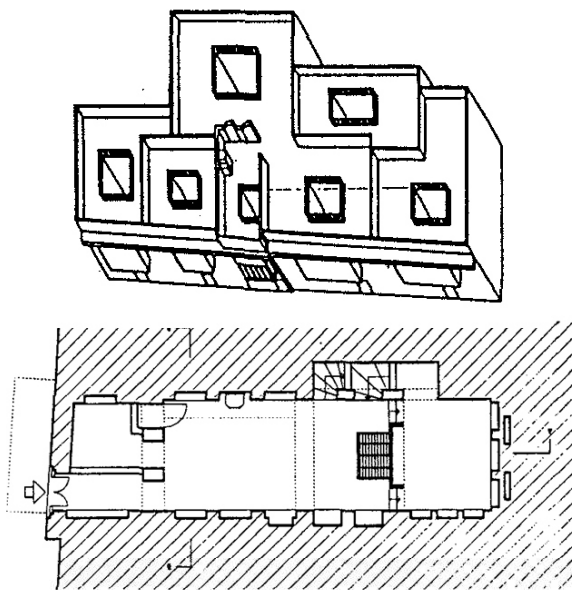


Le *Dar* est un type particulier de la maison marocaine à patio. Son espace central, généralement de petites dimensions, n'est pas planté.

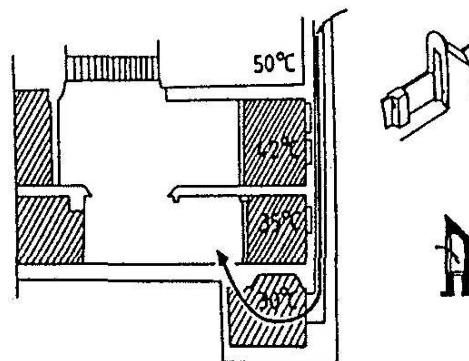
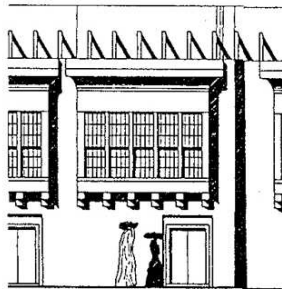
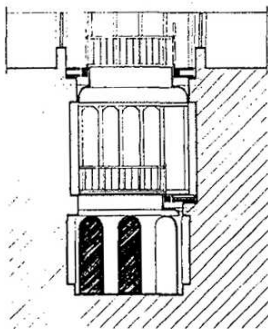


Type particulier d'une maison: Le dar
quartier de la Qarawiyyin, Fès, Maroc
<http://learning-from-vernacular>

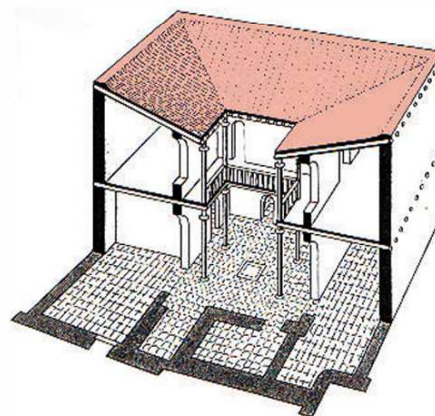




Habitation, quartier de Kadhimiyeh,
Baghdad, Irak.
Architecture.& Comportement, Plemenka Supic.



A noter l'utilisation d'une cave pour maintenir
des températures plus fraîches et charger
l'air en humidité.



A noter l'utilisation des toitures pour la récupération
des eaux de pluie.

Photo et Isometrie d'une maison de cour
(Tarma) Bagdad, Irak.
Atriumhäuser Hofhäuser, Hans Weidinger

Voir illustrations
ANNEXE 18

Utilisation de l'eau pour rafraîchir

Comme nous l'avons vu sur les patios, on utilise souvent des plans d'eau ou des fontaines avec de petits jets d'eau pour augmenter le refroidissement de la température par évaporation de l'eau. Dans certains cas ce sont de véritables exemples pour accentuer la formation de petites gouttelettes et rafraîchir d'avantage l'air. (chadar, sesabil ou serdap)

Mais d'autres solutions, beaucoup plus simples, sont souvent utilisées, comme l'humidification des murs ou l'utilisation de cruches poreuses placées devant les fenêtres où au sein d'une pièce.

Voir illustrations
ANNEXE 19

Tours à vent et utilisation de l'action du vent et de la convection

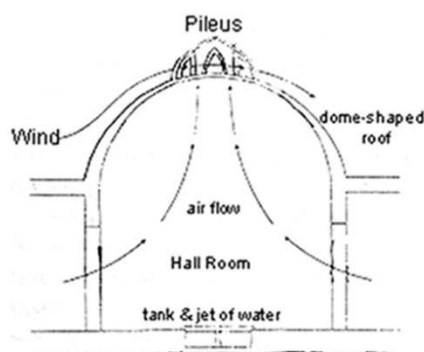
Les analyses effectuées sur l'architecture vernaculaire dans les pays du Moyen-Orient mettent en évidence l'utilisation de principes fondamentaux comme l'effet d'aspiration d'une façade sous le vent ou la notion de convection en recherchant à évacuer l'air chaud en partie haute et en le remplaçant par de l'air tiré depuis les endroits les plus frais du bâtiment.

Mais ces principes sont souvent insuffisants pour rafraîchir suffisamment la température. Pour y palier des dispositifs particuliers ont dû être développés afin d'améliorer la ventilation et à fortiori le confort intérieur des habitations.

Ainsi, certains dispositifs au sommet des coupoles permettent d'accélérer l'aspiration de l'air, par effet venturi, et un bassin d'eau situé en contrebas accentuera le refroidissement de l'air en l'humidifiant.



Coupoles, Afghanistan
<http://cryptome.org/info/af-war-arch/af-war-arch.htm>



Evacuation par convection des coupoles, et effet d'aspiration par l'action du vent au sommet (effet venturi).
Fontaine à jet au centre pour rafraîchir l'air par évaporation.
<http://www.cais-soas.com/CAIS/Architecture/wind.htm>



Coupoles, Yazd, Iran
<http://www.albert-videt.eu/photographie/carnet-de-route/>





Tours à vent et ventilation des coupôles. Vues de la vieille ville d'Yazd et de Chupanan, Iran
(www.spiritofadventure.com/0; www.albert-videt.eu/photographie/carnet-de-route/)



Capteurs de vent unidirectionnel, Meybod, Iran.
www.skyscrapercity.com/showthread.php?t=1101401



Quartier rénové de Bastakiya, Dubaï, Émirats arabes unis.
<http://dp.mariottini.free.fr/carnets/dubai>

Maison à cour, Sheikh Makhtoum, Dubaï, Émirats arabes unis.
<http://fr.wikipedia.org>

On peut distinguer deux principaux types de tours à vent :

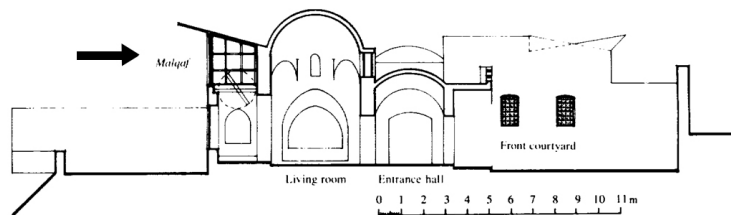
Les tours sont constituées soit d'une **écope multidirectionnelle** soit d'une **écope directive**.

On appelle :

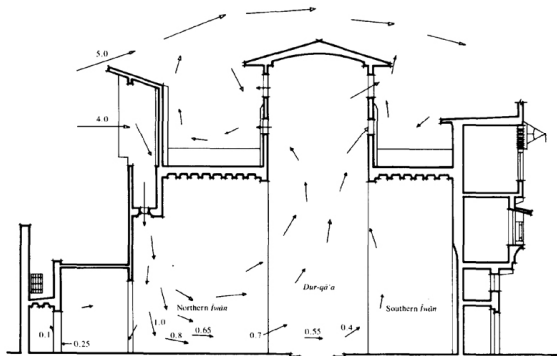
- « capteurs de vent », les écopages directives qui servent à capter les vents monodirectionnels, pour une ventilation descendante ;
- et « tours à vent » Les écopages multidirectionnelles, souvent moins efficaces, qui servent à admettre des vents de différentes directions, et à travailler en même temps en extraction (par effet du vent ou convection) et en admission.

Pour être réellement efficace, une écope doit avoir une surface de section verticale correspondant à environ 20% de la surface verticale de l'enveloppe du bâtiment perpendiculaire au vent.

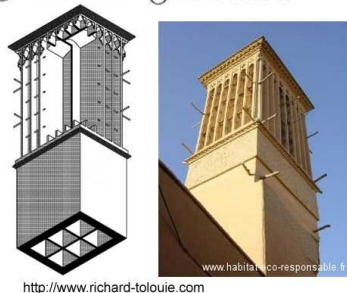
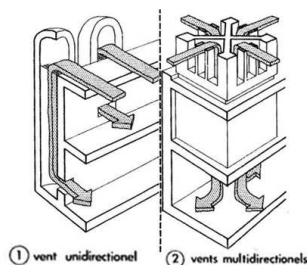
Les tours sont construites en briques de terre crue recouvertes d'un enduit. Elles sont la plupart du temps décomposées en plusieurs conduits permettant de séparer les flux ascendants de convection et les flux descendants.



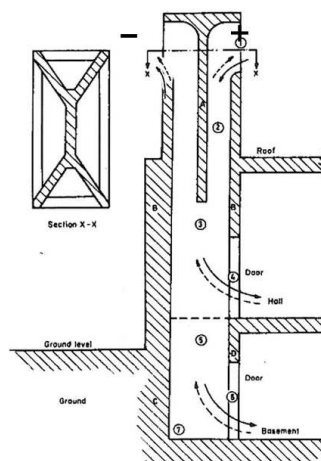
CaptEUR de vent monodirectionnel,
Coupe de la maison Fu'ad Riyadh montrant un Malqaf avec clapet.
D'après Hassan Fathy, Natural Energy and Vernacular Architecture.



Coupe, montrant comment le malqaf améliorent la ventilation interne.
L'écope, capte l'air en hauteur pour échapper aux poussières et avoir une vitesse d'air suffisante pour générer un flux. La forme en entonnoir de l'écope accélère l'entrée du vent grâce à effet Venturi. L'air capté parvient jusqu'au sol des habitations, est rafraîchi partiellement par une fontaine, et l'air chaud s'évacue en partie haute. Ce mouvement de convection est amplifié par la tourelle d'extraction.
Les flèches indiquent la direction du flux d'air; la longueur de flèche correspond à la vitesse relative (m/s).
Ventilation verticale: descendante avec effet venturi, et ascendante par convection.
D'après Hassan Fathy, Natural Energy and Vernacular Architecture.



<http://www.richard-tolouie.com>



Principe de fonctionnement d'une tour à vent:
de jour (flèches pleines) et de nuit sans vent
(flèches en pointillé).



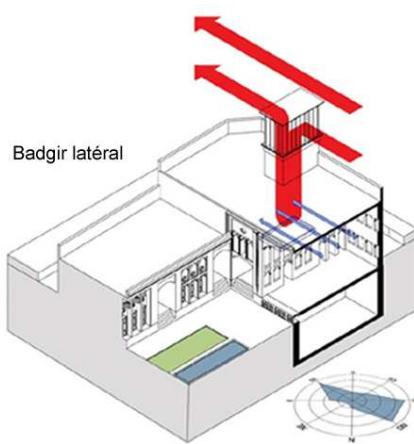
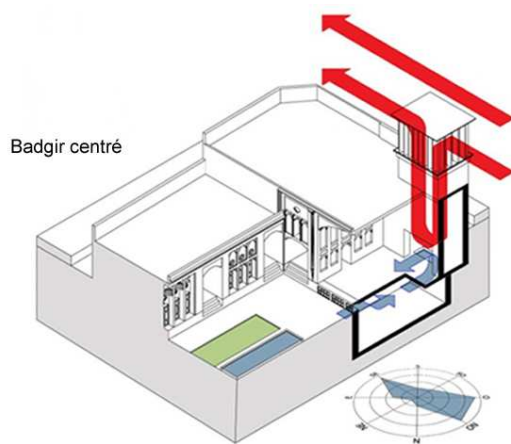
Badgir à deux ouvertures
photo: H.Richard Tolouie, <http://www.cyberarchi.com>



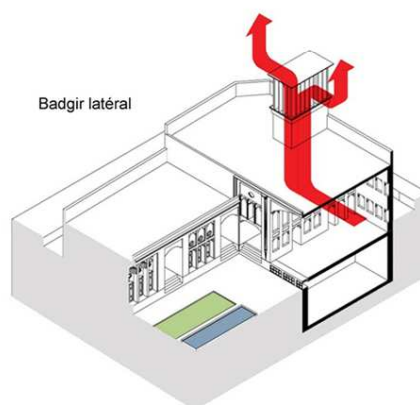
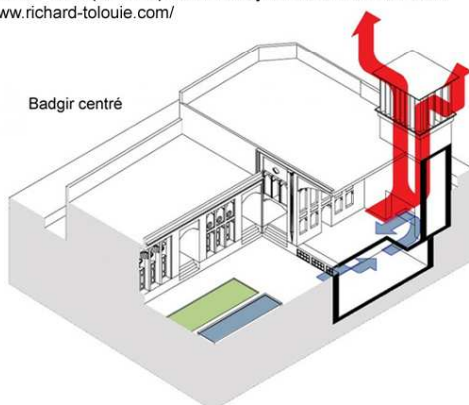
Badgir à huit ouvertures
photo: H.Richard Tolouie, <http://www.cyberarchi.com>

En fonction des heures de la journée et des conditions climatiques, les tours fonctionnent soit par tirage thermique soit comme attrape vent.

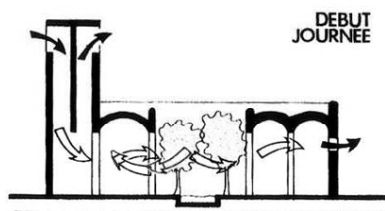
Cependant, le fonctionnement exact en matière de maîtrise thermique, d'une maison équipée d'une tour à vent, reste difficile à définir et varie en fonction du positionnement de la tour dans la maison, de la présence d'un patio, de pièces souterraines ou de plusieurs de ces dispositifs à la fois.



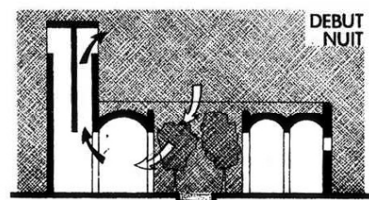
Principe de la tour à vent , fonction attrape vent: le flux principal du vent (en rouge) crée une dépression dans la pièce, aspirant l'air frais (en bleu) venant du jardin ou d'un sous-sol.
<http://www.richard-toulouse.com/>



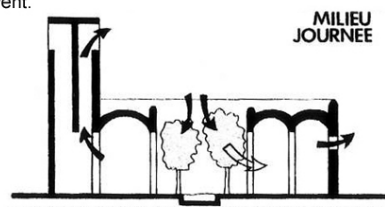
Principe de la tour à vent , fonction tirage thermique: le flux principal de convection (en rouge) évacue l'air chaud, crée une dépression dans la pièce, aspirant l'air frais (en bleu) venant du jardin ou d'un sous-sol.
<http://www.richard-toulouse.com/>



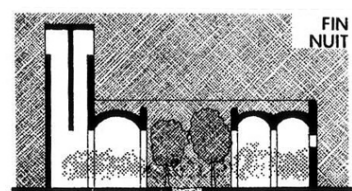
En début de journée, la tour joue le rôle de « capteur à vents ». Elle admet de l'air neuf du côté du vent. Celui-ci chasse l'air intérieur vicié qui s'échappe par les conduits de la tour situés du côté sous le vent, ou bien par des ouvertures pratiquées dans la façade de la maison située sous le vent.



En début de nuit, le patio peut diffuser sa fraîcheur dans les pièces qui le bordent. Sous l'effet du vent, l'air réchauffé à l'intérieur est aspiré par la tour, du côté sous le vent



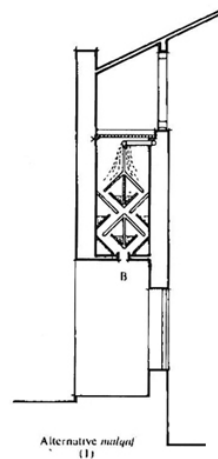
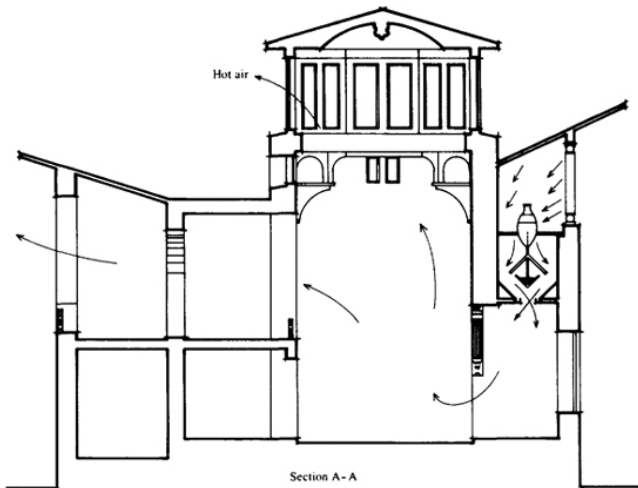
En milieu de journée, l'effet d'aspiration se met en fonctionnement par l'échauffement de la tour sous l'effet des rayons solaires. Les pièces profitent de l'air rafraîchi par le patio qui s'échappe en hauteur une fois échauffé.



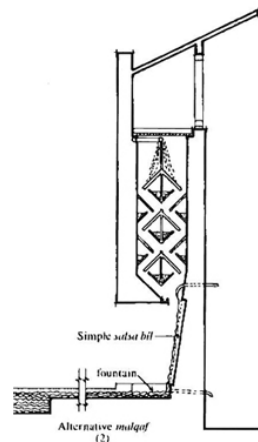
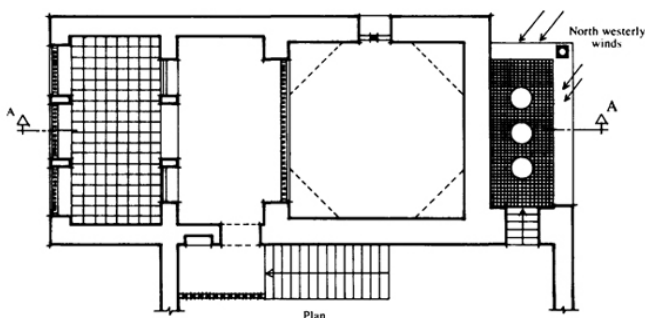
En fin de nuit, la maison atteint un état de stabilité.

Les schémas de principe jour / nuit ci-dessus expliquent l'un des multiples fonctionnements du système de ventilation d'une maison à cour avec tour à vent.

Perfectionnement du système par l'humidification



Récipients en terre poreuse disposés dans la tour à vent.
<http://www.richard-tolouie.com>



Malqaf avec système d'humidification de l'air : jarres poreuses, "échangeurs" qu'Hassan Fathy appelle "déflecteurs" et bassin avec ruissellement .
Hassan Fathy



Bassin disposé sous la tour

L'air qui passe dans la cheminée est humidifié pour être refroidi, grâce à des « déflecteurs » où l'eau s'écoule en cascade à travers des mailles métalliques et des bacs remplis de charbon de bois. Ce charbon reçoit et absorbe l'eau tombant goutte à goutte au dessus. Il refroidit et filtre l'air neuf qui le traverse, et il retient ses particules de poussière.

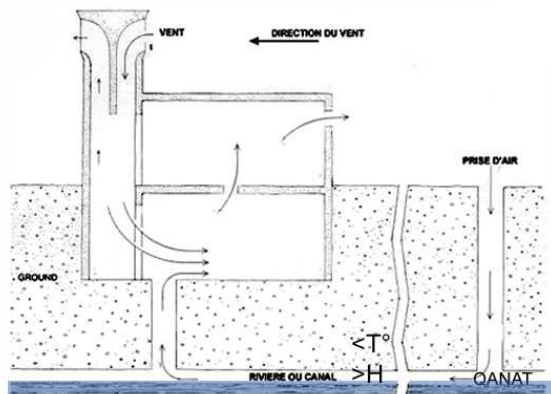
L'air sort du bâtiment sous forme d'air vicié à l'autre extrémité dans la zone en dépression du bâtiment. Ce système est parfois complété par un bassin avec ruissellement.

Le perfectionnement du système par la « géothermie ».

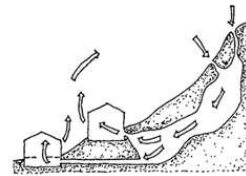
L'utilisation des espaces enterrés ou de conduits de ventilation enterrés reliant l'extérieur à l'intérieur permet de rafraîchir les constructions en :

- récupérant la température stabilisée de la terre
- et en gérant le taux d'humidité dans les conduits. Soit par humidification du sol en surface soit en utilisant des rivières ou canaux souterrains.

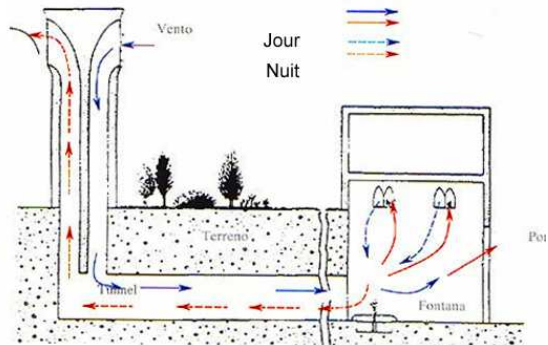
Cette technique a largement été utilisée avant notre ère et même dès le 16^{ème} siècle en Italie avec l'utilisation de cavités naturelles (les covoli karstique utilisés par Palladio).



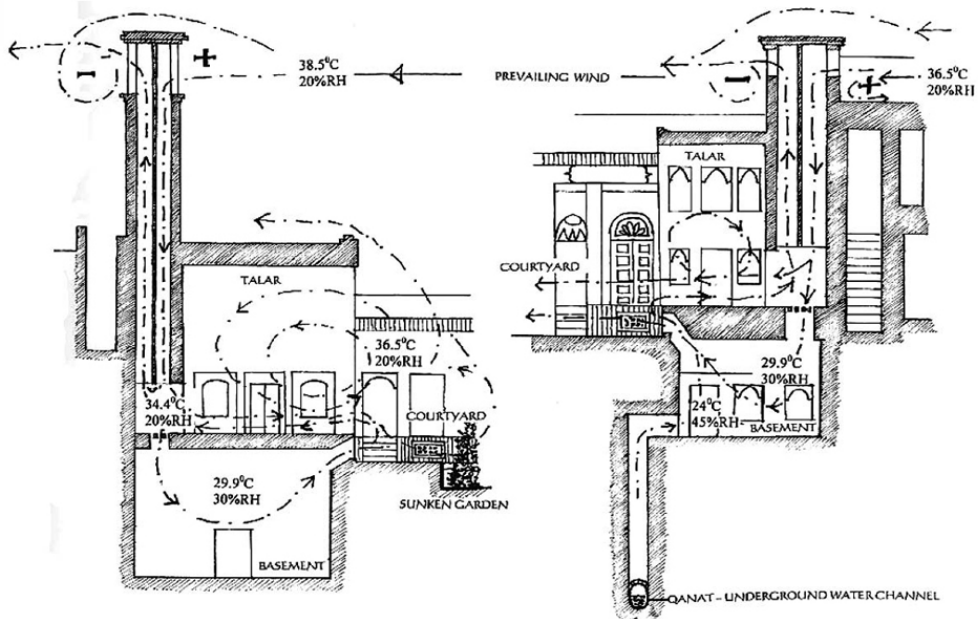
Capteur d'air combiné avec une rivière ou un canal (qanat) souterrain.
(www.nationalmuseumofiran.ir, 28/12/08)



Amenée d'air reliée à une caverne souterraine où la température et l'humidité sont constantes toute l'année. (covoli, Italie)



Capteur d'air éloigné de la maison traversant un tunnel humidifié depuis le sol
(Air Humide - B. Paule - DA/EPFL 1995)



Coupe de principe illustrant l'utilisation d'une cave ou d'un canal souterrain cumulée avec l'action d'une tour à vent.
Roaf, S. 1988, The Windcatchers of Yazd, PhD, Oxford Polytechnic.

Voir illustrations
ANNEXE 20

2. Des sources d'inspiration pour l'architecture d'aujourd'hui

2.1 Une transposition complexe

Des réponses pour le confort d'été dans l'architecture bioclimatique peuvent être inspirées des solutions vernaculaires. L'architecture d'aujourd'hui se tourne ainsi vers le passé pour bénéficier de l'expérience des constructeurs d'hier. **Mais la transposition est complexe**, compte-tenu de problématiques contemporaines et sociales complexes, notamment un environnement réglementaire et normatif strict dans les pays développés.

2.1.1 Lutter contre la mondialisation uniformisatrice

Vers un confort thermique mondialisé

L'homme, notamment dans les pays les plus développés du globe, a une notion du confort d'été beaucoup plus exigeante : alors qu'hier il se préoccupait de sa survie et de celle du groupe, aujourd'hui il souhaite vivre et travailler dans des températures fraîches et régulées toute l'année, avec l'habitude de bâtiments climatisés et des activités qui se poursuivent quelle que soit la chaleur (horaires de travail fixes...). Tous les systèmes possibles ont donc été mis en œuvre pour satisfaire ce désir de confort, contraignant les architectes à respecter les "standards" de confort, qui sont devenus normaux en se généralisant. Il a donc probablement sur le long terme à encourager une prise de conscience pour rendre "acceptable" des écarts de températures entre les saisons. On pourrait ici établir un parallèle avec l'habitude de disposer toute l'année de l'ensemble des fruits et légumes, sans tenir compte de leur saisonnalité : s'attacher à consommer des productions locales et de saison conduit à restreindre son éventail de choix. Il en est de même pour les habitudes de confort thermique, qui nécessitent de réhabituer les usagers aux écarts entre les saisons.

Il importe donc, pour faire preuve d'une attitude passive à propos de climatisation des locaux, à situer les niveaux de confort en rapport avec l'équilibre thermique de l'atmosphère extérieure d'été. Maintenir un niveau artificiel de confort sans rapport avec les conditions extérieures est de plus néfaste à la santé et déclencheur de pathologies liées au choc thermique. Notre corps doit alors lutter pour s'adapter lors du passage d'une atmosphère climatisée très fraîche à la chaleur extérieure et nous éprouvons une tension exagérée qui conduit parfois à un dérèglement de l'organisme. On en voit de très bons exemples dans les départements d'outre-mer, où l'on cherche à maintenir dans les locaux une température très fraîche (18-20°) alors que la température avoisine les 40° à l'extérieur. Il ne s'agit pas bien sûr d'éviter de réguler la température des locaux, particulièrement pour les locaux d'activités ou ceux accueillant des personnes fragiles, mais de modérer l'usage de la climatisation. C'est une transition nécessaire pour aller vers des bâtiments bioclimatiques, qui régulent naturellement l'atmosphère intérieure.

C'est aussi un travail de fond et de long terme car cela implique de lutter contre une forme de "consommation" de confort, qui bénéficie directement aux fournisseurs d'énergie. L'évolution de l'architecture et des normes thermiques des bâtiments (RT2012-2020...) annonce probablement un changement radical de modèle économique et la fin d'une époque où les opérateurs de réseaux assuraient leurs bénéfices en vendant à bas coûts de grandes quantités d'énergies fossiles. Il existe donc probablement une résistance du marché à l'évolution vers une architecture plus respectueuse de l'environnement et peu consommatrice d'énergie. C'est exactement vers cela que cherchent à tendre les architectes engagés dans cette démarche, en s'inspirant de l'architecture vernaculaire. Celle-ci a en effet été conçue dans un monde sans réseaux.

Vers un nouveau "localisme" des méthodes constructives

L'enseignement majeur des constructions vernaculaires est qu'il est possible de construire pour se protéger des aléas climatiques en puisant dans les ressources locales. Il n'est bien sûr pas question ici de s'interdire de faire appel à des matériaux transportés d'ailleurs, mais de réfléchir à des nouveaux circuits de fournisseurs moins centralisés, qui permettraient de mixer des matériaux performants et techniques avec des ressources locales. Cette démarche, valable pour la construction pour le confort d'été comme d'hiver, se détache nettement de méthodes constructives aujourd'hui très uniformisées. Cet état de fait est en train de changer fortement, notamment avec la multiplication des matériaux de structure (bois, acier, béton armé, briques etc.).

Notre société d'informations mondialisées permet d'envisager de nouveaux échanges de savoirs à l'échelle planétaire. C'est une nouvelle richesse à exploiter pour partager les sources d'inspirations. C'est

aussi grâce à elle que nous sommes capables de réunir aujourd'hui tous ces exemples d'architectures vernaculaires adaptées au confort d'été. "Localisme" des méthodes ne veut donc pas dire autarcisme dans le processus de conception, bien au contraire. Les nombreuses associations d'architectes "sans frontières" ou les initiatives de partage de savoir-faire en sont la preuve. Reste à sortir d'un mode d'échange parfois unilatéral (le Nord donne sa technique au Sud), particulièrement pour la réponse aux aléas des climats chauds : l'architecture vernaculaire décrite ici est toujours usitée dans une grande partie des zones rurales, qui n'ont pas été touchées par l'exode vers les grandes villes.

2.1.2 Relever le défi des formes existantes

Les conditions climatiques d'été semblent être exacerbées par le dérèglement climatique, avec des pics de chaleur qui se multiplient dans certaines zones du globe. On est aujourd'hui confronté à un défi supplémentaire : la plupart des villes modernes se sont développées de manière exponentielle et sans soucis du confort d'été et la concentration des habitants dans les grandes métropoles augmente la différence de température entre le centre-ville et les zones rurales. Dans ces conditions, l'impact des épisodes caniculaires est de plus en plus fort sur l'activité humaine, surtout dans les villes.

Concilier densité et confort d'été

Comment alors concilier densité (qui est un critère-clé de la ville durable, pour autoriser des types de transports non-polluants) et respect du confort d'été ? Il semble que quelques pistes émergent des procédés vernaculaires, notamment dans la forme de la trame viaire et l'organisation des îlots denses.

Cette question pose aussi la problématique de l'anticipation du changement climatique, car les bâtiments que l'on construit aujourd'hui le sont pour plusieurs dizaines d'années. Ils doivent donc tenter d'anticiper le climat de demain, dans la mesure de ce que peuvent en dire les connaissances scientifiques d'aujourd'hui. Il nous semble aussi essentiel de réfléchir, en tant que maîtres d'ouvrage aussi bien que comme architectes à l'évolutivité des bâtiments pour s'adapter à l'évolution des usages. Cela nécessite une dose d'imagination et une flexibilité qui peut engendrer un surcoût aujourd'hui, mais sera le bénéfice de demain : intervient ici la notion de coût global, dont l'intégration dans les calculs économiques, est encore loin d'être résolue.

Transformer l'existant, un défi délicat

Enfin, reste la question épineuse des constructions existantes et de leur réhabilitation : Comment est-il possible de transformer un bâti existant pour l'adapter au confort d'été ? Quelles en sont les limites avant de repartir sur de nouvelles bases et reconstruire ? Il est donc pertinent de considérer élément par élément les solutions proposées par le vernaculaire pour réfléchir à leur "greffe" possible sur un bâtiment existant.

2.1.3 Prendre en compte les réglementations et les contraintes actuelles

Le rôle des réglementations dans la transposition des procédés d'architecture vernaculaire est ambigu : d'un part elles peuvent apparaître comme un frein à l'imagination, alors qu'elles pourraient devenir un bon levier de changement, avec les réglementations thermiques qui évoluent.

La norme contre la créativité ?

La réglementation aujourd'hui très stricte (normes d'évacuation, incendie, personnes à mobilité réduite...) ne permet pas d'adapter directement certains des dispositifs vernaculaires présentés ci-avant. Elles sont de vraies contraintes pour les concepteurs. S'y ajoutent d'autres contraintes comme le bruit urbain et la pollution de l'air, qui compliquent l'usage de la ventilation naturelle par exemple. Il paraît donc nécessaire d'autoriser des exceptions à certaines normes pour favoriser l'innovation et la recherche architecturale et urbaine. Cette évolution ne paraît néanmoins pas évidente, dans un contexte où la recherche du risque zéro et la « judiciarisation » de la vie quotidienne priment. (voir les plans PDU)

Où l'imagination au pouvoir ?

Cette contrainte que représentent les normes pourrait néanmoins devenir un atout pour transposer l'architecture vernaculaire d'été dans l'architecture d'aujourd'hui, si les normes allaient dans le sens d'une plus grande inertie thermique des bâtiments et de la limitation des systèmes de climatisation énergivores. Cela nécessite une vigilance à la manière dont sont construites et formulées ces normes, afin qu'elles n'enferment pas dans des choix techniques préformatés au détriment de la créativité des urbanistes et architectes.

2.2 De l'échelle de la ville à celle du bâtiment : solutions contemporaines inspirées du vernaculaire

2.2.1 Solutions contemporaines à l'échelle de la ville

Avant de commencer, il est important de donner quelques éléments de rappel sur les villes contemporaines.

Entre 1950 et 1990, la population des villes s'est multipliée par 10, passant de 200 millions d'individus à plus de deux milliards. Les villes aujourd'hui consomment les trois quart de l'énergie mondiale et sont la cause d'au moins les trois quart de la pollution globale.

« Les villes sont d'abord, et de façon évidente des organismes qui engloutissent les ressources et rejettent les déchets. Plus elles s'étendent et se complexifient, plus elles dépendent de leur espace environnant et plus elles deviennent vulnérables aux changements. Elles sont à la fois notre fierté et notre fléau »

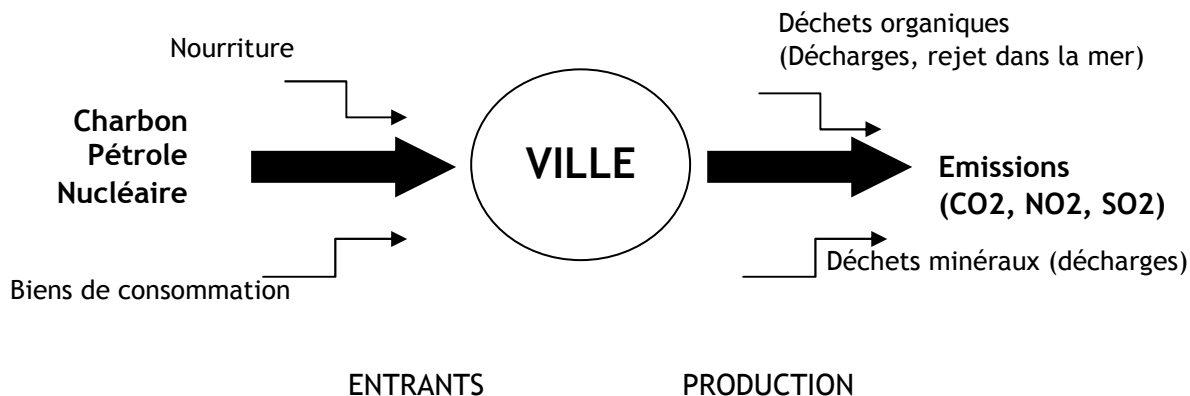
Sir Crispin Tickell

Analyser le métabolisme des villes

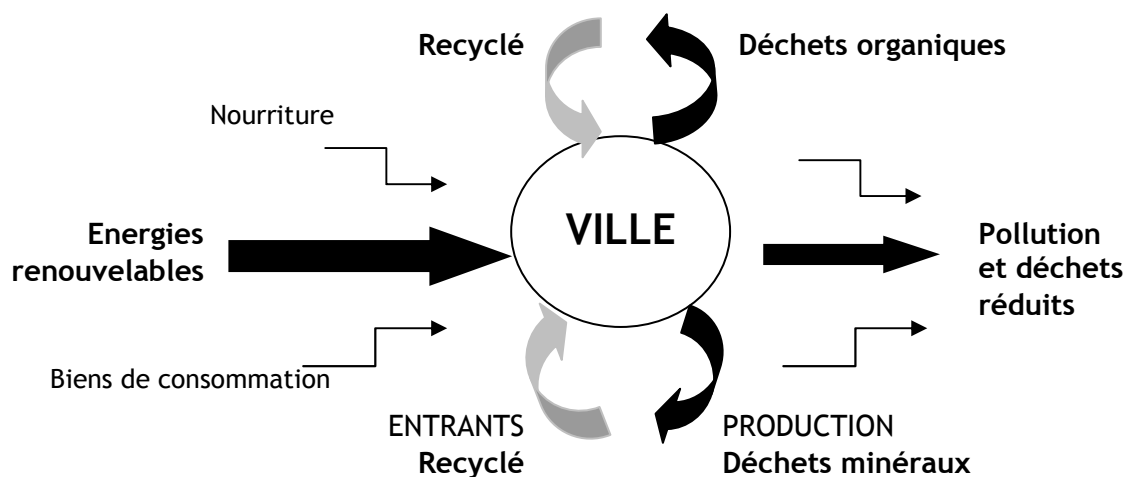
Nous devons considérer les villes elles-mêmes comme des systèmes écologiques car les ressources englouties par une ville peuvent être évaluées par leur « empreinte écologique ». Les empreintes écologiques des villes existantes aujourd'hui couvrent déjà la quasi-totalité de la surface de la planète. Herbert Girardet (écologiste urbain) indique que la solution réside dans les villes qui cherchent à atteindre un « métabolisme circulaire » ou en boucle, où la consommation est réduite et où la réutilisation des ressources est optimisée.

Comme la majeure partie de la production et de la consommation se fait dans les villes, les processus linéaires qui créent de la pollution à partir de la production doivent être remplacés par des moyens qui tendent vers un système en boucle d'utilisation et réutilisation.

Les villes à métabolismes linéaire consomment et polluent dans de larges proportions.



Les villes à métabolismes en circuit minimisent les nouveaux entrants et optimisent le recyclage.



Pour qu'une ville soit durable : c'est mettre en perspectives et entremêlés : les services, les politiques de transports, la production d'énergie, de mesurer leur impact global sur l'environnement proche et sur un territoire géographique plus large.

Mais durabilité signifie également qualité de vie pour les générations futures.

Aujourd'hui, du moins en théorie, grâce aux technologies des transports publics propres, des systèmes perfectionnés d'évacuations des eaux usées et des déchets, le modèle de la ville dense n'est plus nocif comme elle pouvait apparaître au début de l'industrialisation où l'espérance de vie était autour de 25 ans, et où les urbanistes proposaient de désengorger les villes en relogant les individus plus loin : vers des cités jardins ou des villes nouvelles.

Aujourd'hui, le modèle de la ville dense est un modèle qui permet de retrouver les avantages de la proximité sociale et des importants bienfaits écologiques car moins dépensières d'énergie, moins polluantes sur l'environnement.

Ce concept diffère du modèle urbain qui prédomine aujourd'hui : une ville divisée en zone d'activités avec des quartiers d'affaires en centre ville, des centres commerciaux et de loisirs en périphérie, des banlieues résidentielles et des autoroutes. Cette division de ville est si puissante que les pays moins développés sont engagés sur une voie qui a déjà trahie les pays développés.

Il est plus facile économiquement de financer, vendre et /ou gérer un bâtiment monofonctionnel qu'un bâtiment traditionnel à usage mixte d'une ville ancienne qui mélange, boutique en RDC, bureaux, appartement familiaux aux étages et atelier d'artistes sur les toits et qui évite aux habitants de prendre leur voiture. A l'échelle du paysage, également, les promoteurs privés et publics s'engagent sur des aménagements (lotissements ou parc d'activités) dans les champs, s'évitant les problèmes de baux. Mais c'est la voiture qui a été le facteur « plus » des déséquilibres sociaux de la ville. Une estimation précise aujourd'hui qu'il y aurait environ 500 millions de voitures qui circulent à travers le monde (ce chiffre serait doublé en 2030).

L'usage de la voiture a détruit la qualité des espaces publics et encouragé l'étalement urbain et la non protection des campagnes nécessaire à la vie. L'usage de la voiture a permis au citoyen de vivre loin des centres villes. L'usage de la voiture a permis de compartimenter les activités quotidiennes : bureaux - commerces - habitats.

L'usage de la voiture génère la plus grande quantité de pollution de l'air. Mais elle reste l'icône de la liberté et de la réussite sociale. La ville se dessine encore majoritairement aujourd'hui en fonction des cahiers des charges des infrastructures routières.

Quelle est la réponse que l'on doit apporter aujourd'hui pour éviter cette pollution et éviter les impasses écologiques que nous avons créées :

Le modèle de la ville compacte exige le rejet du développement monofonctionnel et de la suprématie de la voiture.

Elle grandit autour de centres d'activités sociales et commerciales situés au carrefour des transports publics. Ces points d'interconnexion permettent le développement des quartiers. La ville compacte est composée d'un ensemble de quartiers qui possèdent leurs propres espaces publics (parcs) et accueillant un large éventail d'activités publiques et privées.

Les structures historiques de Londres, ou de Paris, faites de villes, de villages, de places et de parcs sont des exemples de développement polycentrique.

Favoriser la proximité et moindre utilisation au quotidien de la voiture

Les transports publics de type mass transit (Eole à Paris) permettent de traverser la ville à grande vitesse de part en part et réduit le volume du trafic de transit qui peut être contrôlé à l'échelle du cœur du quartier. Tramways, ou bus électrique, sont des systèmes de transport plus efficaces, les embouteillages et la pollution s'en trouvent réduits et le sentiment de convivialité et de sécurité des espaces publics s'accroît.

Strasbourg a eu cette politique en interdisant le centre ville aux voitures particulières et en mettant à disposition du citoyen un tramway de dernière technologie, des mini-véhicules électriques peuvent y être loués à l'heure, à la journée, à la semaine. Les canaux sont utilisés pour le transport et leurs berges sont transformées en cheminement piétonnier.

A l'échelle du pays, des trains à grandes vitesses relient les villes et renforcent leur importance comme pôle de communication (bientôt la mise en place de trains à lévitation doublera la vitesse des TGV).

La voiture en devenir se verra, robotisée, voir autoguidée le long des voies express, non polluante, mais le développement des transports publics deviendra plus présent car plus souple.

L'urbanisme durable : c'est mettre en perspective tous les critères de la matrice complexe composant la ville moderne : c'est mesurer l'impact des stratégies sur la consommation d'énergie, les besoins de déplacement, de parkings, les déplacements des piétons et l'optimisation de la lumière du soleil.

Rendre la ville compacte

Une ville de forme compacte amène d'autres avantages : moins de rues et plus d'espaces paysagés avec des parcs, jardins, et arbres :

« Un arbre absorbe le dioxyde de carbone, produit de l'oxygène, rejette 380 litres d'eau par jour et purifie l'air alentour. En été il apporte de l'ombre, limite les pics de chaleur provoqué par le soleil et réduit l'éclat du soleil dans les bâtiments. » Richard Rogers.

L'ensemble du monde végétal filtre la pollution, humidifie et rafraîchit l'air.

On réduit ainsi les « bouffées de chaleur des villes » et de manière quantifiable le besoin d'air conditionnée. Les espaces végétalisés réduisent le flot des eaux de pluie et d'orages.

Limiter les gaspillages

Limiter le gaspillage d'énergie : intégrer à proximité les centrales thermoélectriques qui fourniront de l'électricité et de part leur proximité, elles approvisionneront en eau chaude les immeubles.

Les déchets des villes sont jetés dans les décharges ou incinérés - deux méthodes polluantes, peuvent être brûlés par les centrales thermoélectriques et fournir 30% des besoins en énergie d'un quartier.

Dans une ville qui combine de nombreuses activités différentes, il est plus facile de transférer la chaleur, qui généralement est gaspillée d'une activité vers une autre : transférer l'excès de chaleur des bureaux pour être réutilisé dans les hôpitaux, les hôtels ou les écoles.

Lés déchets organiques sont rejetés par l'homme dans de telles proportions qu'ils empoisonnent l'environnement. Les recycler peut produire du méthane et des engrais. Les eaux usées peuvent être filtrés par des systèmes naturels sur site et réutilisés pour irriguer les espaces publics urbains.

Rejeter les déchets filtrés sous les exploitations forestières augmente le taux de croissance des forêts et recharge ces terrains en eau purifiée.

Evaluer les bilans financiers et fixer des objectifs environnementaux

Cette réflexion sur la ville durable doit être accompagnée d'un travail sur les bilans financiers et la définition d'objectifs environnementaux clairs.

Equilibre et Balance des Stratégies Passive et Actives

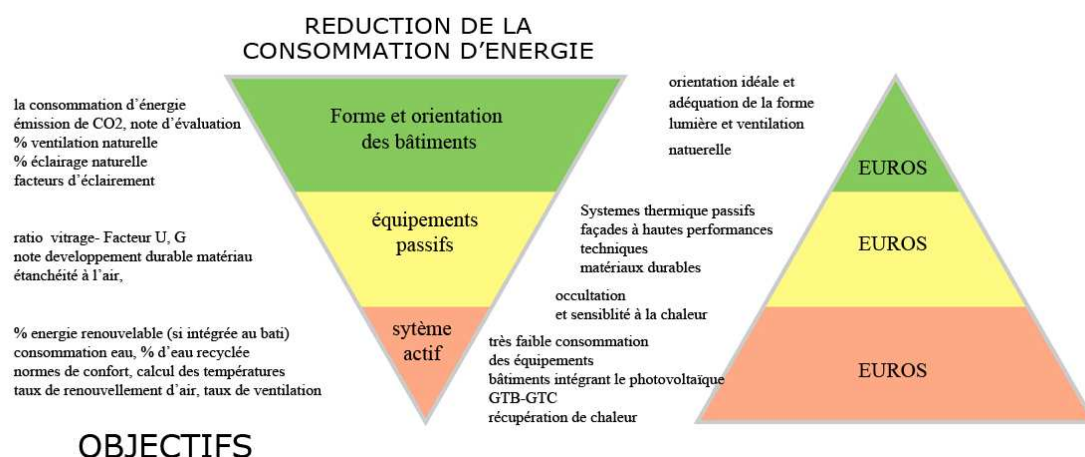


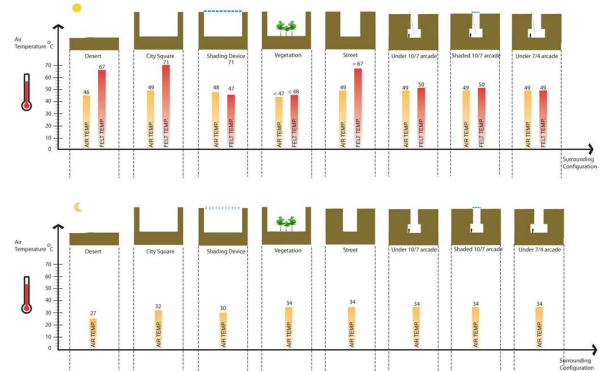
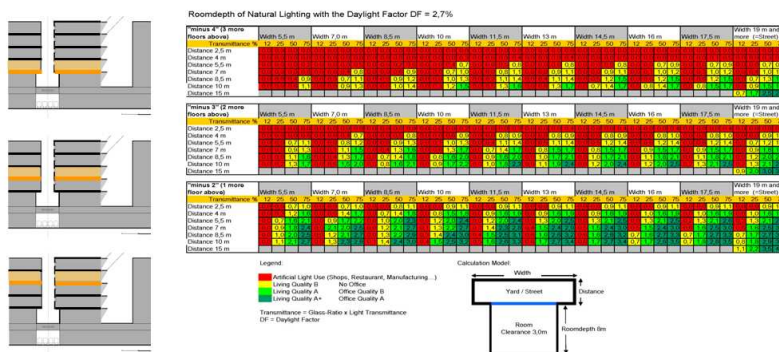
Illustration d'une approche de planification de développement urbain durable

Comment travailler en optimisant l'utilisation de toutes les ressources locales ? Ce concept de durabilité est applicable au renouvellement urbain et projets de réaménagement dans nos pays ou dans les pays en voie de développement où la croissance des villes, bien trop rapide soulève d'autres problématiques. Ces solutions s'inspirent des exemples vernaculaires présentés en partie 1.

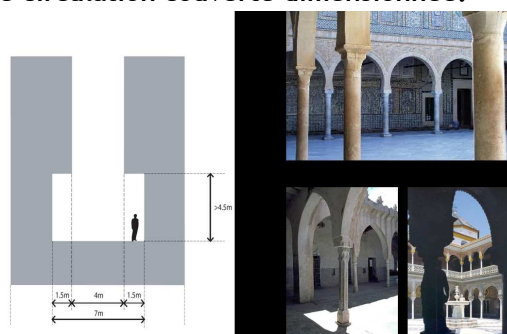
Rafrâchir et protéger du soleil les rues et les cours intérieures

Par une optimisation de l'implantation du bâti en fonction des orientations Nord/sud/est/ouest, de la pénétration de la lumière du soleil des vents dominants et gérer les effets de venturi créé par le bâtiment pour aider à refroidir et rafraichir l'air.

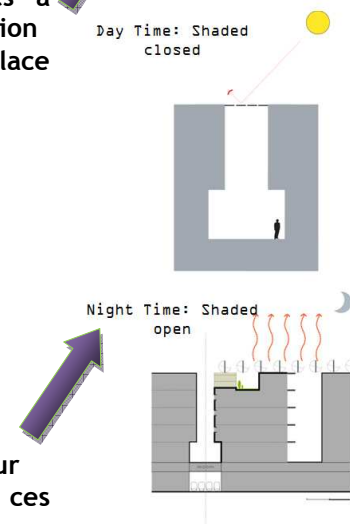
- Dimensionner et configurer les rues en fonction des températures relevées
Abaque de température de l'air (jour nuit) et température ressentie en fonction de la section de la rue
- Dimensionner les espaces ouverts (cours) en fonction de la pénétration de la lumière du jour. Conserver la fraîcheur



- Positionner les bassins dans ces espaces publics à l'ombre du soleil pour éviter une trop forte évaporation
- Se protéger de la chaleur du soleil par la mise en place de circulation couverte dimensionnée.



- Se protéger de la chaleur du soleil en occultant le jour et retrouver la fraîcheur la nuit en ouvrants ces occultations.



Hiérarchiser les espaces publics et l'ensemble des systèmes de transports

- Mélanger les activités humaines (vie, travail, loisirs)
- Equilibrer l'espace monofonctionnel des routes et de l'espace public multi-usages en faveur des habitants : étendre le réseau à prédominance piétonnière des rues, des pistes cyclables,
- Dégager de l'espace pour des parcs, des avenues et des places

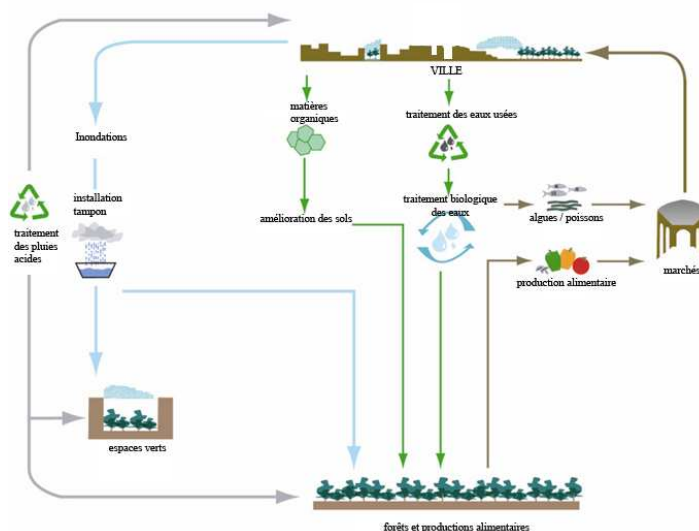
- Favoriser par tous ces moyens les activités culturelles ouvertes de la ville qui démarrent devant la porte de chacun et aboutissent via des parkings, des bus, des trams, aux gares et aéroports. Offrir aux citoyens une mobilité sans rupture.

Organiser la densité du bâti

- Rendre compact chaque quartier avec son propre caractère, rayonnant autour des espaces publics : Bâtiments reliés entre eux par des rues et des places ;
- Varier les hauteurs des bâtiments et optimiser les points de vue, et permettre à la lumière du soleil d'être utilisée pour animer les rues, et réduire l'éclairage artificiel à l'intérieur du bâti.
- Apporter plus d'espaces paysagés, qui sont autant d'avantages écologiques. Une végétation qui, en été ombrage et rafraîchit, les rues les cours intérieures et les bâtiments. Elle réduit l'effet d'îlot de chaleur et le besoin d'air conditionné. Elle atténue les niveaux de bruits et filtre la pollution en absorbant le dioxyde carbone et en produisant de l'oxygène. Elle approvisionne en air frais les bâtiments dans les zones urbaines, chaudes et polluées. Elle absorbe la pluie et permet de conserver une biodiversité.

Favoriser les échanges entre la campagne et la ville, les terres productives en ville

- Encourager le recyclage pour limiter la production de déchets ménagers, notamment le compostage, utile aux terres en ville
- Diminuer les consommations en eau de la ville et développer l'utilisation des eaux de ruissellement ou des eaux usées retraitées de la ville pour l'irrigation des terres agricoles avoisinantes
- Développer les circuits courts de production alimentaire et la production agricole d'autosuffisance ou de proximité (jardins partagés, familiaux, etc.)



Utiliser les sources d'énergies renouvelables disponibles

- Capturer les sources d'énergies disponibles dont le soleil, grâce aux cellules photovoltaïques, le vent grâce aux turbines, et le produit des récoltes qui peut être brûlé dans des centrales thermo électriques locales pour produire de l'énergie
- Valoriser les surfaces ou sous-faces inexploitées des façades urbaines pour installer des centrales de production locales et éviter l'éloignement des sources de production d'énergie des lieux de consommations (types centrales solaires en plein champ), les déperditions d'énergie en ligne et les risques de pics de consommations

Utiliser les outils réglementaires disponibles pour encourager l'évolution des pratiques

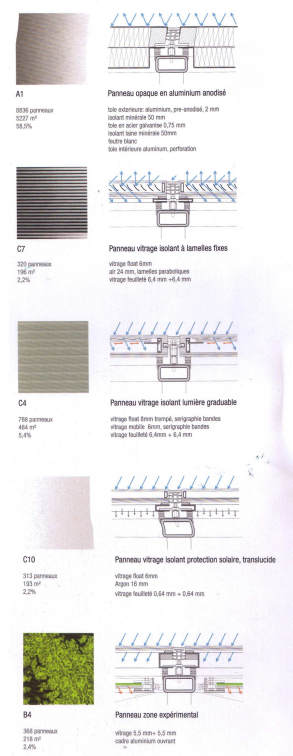
- Mettre à contribution tous les outils de réglementation disponibles localement pour faire changer les pratiques, on pense notamment au Plan Local d'Urbanisme et aux Schémas de Cohérence Territoriale, outils d'encadrement de l'évolution urbaine pour les collectivités locales. Ainsi, le PLU de la Ville de Montreuil a notamment mis en place un "coefficient de biotope", permettant de prendre en compte la végétalisation des murs, des toits (et pas seulement la pleine terre, rare en milieu dense), pour assurer une présence du végétal en ville. Ces règles sont également essentielles pour l'obligation ou non de réaliser des places de parkings, qui peuvent freiner les innovations architecturales. Pour inscrire les villes, habitat de l'humanité à nouveaux dans le cycle de la nature ; c'est respecter la biodiversité et se donner les moyens, avec une réelle efficacité, de réduire nos niveaux de consommation, et répartir plus justement les ressources.

« C'est indéniable nous ne disposons que de deux sources de richesses premières : ce que nous tirons de la terre elle-même et ce que nous produisons grâce à notre imagination créatrice. Si nous ne commençons pas à nous reposer davantage sur notre imagination que sur la terre, nous ne parviendrons pas à faire vivre une population mondiale croissante selon des normes un tant soit peu civilisées et qui de façon générale, à travers le monde ». David Puttnam

2.2.2 Solutions contemporaines à l'échelle du bâtiment

Solutions pour l'inertie thermique

Inertie thermique et les parois « performantes » d'aujourd'hui.



« On peut (on doit) se poser la question de l'inertie dans les constructions en structure bois très performantes, un réel risque de surchauffe existe et aussi d'inconfort hygrométrique.

On voit se développer des parois « composites » afin de parer à ce problème, Exemple : des parements de structure bois sont réalisés de manière à permettre l'accroche de terre crue destinée à donner de l'inertie et permettre une bonne régulation hygrométrique. »

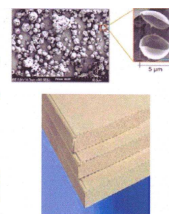
Inertie thermique en expérimentation : le « changement de phase »

« Les panneaux à changement de phase permettent une valorisation plus efficace des gains du fait que le stockage se fait à température constante. Pour les mêmes raisons on obtient un meilleur confort d'ambiance »

Panneau à changement de phase Energain de DuPont de Nemours
 Panneau composite à base de copolymères d'éthylène (40%) et de paraffine (60%), laminés entre deux feuilles d'aluminium (100 µm).
 Absorbe ou restitue la chaleur environnante grâce aux changements d'état de la paraffine : fusion à +22° C (absorption de chaleur) et solidification à +18° C (restitution de chaleur). (120 x 100 cm x 5,26 mm).
Capacité de stockage de chaleur latente supérieure à 70 kJ/kg



Micronal® PCM SmartBoard™ BASF
 Smartboard est un panneau de plâtre avec des microbilles de Micronal incorporées.
 Caractéristiques techniques des panneaux :
 - Dimensions : 2,00 m x 1,25 m
 - Épaisseur : 15 mm
 - Poids : 11,5 kg/m²
 - Capacité de chaleur latente : 330 kJ/m³, soit la capacité thermique équivalente d'un mur de briques avec un épaisseur de 12 cm ou de 9 cm de béton.



Enveloppe double peau « intelligente ».

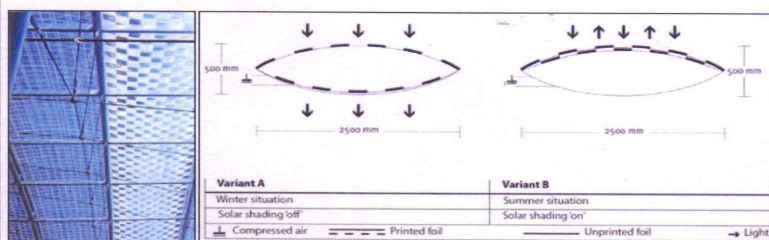
De la transposition simple des principes vernaculaires « intégrés à l'enveloppe » comme cette façade d'un bâtiment en Chine. Mais cela va jusqu'à des systèmes complexes : les recherches actuelles tendent à sophistiquer les enveloppes pour les rendre intelligentes.

On peut citer notamment les protections solaires gonflables.



Parois pivotantes, fenêtres ouvrantes, latis et espaces fluides favorisent une ventilation naturelle dans un climat humide et chaud.

Protection solaire « gonflable »



Source : Intelligent Building Envelopes - Application in the Field of Daylighting
 Annemie Wyckmans - Norwegian University of Science and Technology

De la double peau à la double façade ventilée

D'après « les doubles façades ventilées de X. LONCOUR, A Deneyer, M. Blasco, G Flamant, P. Wouters

Une double façade ventilée peut être définie comme une façade simple traditionnelle doublée par l'intérieur ou par l'extérieur par une deuxième façade essentiellement vitrée. Chacune de ces deux façades est communément appelée peau. Une cavité ventilée, d'une largeur pouvant aller de quelques centimètres pour les plus minces à plusieurs mètres pour les cavités circulables les plus larges, est située entre ces deux peaux.

Il existe des concepts de façade où la ventilation de la cavité est contrôlable, par des ventilateurs et/ou des ouvrants, et d'autres concepts de façades où cette ventilation est non contrôlable. Les peaux intérieure et extérieure ne sont pas forcément étanches à l'air (voir par exemple les façades du type "à lamelles"). Des équipements automatisés, comme des protections solaires, des ouvrants motorisés ou des ventilateurs, sont la plupart du temps intégrés à la façade.

La principale différence entre une double façade ventilée et un vitrage multiple étanche, intégrant ou non une protection solaire dans la cavité séparant les vitrages (voir Fig. 1), réside dans la ventilation intentionnelle et éventuellement contrôlée de la ventilation de la cavité de la DFV.

Mode de ventilation de la cavité

La gestion du mouvement de l'air dans la cavité ne dépend pas du type de ventilation utilisé mais de la zone d'admission de l'air et de la circulation du fluide. À un instant donné, une façade est caractérisée par un seul mode de ventilation et la conception des différents types de façades n'est pas susceptible d'intégrer tous les modes de ventilation. Cependant, la conception d'une façade peut adopter plusieurs modes de ventilation à différents moments selon les composants intégrés à la façade.

La distinction porte sur les modes suivants :

1. Rideau d'air extérieur

L'air est introduit dans la cavité en provenance de l'extérieur et est rejeté vers l'extérieur directement. Cela forme un rideau d'air à l'intérieur de la cavité enveloppant la façade placée du côté extérieur.

2. Rideau d'air intérieur

L'air provient de l'intérieur du local et est repris et réinjecté à l'intérieur du local. Cela forme un rideau d'air enveloppant la façade intérieure.

3. Alimentation en air neuf

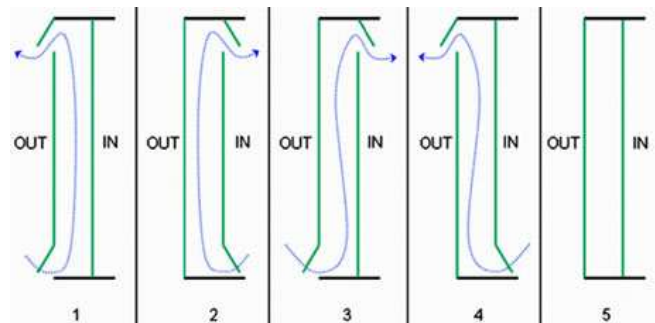
La ventilation de la façade est réalisée avec de l'air extérieur. Cet air est conduit vers l'intérieur du local ou dans le système de ventilation. La ventilation de la façade permet d'alimenter le bâtiment en air neuf.

4. Évacuation de l'air

L'air en provenance de l'intérieur du local est évacué vers l'extérieur. La ventilation de la façade permet d'évacuer l'air vicié du bâtiment.

5. Espace tampon

Dans ce cas, chacune des peaux de la façade est étanche. La cavité forme un espace tampon entre le milieu intérieur et le milieu extérieur, aucune ventilation n'étant possible.



Développement des toitures végétalisées

Dans l'architecture du XXème siècle, la terrasse-jardin est progressivement devenue une des solutions permettant de conserver à la ville une relation avec la nature. Les éléments techniques qui constituent cette solution ont été améliorés à partir des années 1970, avec l'arrivée des membranes d'étanchéité légères et résistantes à la pénétration racinaire, et de mélanges terreux allégés.

Au milieu des années 80, l'Allemagne fut à l'origine de la mise à jour d'une solution novatrice, dite « végétalisation extensive des toitures », appelée à un très important développement dans ce pays, puis dans tous les pays limitrophes (à l'exception notable de la France). C'est ainsi qu'à partir du milieu des années 90, près de 15% des toitures-terrasses nouvellement créées en Allemagne étaient végétalisées, essentiellement avec cette solution. C'est la prise en compte rapide par les pouvoirs publics (subventions au niveau des Länder et des villes notamment) et l'intégration de « l'esprit environnemental » dans la société allemande qui ont permis cette remarquable réussite.

En France, le concept de végétalisation extensive des toitures est apparu au début des années 90, porté par des industriels de l'étanchéité. Il s'est développé très lentement durant la décennie 90, et entre de plus en plus en phase avec les attentes de la société française depuis 2004 se concrétisant notamment autour de la démarche HQE et le souci de prendre en compte, dans la construction, des solutions respectueuses de notre environnement (développement durable).



Exemple de toit promenade - Université des Arts à SHIZUOKA - JAPON

Plusieurs entreprises spécialisées ont mis au point des systèmes complets de verdissement des toitures, fiables et performants.

Elles proposent toutes sortes de systèmes, allant des tapis pré-végétalisés de sédums à la station d'arrosage automatisée en passant par des caissons emboîtables prévégétalisés, autodrainants, mais équipés d'une petite réserve en eau.

L'intégration d'un toit vert dans le bâtiment sera d'autant mieux réussie si elle est envisagée dès la conception du bâtiment, mais elle est toutefois réalisable sur des constructions déjà existantes. Les coûts d'entretien et surcoûts de construction sont faibles, en comparaison des services rendus, particulièrement pour les terrasses plantées en extensif qui ne nécessitent qu'un nettoyage annuel des écoulements, aucun arrosage et un entretien très réduit. Cette technique, qui est parfaitement au point et relativement aisée à mettre en place, ne provoque pas l'altération du bâtiment. Au contraire, la stabilité et l'étanchéité des toitures végétalisées sont supérieures aux toitures plates classiques.

On distingue plusieurs types de toitures végétales : plantations extensives, semi-extensives ou intensives.

Voir explications et exemples ANNEXE 21

Cette technique propose différents avantages écologiques au sein des villes car, les espaces verts :

- aident à lutter contre la pollution due au CO₂,
- ils sont une zone refuge pour la biodiversité (insectes et petits animaux),
- ils aident à lutter contre l'augmentation excessive de la température en ville,
- participent à la rétention de la poussière,
- Amortissent les bruits, la terre est parmi les isolants les plus efficaces qui existent,
- l'oxygène dégagé par les plantes contribue à la santé des habitants,
- ils favorisent une meilleure filtration de l'eau de pluie

La toiture végétale est aussi un isolant contre le froid en hiver et la chaleur en été puisqu'elle permet de mieux réguler les écarts de température. On s'est aperçu que la température d'un toit traditionnel pouvait atteindre les 60°C alors que celui du toit végétal reste entre 15 et 20°C. (Surtout en cas de forte épaisseur de terre qui joue le rôle d'isolant, c'est moins vrai pour les plantations extensives).

Elle permet également de protéger la toiture des rayons UV en lui offrant une vie 3 x plus longue. Les végétaux empêchent jusqu'à 50% des eaux de pluie de s'écouler directement dans les égouts, ce qui peut permettre d'éviter certaines inondations et débordements de canalisations dans les rues.

Réflectivité des surfaces

Certaines initiatives pourraient présentées ici pourraient paraître farfelues, mais il suffit de voir les villes et villages traditionnels grecs (blancs) pour avoir un indice de l'efficacité potentielle de ce paramètre du revêtement extérieur pour se protéger du chaud.

Ce principe nous paraît très intéressant car il influe directement sur le choix des matériaux de revêtement et pourrait bien avoir un impact majeur à terme. La réflectivité des surfaces et l'usage des couleurs sont en effet un moyen simple mais efficace de diminuer l'effet de la chaleur sur les bâtiments, et surtout, ils sont faciles à mettre en œuvre, même dans les réhabilitations, courantes dans les logements sociaux (isolation par l'extérieure + enduit de façade).

Peindre nos villes en blanc ?

"Et si un moyen efficace pour refroidir la planète était tout simplement de peindre nos villes en blanc ? C'est ce que propose le scientifique Hashem Akbari.

Un grand coup de pinceau sur nos villes, ou l'utilisation de revêtement renvoyant mieux les rayons du soleil, pourrait donc participer à enrayer le réchauffement climatique qui nous guette, affirme Hashem Akbari, du Laboratoire national Lawrence Berkeley basé en Californie. Cette mesure permettrait notamment de lutter contre le phénomène des îlots de chaleur urbain (ICU) qui frappe les grandes agglomérations, avec des augmentations de températures pouvant atteindre 3 à 5 degrés par rapport à la périphérie. En ne retenant pas la chaleur, le blanc pourrait permettre de réduire fortement la consommation d'air conditionné.

Selon Akbari, peindre en blanc 10 mètres carrés de surface sombre serait aussi efficace que réduire d'une tonne la production de dioxyde de carbone. Une simulation réalisée sur Los Angeles estime ainsi qu'en recouvrant deux tiers des routes et des toits, en plus du plantage d'arbres, la ville pourrait

voir sa température baisser de 2 à 3 degrés. Ce qui aurait par ailleurs un effet bénéfique sur le smog qui étouffe la cité des anges. Mais toutes les cités d'Europe du Nord n'ont pas la chance d'avoir 300 jours d'ensoleillement annuels comme L.A., ce qui minimise quelque peu la portée d'un tel projet.

Sans prétendre résoudre à elle seule la question du réchauffement climatique, cette initiative a en tout cas le mérite d'être réalisable dès à présent et pour un coût raisonnable. "On peut donner à l'atmosphère le temps de reprendre son souffle", déclare Akbari au Guardian. "Je ne vois pas de désavantage dans ce projet. Il peut bénéficier à tout le monde et il n'est nul besoin de mener d'après négociations pour qu'il aboutisse." Reste à convaincre les pays que cette idée toute bête peut aider à sauver le monde. Dans la même direction, l'innovation dans les peintures réfléchissantes pour les bâtiments et infrastructures se développe. Aussi, le groupe chimique "Arkéma" a mis au point une résine "sans solvant" qui conserve son pouvoir réfléchissant durant 20 ans, applicable sur tout type de support, bois, métal, ciment."

Dans le figaro.fr du 03/09/10

C'est également l'idée: d'un Péruvien, pour atténuer les effets du réchauffement climatique partant du principe que la couleur blanche réfléchissant le soleil, il suffit d'en répandre suffisamment sur une montagne pour préserver un glacier. Encouragé par la Banque mondiale, qui a versé 200 000 \$ pour l'expérience (dans le cadre du concours « 100 idées pour sauver la planète »)

Sources : [L'Express](#) de Toronto, [Cleantech Republic](#), [National Geographic](#), 20 minutes

Il a donc entrepris de déverser des pots de peinture blanche sur les rochers du Chalon Sombbrero, pic andin ayant déjà perdu la majeure partie de son glacier. Peinture 100 % naturelle quand même : à base de citron, de blanc d'œuf et d'eau, elle est utilisée depuis des siècles au Pérou. Au rythme d'un hectare par semaine, il lui faudra encore plusieurs mois pour mener à bien cette entreprise débutée au mois de mars dernier...



Bernard Francou, chercheur à l'IRD et spécialiste des glaciers d'Équateur est sceptique : «Il s'agit d'un projet sans doute inefficace sans oublier les risques de pollution.» Il n'empêche, ce genre d'idée fleurit. Steven Chu, le secrétaire d'État américain à l'Énergie, ne suggère-t-il pas de peindre en blanc tous les toits de New York ? À quand le Grenelle des glaciers !

Protections solaires d'aujourd'hui : ombrières et protections polyvalentes

Aujourd'hui, pour répondre aux soucis environnementaux et aux problématiques de confort thermique, et de confort visuel la gestion des protections solaires devient un sujet à part entière. Objet de réglementation, notamment dans le cadre du code du travail et des directives européennes pour ce qui concerne le confort visuel :

► 1.3.4. La réglementation en matière de confort lumineux

Il s'agit essentiellement d'obligations réglementant l'ambiance lumineuse dans les lieux de travail (niveaux d'éclairement minimaux, protection contre l'éblouissement).

Ainsi, selon l'article R.4223-4 du code du travail, les locaux de travail doivent bénéficier autant que possible d'une lumière naturelle suffisante, et un niveau d'éclairement minimal de 120 lux sur le plan de travail ou au sol est imposé.

Toutefois, un éclairage trop abondant peut être inconfortable. La maîtrise du flux lumineux est envisagée par l'utilisation de protections solaires dans le code du travail :

« Les postes de travail situés à l'intérieur des locaux de travail sont protégés du rayonnement solaire gênant soit par la conception des ouvertures, soit par des protections fixes ou mobiles appropriées » - article R.4223-7.

« Les dispositions appropriées sont prises pour protéger les travailleurs contre l'éblouissement et la fatigue visuelle provoqués par des surfaces à forte luminance ou par des rapports de luminance trop importants entre surfaces voisines. » - article R.4223-8.

La directive européenne 89/654/CE relative aux règles de sécurité et de santé sur les lieux de travail précise que « les lieux de travail doivent autant que possible disposer d'une lumière naturelle suffisante. »

La directive 87/391/CE relative au confort visuel spécifie que « les postes de travail doivent être aménagés de telle façon que les sources lumineuses telles que les fenêtres et autres ouvertures, les parois transparentes ou translucides, ainsi que les équipements et les parois de couleur claire ne provoquent pas d'éblouissement direct et entraînent le moins possible de reflets sur l'écran. »

Extrait du guide de la fermeture et de la protection solaire/ éditions SEBTP et Métal Services- 2009 par la Fédération Française du bâtiment



« Une Ombrière de 1300 baliveaux de châtaignier fixés sur ossature métallique couvre le bâtiment du restaurant du CETE de BRON et ses prolongements extérieurs près de LYON. Elle retient environ 40% du rayonnement solaire sur la toiture et protège le bâtiment des surchauffes, laissant passer les rayons bas de l'hiver pour profiter des apports gratuits. »

Architectes TECTONIKES
Extrait de la revue ECOLOGIK - Oct/Nov 2010

Se développent même aujourd'hui des expériences de protections solaires polyvalentes, ici des protections solaires combinées avec des panneaux solaires thermiques :

De chez ROBIN SUN, pour un immeuble de logements sociaux dans le 18ème arrondissement de Paris livrés par l'agence d'Architecture PHILIPPON-KALT pour la SIEMP.

Les panneaux solaires thermiques sont constitués de serpentins de cuivre recouverts de lamelles absorbantes dans lesquelles circule un fluide caloporteur en reprenant le principe des claustras : leur espacement permet aux lamelles de stopper les rayons presque verticaux des rayons du soleil et d'éviter la surchauffe des pièces,. En hiver elles renvoient les rayons quasi horizontaux vers l'intérieur des pièces en tamisant la lumière.



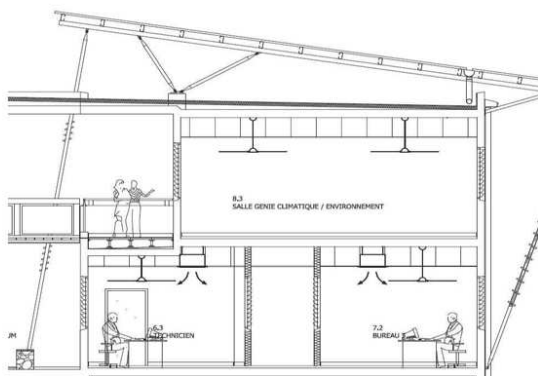
Bâtiment à énergie positive en climat tropical : l'IUP de Saint-Pierre (La Réunion - France)

IUP de Saint Pierre, La Réunion. Agence Faessel-Boehe, St-Paul, La réunion, 1997.

Premier bâtiment à énergie positive construit à la Réunion et qui bénéficie des techniques passives en climat tropical:

- Protection des façades et des toitures contre l'ensoleillement (couleurs claires, débords de toitures),
- Protections solaires efficaces et permettant une forte porosité des façades pour une ventilation naturelle permanente traversante des locaux,
- Présence de patios végétalisés

Tout ceci permettant d'éviter la climatisation et d'assurer le confort des salles de classes par de simples brasseurs d'airs, même au plus fort de la saison chaude.



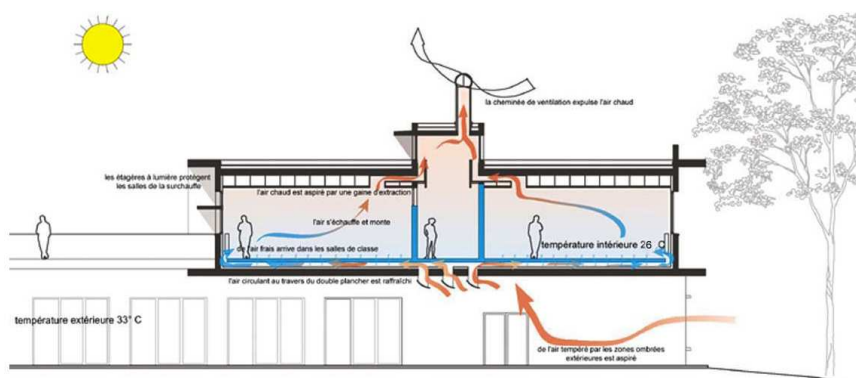
(<http://www.tribu-concevoirdurable.fr>)

Privilégier des solutions passives : Lycée Jean-Jaurès à Saint-Clément de Rivière (France)

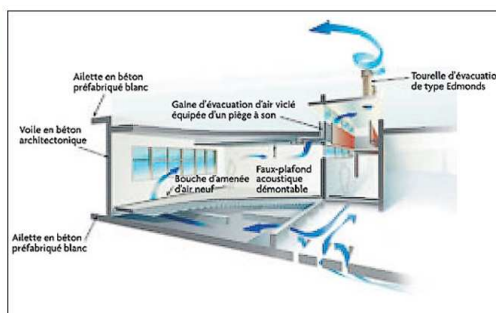
Lycée Jean Jaurès, Saint Clément de Rivière, France. Pierre Tourre, Serge Sanchis, 2003

Construit au pied du pic Saint-Loup, au nord de Montpellier, le lycée Jean-Jaurès constitue une référence en matière de Haute Qualité Environnementale. Les choix de conception, en matière de ventilation, privilégient des solutions passives, adaptées au climat local, et donnent la priorité au confort d'été. Ainsi, la plupart des locaux de l'externat bénéficient d'une ventilation naturelle assistée par une tourelle à vent et contrôlée par registre asservi à la vitesse de l'air. (VNA).

Transposant le principe des pièges à vent de l'architecture moyen-orientale, le système consiste à utiliser l'inertie thermique du béton, stockée dans le double plancher, et s'appuie sur la propension de l'air chaud à s'élever.



Capteur à vent en sous-face des planchers



En sous-face des planchers, les pièges à vent sont constitués de lamelles en tôle d'aluminium qui captent l'air pour alimenter le cycle de ventilation.



Tourelles d'évacuation de type Edmonds qui fonctionnent aussi bien par tirage thermique que par aspiration due à l'effet du vent.

(Support de cours, DDQE Montreuil, et <http://www.creargos.com>)

« Chaque bâtiment d'enseignement est bâti au-dessus d'un préau dont le plancher haut est équipé d'entrées d'air. L'air extérieur intègre donc le plenum de plancher en sous-face puis circule entre la dalle béton et le plancher collaborant avant d'être aspiré dans les classes au ras des fenêtres. Cette entrée indirecte qui régule l'arrivée d'air est idéale dans ce lieu où le Mistral souffle régulièrement. Après échauffement lors de son passage dans les classes, l'air s'évacue en partie haute des cloisons à travers un caisson acoustique où il est aspiré vers la circulation puis extrait en toiture par des tourelles activées par l'énergie du vent. Ces extracteurs à vent sont équipés d'un registre motorisé, asservi à la vitesse du vent et à la température, afin d'assurer automatiquement la mise en dépression des circulations et le balayage des classes. Toute l'année, quelle que soit la saison, les salles de classe bénéficient ainsi d'une température constante. » (Alain Bornarel, ingénieur au BET Tribu. <http://www.tourre-architecte.com>)

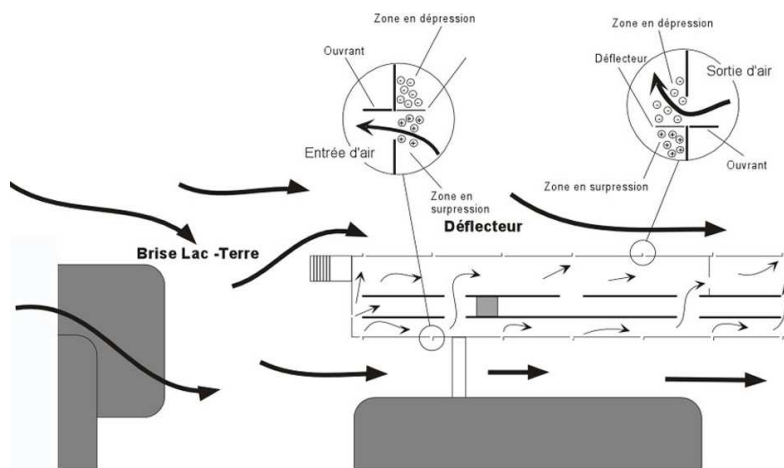
[Ventiler grâce aux effets du vent](#)

Bibliothèque universitaire Edouard Fleuret, Dornig, Suisse. Architecte SIA, G. Freudenberg, P.Devanthery et I.Lamunier, Lausanne, 2000.

L'implantation de cette bibliothèque en bordure du lac Léman a contribué à utiliser un système de ventilation naturelle bien particulier.

En été, en bordure des plans d'eau un phénomène de brise se produit. Durant la journée les terres plus chaude provoquent des mouvements d'air ascendant provoquant un courant d'air du plan d'eau vers la terre. La nuit l'inverse se produit. Ainsi les régimes de vents sont assez bien établis en bord de lac (comme à Lausanne par exemple).

Le bâtiment est ventilé naturellement. En hiver, on utilise l'effet de cheminée avec des ouvrants étroits et hauts, protégés de la pluie, disposés sur toutes les façades. En été, les brises locales dues à l'effet du lac génèrent un courant du sud qui est capté par des déflecteurs sur les façades est et ouest. Les zones de pressions et dépressions créées par ces déflecteurs induisent une ventilation transversale du bâtiment tout en évitant que l'air chaud dû à l'ensoleillement de la façade ouest, ne pénètre pas dans le bâtiment. Des protections solaires, en partie mobiles et en partie fixes, modèrent l'effet du soleil. La combinaison de la ventilation naturelle diurne et nocturne, d'une protection solaire efficace et d'une inertie importante (le dessous des dalles est nu) évite les surchauffes.



<http://www.sorane.ch>



Ventiler par tirage thermique : les cheminées thermiques (ou solaires)

Il est souvent plus simple d'utiliser le vent pour ventiler un bâtiment, néanmoins il est aussi souhaitable de pouvoir lors d'une période caniculaire sans vent de pouvoir maintenir une ventilation naturelle satisfaisante. **Les cheminées solaires**, à l'instar des tours à vent iraniennes peuvent passivement répondre à cette exigence. Elles offrent aussi d'autres avantages :

- Une plus grande liberté de prise d'air (par exemple, côté sous le vent d'un bâtiment)
- Un niveau de bruit réduit dans un environnement urbain
- Un taux de ventilation accru en période nocturne
- la ventilation de petit espace étroit avec un minimum d'exposition aux éléments extérieurs.

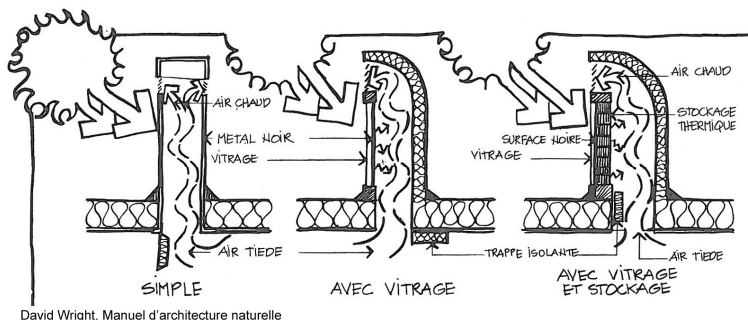
Couplées avec un puits provençal les cheminées solaires peuvent largement participer au rafraîchissement.

Les illustrations montrent quelques exemples d'améliorations apportées aux cheminées thermiques afin d'augmenter ou de prolonger leur effet de tirage (convection).

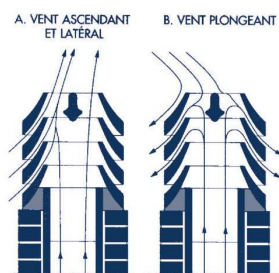
Les bâtiments voisins ou certains obstacles peuvent gêner l'évacuation naturelle de l'air et nécessiter l'utilisation d'un aspirateur statique.

Dans d'autres cas, Il est aussi parfois nécessaire de combiner les deux systèmes : convection + aspiration éolienne.

Concevoir pour minimiser les besoins en



David Wright, Manuel d'architecture naturelle



Placé au-dessus du débouché, l'aspirateur statique permet, grâce à sa forme, d'éviter le refoulement. L'évacuation de l'air vicié est facilitée, quelle que soit la direction du vent.



Combinaison d'une cheminée de tirage et d'une turbine éolienne.
<http://www.tribu-concevoirdurable.fr>

climatisation : le BRE Office à Watford (GB)

BRE Office , Watford , Angleterre. Feilden Clegg Architects, Cambridge 1996.

Ce bâtiment a été conçu dans le but de minimiser la climatisation pendant la journée par l'ombrage, par les charges internes basses et par la masse thermique refroidie pendant la nuit.

Voir illustrations
ANNEXE 22

Organiser la ventilation naturelle : exemples de bâtiments d'enseignement

L'université de Montfort, Leicester, Angleterre, 1993.

Lycée professionnel Jacquart Caudry, France. AUA, Lucien Kroll, Bruxelles, 2000.

Lycée Charles de Gaulle, Damas en Syrie. Atelier Lion, Paris. Inauguré fin 2008.

Cet édifice, répond aux exigences de confort thermique en milieu scolaire grâce à une optimisation de la ventilation naturelle.



A cette fin, le plan masse se compose de petits bâtiments de salles de classes sur 2 étages, connectés à des petites cours végétalisées recouvertes d'une protection légère amovible.

En été, ces protections amovibles au-dessus des cours fournissent la protection solaire pendant la journée et sont ouvertes la nuit pour rafraîchir les cours par rayonnement nocturne. (En hiver l'opération est inversée.)

Cette disposition produit un microclimat autour des salles de classe.





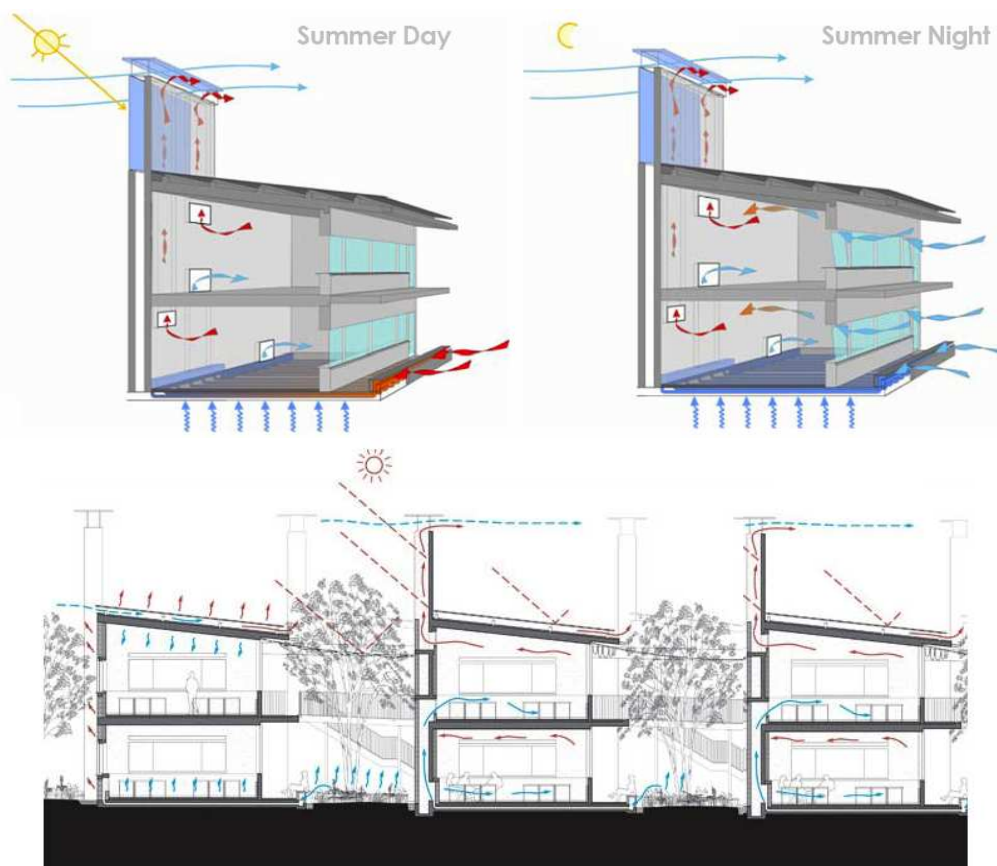
La ventilation et le rafraîchissement des salles de classe sont réalisés de manière passive. Incluant non seulement les protections amovibles des cours, l'inertie du bâtiment mais aussi l'utilisation d'une ventilation naturelle inspirée de l'architecture traditionnelle.

Ce principe de ventilation utilisée est basé sur l'utilisation de cheminées solaires complétée par l'effet du vent. Elles agissent comme un extracteur, en aspirant l'air vicié des salles de classe.

A l'étage, l'air frais entrant est « aspiré » dans les salles de classes par leurs fenêtres donnant sur les cours couvertes dont la température est tempérée ; au rez-de-chaussée, l'air frais est tiré par de petits conduits enterrés qui puisent l'air frais au niveau des cours plantées (principe du puits provençal).

Ces cheminées, qui dominent la forme de l'école, sont orientées vers le sud et leur partie supérieure est recouverte de polycarbonate peint en noir afin de capter le maximum de radiation solaire et améliorer leur tirage thermique. Ces cheminées sont aussi conçues pour utiliser le vent et créer une dépression au sommet, par effet Venturi.

La nuit, les salles de classes sont nettoyées à grandes eaux, refroidissant la masse thermique de la structure.



(Illustrations : <http://www.carboun.com>)

Voir schémas et visuels Montfort et Jacquot Caudry
ANNEXE 23

Conclusion

« Si les pratiques vernaculaires des peuples sous toutes les latitudes ne présentent pas en elles mêmes une réponse ou une alternative à la situation actuelle, elles n'en contiennent pas moins un stock impressionnant de solutions ingénieuses, de procédés exemplaires de la capacité des hommes à tirer parti de situations données et à agencer les ressources effectivement disponibles.

« S'abriter, s'assembler » ; la question de l'inventivité et de l'innovation typologique face aux modèles spatiaux qui organisent l'espace contemporain de type occidental. »¹

Un certain nombre de choix se font à l'échelle de la ville et nécessitent l'implication des collectivités locales, des élus et des citoyens. Leur rôle est aussi central pour fixer des réglementations encourageant les solutions favorables au confort d'été (calculs dans les PLU, etc.). L'Etat joue lui, un rôle dans la réglementation concernant les matériaux, les certifications, les contrôles, de manière à faciliter les solutions alternatives.

« Cédric Price a dit un jour que le problème principale avec la ville, est que les bâtiments sont dans le chemin ... ».

« Nous devons bâtir des villes flexibles et ouvertes, avancer avec et non contre le processus, désormais inévitable, qui rend les villes à un continuel changement. A mesure que les logements, les écoles, les lieux de divertissements et de travail se définissent moins par leur simple fonction, une structure de base, reliée à un réseau de communication commun, peut accueillir le savoir, le travail et les loisirs »... « L'architecture évolue en réponse aux exigences environnementales, aux développements de nouveaux matériaux très performants et bioréactifs »...²

Les bâtiments auront tendance à se dématérialiser avec leurs structures indéterminées, adaptables et flottantes répondant aux changements quotidiens d'environnement et de modes d'utilisation. Cette nouvelle architecture (comme la dessine, Zaha Adid, Wil Alsop, Rem Koolhaas et bien d'autres), transforme déjà le domaine public. Plus les structures seront légères, plus les bâtiments sont perméables. La rue et le parc sont alors intégrés dans le bâtiment.

La cour, créatrice d'un micro climat, nommée « puits du ciel » dans la tradition chinoise, L'ombre, l'oxygène apportées par l'arbre ... et les calculs des niveaux d'éclairage et des augmentations de chaleur

L'air qui pénètre par des fenêtres sans l'aide de ventilateur mécanique si l'on conçoit des plafonds, des toits aux formes aérodynamiques et /ou profilés, pour réagir aux vents dominants ou les piéger ...

Et si l'on connecte les étages à un espace plus vaste de type atrium permettant à l'air vicié de s'échapper par l'effet de cheminée en attirant l'air chaud vers le haut... les calculs des mouvements de l'air ...

Offrons-nous un environnement confortable sans faire appel à des systèmes de type climatisation consommateurs d'énergie ...

La forme du bâtiment est alors conçue pour s'adapter aux conditions climatiques car nous utilisons son environnement naturel pour réduire sa consommation en énergies.

Le bâtiment ne devient-il pas alors respectueux de son environnement, conformément aux exigences de notre siècle, en se définissant par des principes simples vernaculaires optimisés par les développements de nouvelles technologies des calculs informatiques car les matériaux existent, pour passer de la haute à la faible isolation, de l'opaque au transparent, de réagir organiquement à l'environnement et se transformer en fonctions des cycles quotidiens et plus ou moins saisonniers.

« Le futur est déjà là, mais son impact sur l'architecture commence seulement à se faire sentir.

Travailler nos bâtiments pour qu'ils intègrent le cycle de la nature ramènera l'architecture à ses racines mêmes »²

¹ Pierre Frey «archives de la construction moderne» ; ² Richard Rogers «des villes durables pour une petite planète»

Bibliographie

Ouvrages

Sous la direction de J.Ferrier «Architecture=durable», 2^{ème} édition. Ed. du Pavillon de l'Arsenal
Agir conte l'effet de serre, la pollution de l'air et le bruit dans le plan des déplacements urbains, approches et méthodes coédition Certu Ademe 2008
Rogers Richard, Des villes durables pour une petite planète, Ed Le Moniteur 2009
Revue du Moniteur Mai 2010 «Construire durable »
Cédis : Ville durable et écoquartiers, éd. le passager clandestin 2010
E. Charme & T. Souami, Villes rêvées villes durables, éd Gallimard 2009
Alejandro Bahamon «L'architecture : du vernaculaire au contemporain --Ed l'Inédite
ALEXANDROFF, G et J.M, Architecture et climats - soleil et énergies naturelles dans l'habitat, Berger-Levrault, Paris, 1982.
FATHY Hassan, Construire avec le peuple, Editions Jérôme Martineau, Paris, 1970.
FATHY Hassan, Natural Energy and Vernacular Architecture, Principles and Examples with Reference to Hot Arid Climates, Edition Walter Shearer and Abd-el-rahman Ahmed Sultan, Chicago, Londres, 1986.
GAUZIN-MULLER, Dominique, L'architecture écologique, Le Moniteur, Paris, 2001.
IZARD, Jean-Louis, Architectures d'été; construire pour le confort d'été ; Edisud, Aix-en-Provence, 1993.
LEFEVRE Pierre, Architectures durables, Edisud / Systèmes solaires, Aix en Provence, 2002.
LIEBARD A. et DE HERDE A., de MYTTENAERE K., KANENE C. *Guide de l'architecture bioclimatique. Tome 3 : construire en climats chauds*. Commission européenne - DG XVII -programme Altener. 2001 .
LIEBARD Alain et de HERDE André, Traité d'architecture et d'urbanisme bioclimatique, Observer, Baume les Dames, 2005.
RAPOPORT, Amos, Pour une anthropologie de la maison, Paris, Dunod, 1969.
RAVEREAU, André, Le M'Zab, une leçon d'architecture, Sindbad, Paris, 1981.
RUDOLFSKY, Bernard, Architectures sans architectes, Paris, Editions du chêne, 1980.
SALOMON, Thierry et AUBERT, Claude, Fraicheur sans clim', le guide des alternative écologiques, Terre vivante, 2007
WRIGHT, David, Manuel d'architecture naturelle, Editions Parenthèses, Marseille, 1979.

Sites Internet

L'aspect bioclimatique de l'habitat vernaculaire
<http://learning-from-vernacular.epfl.ch>

Littérature grise

Cours de formation DDQE
Architecture climatique équilibrée, programme de cours PACER rédigée par JP Eggimann, EPFL-LESO 1015 Lausanne
Masdar , développement d'Abu-Dhabi
MENDES, Christian, La ventilation naturelle, un élément du confort d'été en région méridionale, mémoire de fin de stage, formation continue « L'architecture HQE », Ecole d'Architecture de Lyon, janvier 2005,
TANGUY, Lénaïg, Leçon de l'habitat vernaculaire islamique, mémoire de fin de stage, Architecture et Ingénierie à Haute Qualité Environnementale Formation continue, Ecole d'Architecture de Paris La Villette. 2006.
Travaux d'étudiants première année "Architecture vernaculaire", Prof. AUBRY, F, Département d'architecture de l'EPFL, 1965 - 1992.