

Accueil



Réalisé par:
giz
Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH



PRÉSENTATION DU FORMATEUR ET DES PARTICIPANTS - VOS ATTENTES ?

OBJECTIFS ET LIMITES DU MODULE 1

- Concevoir un bâtiment performant à un coût maîtrisé
- Connaître et respecter la RTCM
- Ce que la formation n'abordera pas

ORGANISATION

- Horaires, supports, état d'esprit

PARTENAIRES

- ADEREE
- ADEME
- FFEM

Organisateur :

Cluster EMC



FORMATION EFFECTUÉE PAR

Formateur :

ahachad_med@yahoo.fr



Avant de commencer

3

UNE GRANDE PARTIE DE SE COURS EST PRISE INTÉGRALEMENT DU DISPOSITIF DE FORMATION A L'EFFICACITÉ ÉNERGÉTIQUES DANS LE BÂTIMENT ÉLABORÉ DANS LE CADRE D'UNE COLLABORATION ADEREE – ADEME AVEC LE SOUTIEN DU FFEM



FORMATION EFFECTUEE PAR :



4

Les pictogrammes



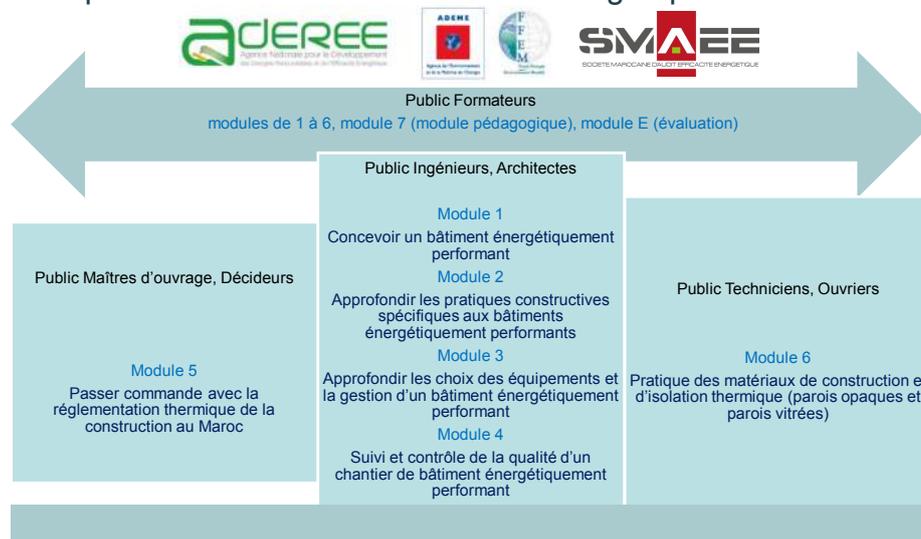
TOUT AU LONG DE CE MODULE, VOUS TROUVEREZ LES PICTOGRAMMES SUIVANTS :

	Exercice / Atelier		Chauffage / stratégie hivernale
	Séquence pratique		Climatisation / stratégie estivale
	Zoom / Approfondissement		Secteur résidentiel
	Avantage / Inconvénient		Secteur tertiaire

SUR CHAQUE DIAPOSITIVE FIGURE ÉGALEMENT LE DÉROULÉ DE LA FORMATION QUI VOUS INDIQUE LA SÉQUENCE DANS LAQUELLE VOUS VOUS TROUVEZ :

5

Dispositif de formation à l'efficacité énergétique



6

Plan du module de formation

- I. CONTEXTE DE L'EFFICACITÉ ÉNERGÉTIQUE
- II. ANALYSE DU SITE
- III. CONCEPTION BIOCLIMATIQUE DU BÂTIMENT
- IV. PRINCIPES DE LA THERMIQUE DU BÂTIMENT
- V. LE RTCM
- VI. IDENTIFICATION DES BESOINS ÉNERGÉTIQUES
- VII. CHAUFFAGE ET CLIMATISATION
- VIII. ETUDE DE CAS: MAÎTRISER ET CONTRÔLER LA MISE EN ŒUVRE DU RTCM ET PRISE EN MAIN DES LOGICIELS BINAYATE PRESCRIPTIVE, BINAYATE 3D ET BINAYATE PERFORMANTIELLE

7

Contexte de l'efficacité énergétique des bâtiments



LES ENJEUX DE L'ÉNERGIE S'INSCRIVENT DANS UN CONTEXTE D'ACCÉLÉRATION POUR NE PAS DIRE D'URGENCE

→ LE CHANGEMENT CLIMATIQUE (VIDÉO)

Remontée du niveau de la mer, désertification, perte de biodiversité

→ L'ÉPUISEMENT DES RÉSERVES EN ÉNERGIES FOSSILES



Le Maroc importe **96,6%** de son énergie

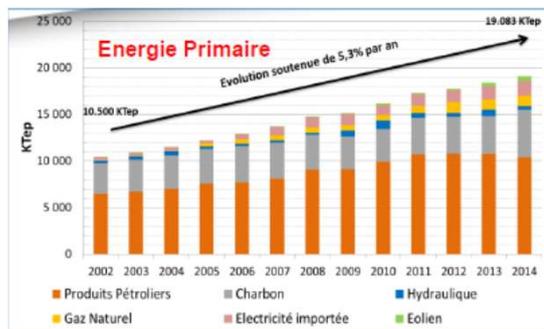
Soit un coût annuel pour le pays de **89,8 Milliards de DH/an**

2011

Source : Traité d'architecture et d'urbanisme bioclimatique – A. Liebard A. De Herde - 2005

8

! Pourquoi le Règlement Thermique des Constructions au Maroc ?



Développement économique du Maroc tiré par des stratégies sectorielles structurées



Besoin croissant en énergie

-Énergie primaire : 5,3%

-Électricité : 7 %

-Produits pétroliers : 5%

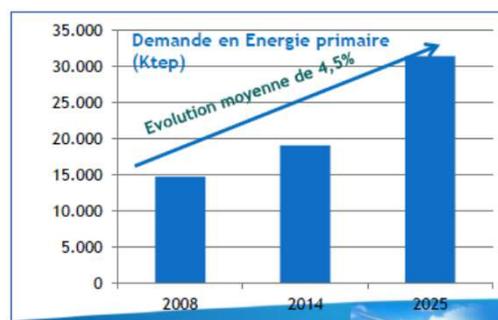


Opportunités d'investissement dans de nouvelles infrastructures relatives aux différentes filières énergétiques.

9

Evolution de la demande en Energie

- **Satisfaction de la demande électrique qui suit un rythme de croissance soutenu** (la demande électrique sera augmentée de 70% entre 2008 et 2025);
- **garantir l'adéquation offre-demande énergétique** (la demande en énergie va doubler entre 2008 et 2025);
- **Interaction rationnelle du Maroc avec les mutations profondes que connaît le secteur énergétique à l'échelle régionale et internationale** (ER&EE, interconnexion).

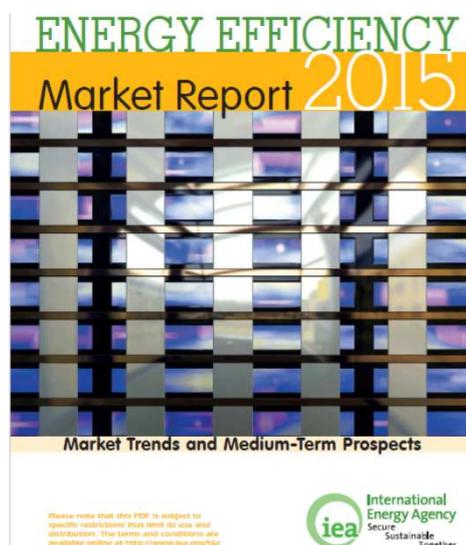


10

Les Défis du secteur de l'Energie au Maroc

- Forte dépendance des énergies fossiles avec importation de 96% des besoins.
- Les coûts d'accès contraignants en raison du poids de la compensation des produits pétroliers assurée par l'Etat (plus de 4 Milliards d'Euros en 2012), du poids de la facture énergétique, près de 9,5 Milliards d'Euros en 2012,

Contexte globale de l'EE



Contexte globale de l'EE

Faits marquants du *Rapport sur le marché de l'Efficacité Energétique* cas des états membres de l'AIE

Croissance de l'efficacité énergétique ➡ **augmentation de la sécurité énergétique:**

2014 : au moins 190 Mtep (7 790 [PJ]) d'importations d'énergie primaire ont été évitées

↳ économie de 80 milliards de dollars sur la facture énergétique.

Les améliorations d'efficacité énergétique ont permis d'éviter un total d'émissions cumulées de 10,2 milliards de tonnes de CO₂ (sur 25 ans) rendant plus envisageable l'objectif de limitation du réchauffement climatique à deux degrés.

La consommation d'électricité s'est stabilisée, en partie grâce à l'amélioration de l'efficacité énergétique: économie de 2 200 térawatts-heure (TWh) en 2014.

13

Contexte globale de l'EE

L'efficacité énergétique : « un approvisionnement virtuel » de plus de 500 Mtep

Au cours des dix dernières années, l'efficacité énergétique a joué un rôle prépondérant dans la baisse de la consommation énergétique au sein des pays de l'AIE:

2014: 520 Mtep (22 EJ) de consommation finale évitée, soit plus que la consommation finale annuelle du Japon et de la Corée réunis

$22.10^{18} \text{J} = 22\ 000\ 000\ 000\ 000\ 000\ 000\ 000\ \text{J}$

= 6 000 000 000 000 kWh

= 6 000 000 GWh

= 6 000 TWh

**30 FOIS LA CONSOMMATION
TOTALE DU MAROC**



14

Contexte globale de l'EE

L'efficacité énergétique favorise la sécurité énergétique

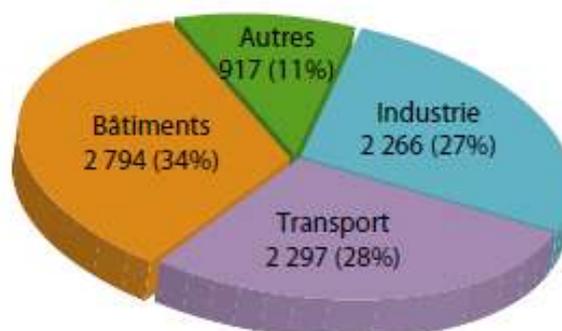
Allemagne est le pays qui a évité les plus grands volumes d'importations (55 Mtep), réduisant ainsi ces dépenses de 30 milliards de dollars en 2014. Les importations évitées grâce à ces investissements ont amélioré la balance commerciale des pays, renforçant l'excédent commercial de l'Allemagne de 12 % en 2014 et allégeant le déficit commercial du Japon de 8 %.

Contexte globale de l'EE

En tant que source « zéro carbone », l'efficacité énergétique réduit les incidences sur le climat

Les améliorations réalisées dans les pays de l'AIE en matière d'efficacité énergétique ont permis d'éviter l'émission de 870 Mt de CO₂ en 2014, et de 10,2 Gt de CO₂ entre 1990 et 2014 ; le total cumulé est presque équivalent à une année d'émissions du secteur énergétique de l'ensemble des pays de l'AIE.

Consommation d'énergie finale du secteur du bâtiment dans le monde e 2007



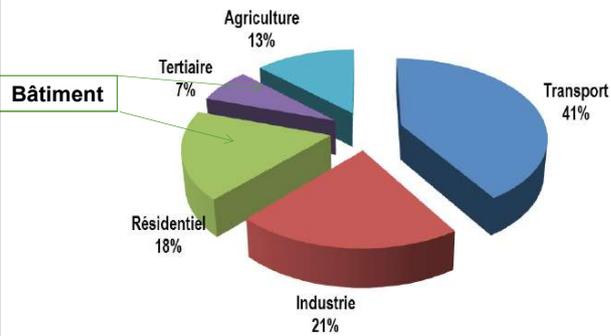
Source : AIE, 2008.

LE SECTEUR DES BÂTIMENTS: DES ENJEUX ÉNERGÉTIQUES MONDIAUX ET RÉGIONAUX IMPORTANTS

17

Répartition de la consommation énergétique

Structure de la consommation par secteur



L'IMPORTANT DU SECTEUR DU BÂTIMENT

qui représente **25 %** de la consommation totale d'énergie du pays

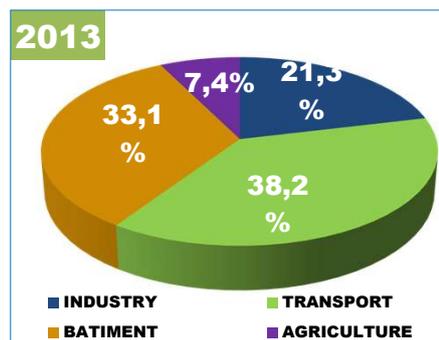
LES ENGAGEMENTS DU MAROC

- convention de rio, protocole de Kyoto
- réduction des émissions de co2

Source : Les éléments techniques du projet de la réglementation thermique du bâtiment au Maroc - 2011

18

Répartition de la consommation énergétique



L'IMPORTANT DU SECTEUR DU BÂTIMENT

qui représente **33 %** de la consommation totale d'énergie du pays

LES ENGAGEMENTS DU MAROC

- convention de Rio
- protocole de Kyoto
- COP21
- COP22

CONSUMATION FINALE TOTALE: 14.556 KTEP

Bâtiment: 4800 KTEP

Source : Les éléments techniques du projet de la réglementation thermique du bâtiment au Maroc - 2011

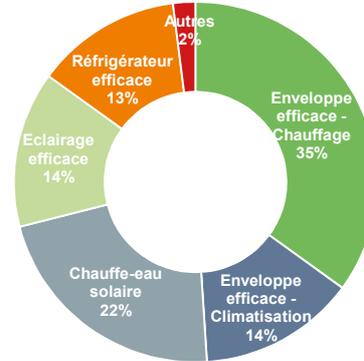
Les gisements d'économie d'énergie

OÙ SONT LES GISEMENTS D'ÉCONOMIE D'ÉNERGIE DANS LE BÂTIMENT?

- Améliorer l'enveloppe afin de réduire les consommations de chauffage
- Améliorer l'enveloppe afin de réduire les consommations de climatisation
- Recourir aux énergies renouvelables, notamment le solaire thermique

Potentiel total : -40% sur le bâtiment

Potentiel d'efficacité énergétique du bâtiment dans la région de la Méditerranée du sud sur la période 2010-2030



Source : Etude régionale sur l'efficacité énergétique dans le bâtiment, Plan Bleu - A. Mourtaou - 2010

Des démarches à l'échelle nationale



Politique énergétique du Gouvernement Marocain: atteindre environ 12% d'économie d'énergie primaire à l'horizon 2020 et de 15% à l'horizon 2030



Mise en place d'un plan d'efficacité énergétique dans différents secteurs économiques

Des démarches à l'échelle nationale

LOI CADRE SUR LES ENERGIES RENOUVELABLES (N° 13-09)

- Toute personne physique ou morale sera autorisée à produire de l'énergie à partir des énergies renouvelables
- Installation libre jusqu'à 20 kW el et 8 MW th: déclaration et autorisation
- Droit de l'accès au réseau THT, HT, MT
- Option de l'exportation
- Commercialisation de l'électricité à travers l'ONE vers un consommateur ou un groupement des consommateurs

LOI CADRE SUR L'EFFICACITE ENERGETIQUE (N° 47-09)

- Performance énergétique: Code Energétique Bâtiment, Etiquetage Electro ménager, Transport, Collectivités Locales
- Etude d'impact énergétique: grands projets d'aménagement
- Audit énergétique obligatoire: à partir d'un seuil de consommation
- Contrôle technique, constatation des infractions et des sanctions

OBJECTIFS NATIONAUX:

- ➔ Réduction des consommations nationales de 12% d'ici à 2020.
- ➔ Production d'énergie renouvelable : 42% de la puissance installée

Qu'est ce qu'un bâtiment performant ?

ISOLATION



% DE SURFACES
VITRÉES selon les
ORIENTATIONS

FENÊTRES PERFORMANTES

ETANCHÉITÉ À L'AIR

INERTIE

MAINTENABILITÉ

COÛT MAÎTRISÉ

QUALITÉ SANITAIRE
ET CONFORT

VENTILATION

SYSTÈMES PERFORMANTS

LUMINOSITÉ

ENERGIES RENOUVELABLES

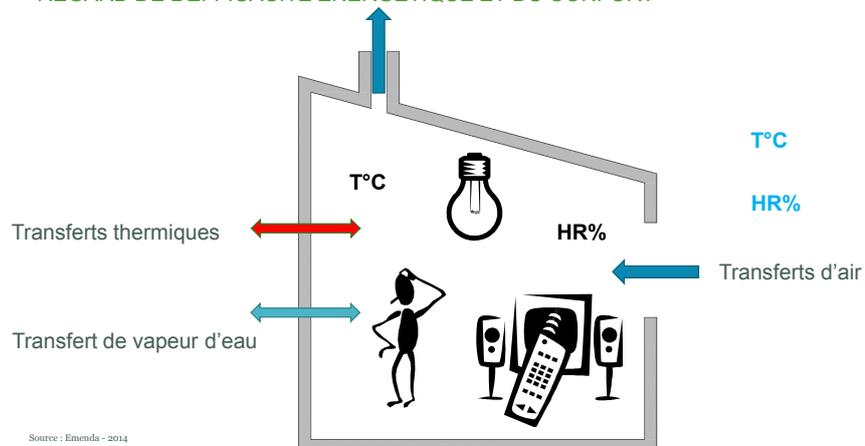
DURABILITE DANS LE TEMPS



ANALYSE DE SITE

L'enveloppe d'un bâtiment

DÉFINISSEZ L'ENVELOPPE DU BÂTIMENT ET POURQUOI ELLE EST IMPORTANTE AU REGARD DE L'EFFICACITÉ ÉNERGÉTIQUE ET DU CONFORT



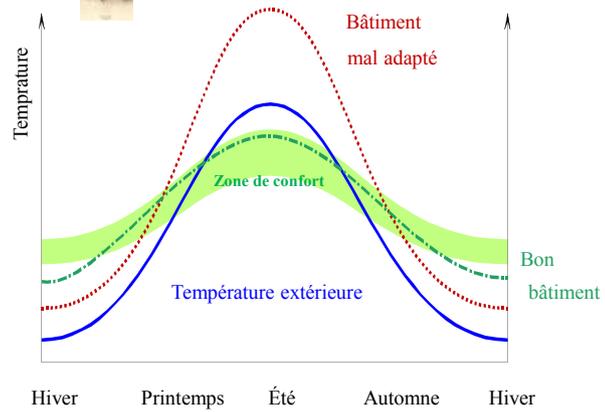
25

Une enveloppe pour le confort

Houses are built to live in and not to look on



Francis Bacon, Essays, (1601)



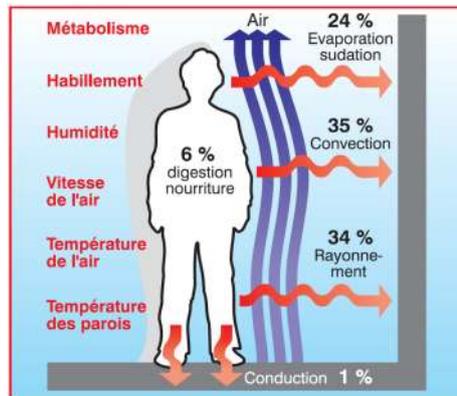
26



Le bâtiment devrait être
au moins
aussi confortable que l'extérieur

27

Une enveloppe pour le confort



LE CONFORT HYGROTHERMIQUE DÉPEND DE NOMBREUX PARAMÈTRES.

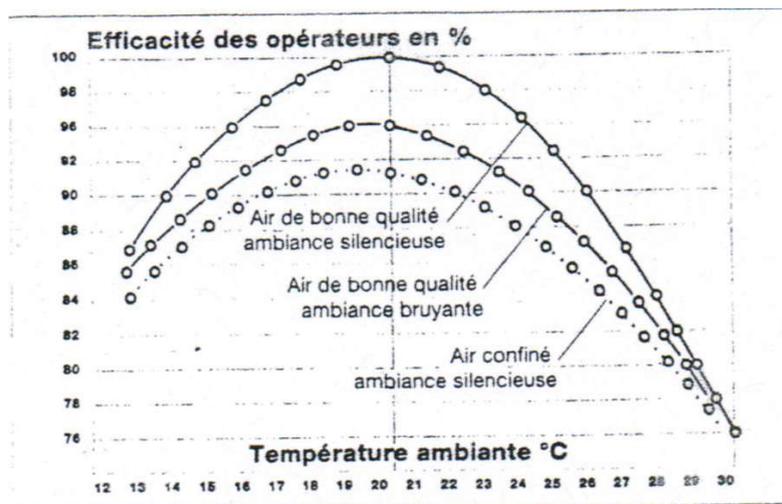
Le corps humain échange en permanence de l'énergie avec son milieu ambiant via divers modes.

Mais il n'y a pas que le confort hygrothermique :

- Acoustique
- Visuel
- Olfactif
- Qualité sanitaire

Source : Traité d'architecture et d'urbanisme bioclimatique - A. Liebard A. De Herde - 2005

28



LE CONFORT THERMIQUE

DÉFINITIONS

- ❖ ABSENCE D'INCONFORTS (FANGER)

- ❖ SENSATION DE BIEN ÊTRE PHYSIQUE ET MENTAL
(EUROPEAN PASSIVE SOLAR HANDBOOK)

- ❖ CONDITIONS POUR LESQUELLES LES MÉCANISMES
D'AUTORÉGULATION DU CORPS SONT À UN NIVEAU MINIMUM
D'ACTIVITÉ (GIVONI)

Norme EN ISO 7730

il y a situation de confort si deux conditions sont satisfaites :

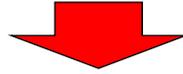
- ① Le bilan thermique de l'individu est équilibré sans que ne soit trop sollicités ses mécanismes autorégulateurs

- ② Il n'existe pas d'inconforts locaux dus :
 - à la sensation de courant d'air
 - à l'asymétrie du rayonnement
 - au gradient vertical de température
 - à la température du sol

31

Norme EN ISO 7730

Pour des températures DB normales (entre 20 et 25)

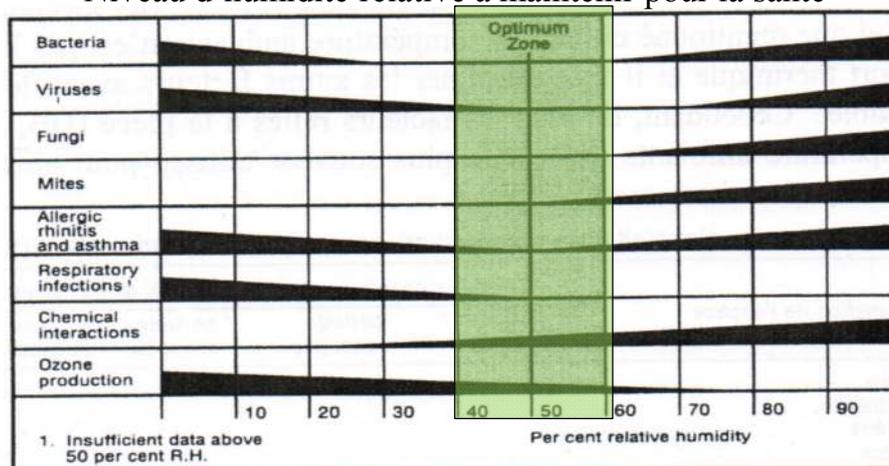


Sensation de confort pour HR = 40 – 60%

Au-delà du confort thermique, le contenu en vapeur d'eau a une incidence direct sur la prolifération de bactéries, mites, etc.

32

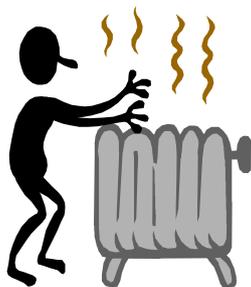
Niveau d'humidité relative à maintenir pour la santé



F.M. Sterling. Criteria for Human Exposure to Humidity in Occupied Building, 1985 ASHRAE

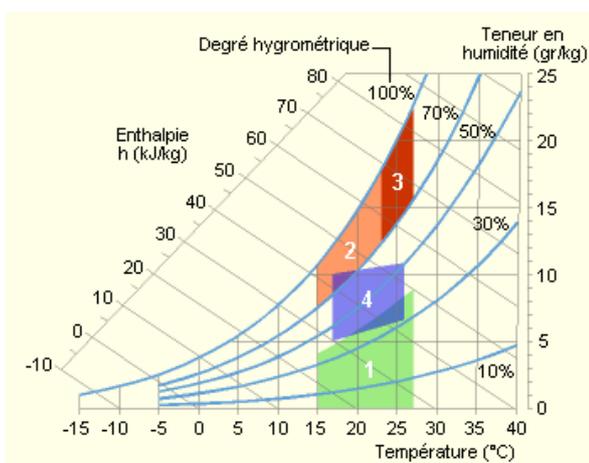
VITESSE DE L'AIR

On s'entend généralement pour dire que des vitesses inférieures à 0.25m/s sur l'ensemble du corps n'affecte pas le confort thermique dans des situations normales.



Confort lié à une répartition de température et de flux de chaleur agréables.

Une enveloppe pour le confort



Source : www.energiplus-lesite.be

1. Zone à éviter vis-à-vis des problèmes de sécheresse.
2. et 3 : Zones à éviter vis-à-vis des développements de bactéries et de microchampignons.
3. Zone à éviter vis-à-vis des développements d'acariens.
4. Polygone de confort hygrothermique.

35

Le confort au regard des différents usages

RÉSIDENTIEL

- Maison individuelle
- Logements collectifs
- Villa ...



TERTIAIRE

- Bureaux
- Bâtiments administratifs
- Établissement de santé
- Établissement d'enseignement



36

Besoins des occupants du secteur résidentiel



EN MATIÈRE DE CONSOMMATIONS :

- Des besoins de climatisation et chauffage
- Des besoins d'eau chaude sanitaire importants

EN MATIÈRE DE CONFORT :

- Une problématique de confort d'hiver et d'été
- Peu de dissipations internes de chaleur

37

Besoins des occupants des bâtiments de bureaux



EN MATIÈRE DE CONSOMMATIONS :

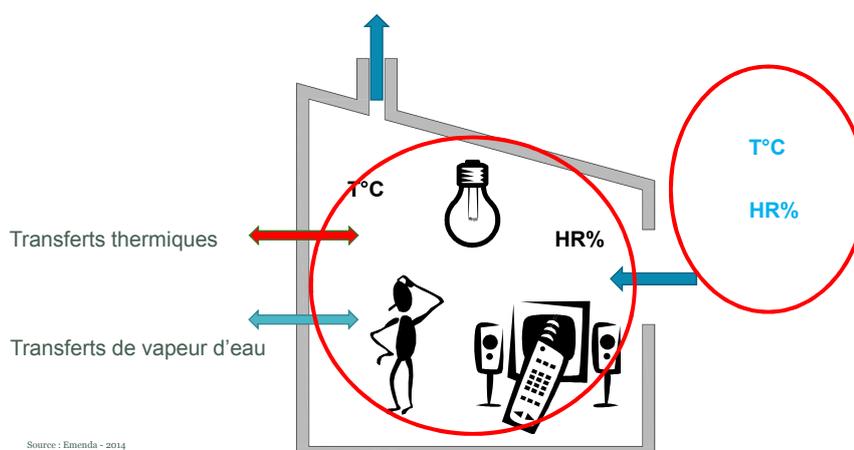
- Des besoins de climatisation prépondérants
- Des consommations d'éclairage importantes
- Des besoins de chauffage et d'eau chaude sanitaire moindres

EN MATIÈRE DE CONFORT :

- Beaucoup de dissipations internes de chaleur
- Des surfaces vitrées importantes

38

L'environnement extérieur



Source : Emenda - 2014

39

Les spécificités du climat marocain

LE MAROC EST UN PAYS DE LA ZONE SUBTROPICALE DU NORD-OUEST AFRICAIN, LE CLIMAT EST TRÈS DIFFÉRENT SELON LES RÉGIONS.

- Les zones littorales bénéficient d'un climat tempéré (méditerranéen)
- Les zones sud et est du pays bénéficient d'un climat désertique
- De manière générale, le climat marocain comporte beaucoup de nuances : méditerranéen au nord, océanique à l'ouest, continental à l'intérieur des terres et saharien au sud. Le climat varie aussi en fonction des saisons

40

Les spécificités du climat marocain



Source : <http://www.marocmeteo.ma/>

41

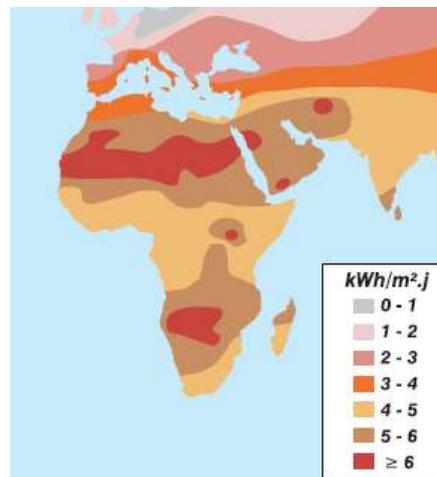
Les spécificités du climat marocain

LE RAYONNEMENT SOLAIRE

Le rayonnement solaire varie entre 3 et 6 kWh/m².J.

C'est un atout pour la réduction des consommations (chauffage, eau chaude sanitaire solaire, photovoltaïque).

Cela signifie aussi qu'il est impératif de protéger les bâtiments des surchauffes.



Source : *Traité d'architecture et d'urbanisme bioclimatique* - A. Liebard A. De Herde - 2005

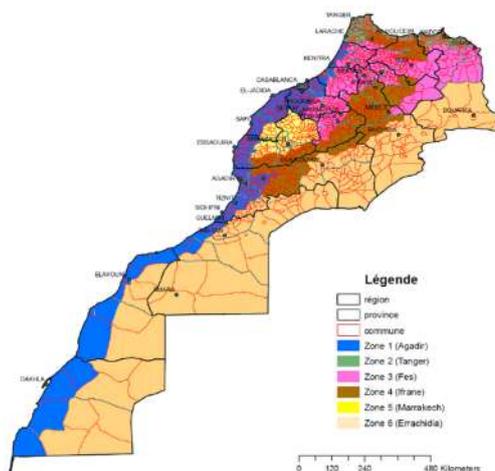
42

Le zonage climatique



Le Maroc est divisé en 6 zones climatiques

A chacune de ses zones sont associées des exigences sur l'isolation des parois ou sur la consommation globale



Source : Les éléments techniques du projet de la réglementation thermique du bâtiment au Maroc - 2011

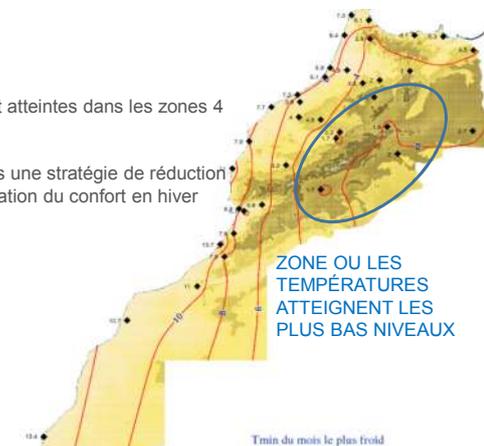
43

Le zonage climatique



Les températures les plus basses sont atteintes dans les zones 4 (Ifrane) et 6 (Errachida).

Ces zones sont donc à envisager dans une stratégie de réduction des besoins de chauffage et d'amélioration du confort en hiver



Source : Les éléments techniques du projet de la réglementation thermique du bâtiment au Maroc - 2011

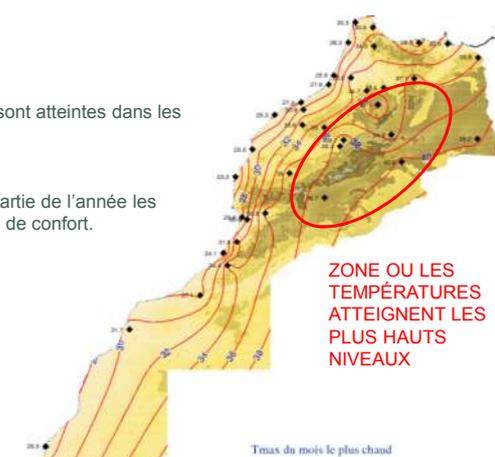
44

Le zonage climatique



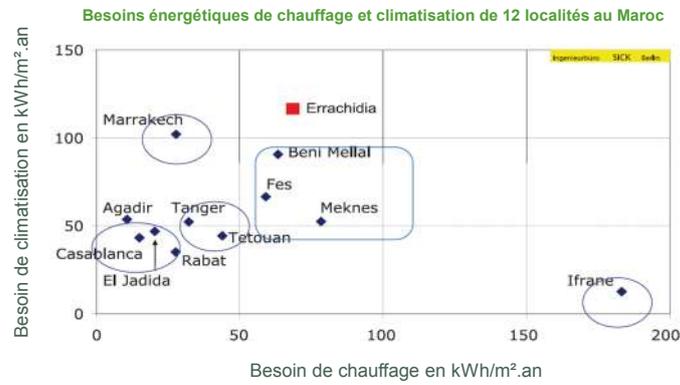
Les températures les plus extrêmes sont atteintes dans les zones 4 (Ifrane) et 6 (Errachida).

Dans les autres zones, une grande partie de l'année les températures se situent dans la zone de confort.



Source : Les éléments techniques du projet de la réglementation thermique du bâtiment au Maroc - 2011

Les spécificités du climat marocain



Source : Les éléments techniques du projet de la réglementation thermique du bâtiment au Maroc - 2011

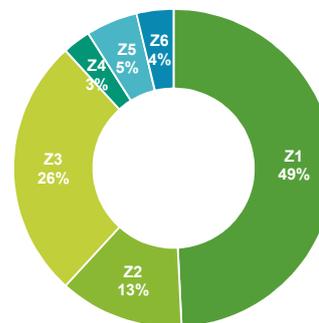
Parc bâti et zones climatiques



Répartition du parc de logements selon les zones climatiques

Les zones climatiques ne sont pas égales du point de vue des températures qu'elles affrontent.

Mais elles sont également inégales du point de vue du parc de logements qu'elles concentrent sur leur territoire.



Source : Etude sur l'état des lieux, typologie & évolution du parc bâti au Maroc dans l'optique de la mise en application du code d'efficacité énergétique – Rapport de synthèse générale – BET AREA – 21/11/2012

47

Exercice : prendre en compte l'environnement immédiat

Un bâtiment n'est pas seul dans son environnement. Un certain nombre de paramètres influencent sa conception.

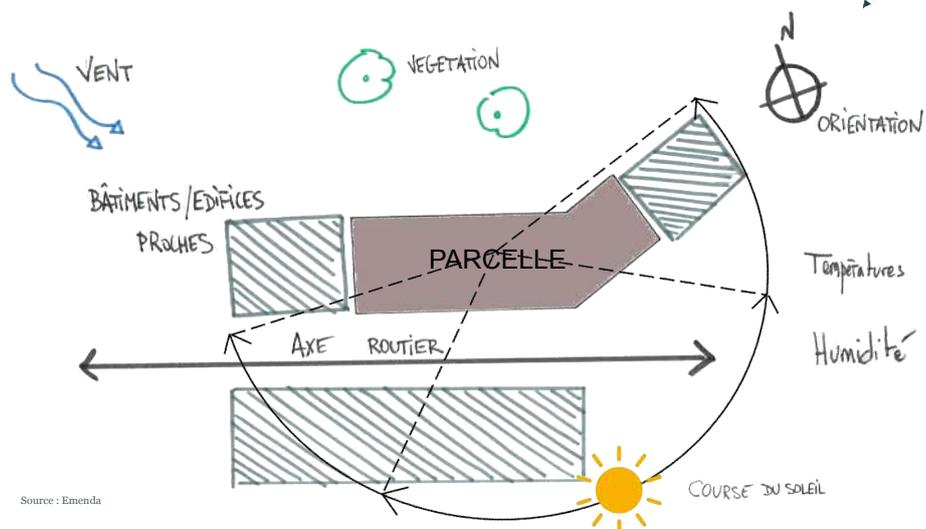
Sur l'énoncé, figure l'implantation d'un projet de bâtiment. L'une des premières étapes de sa conception consiste alors à établir ce que l'on nomme une « carte de site ».

L'exercice consiste à recenser l'ensemble des facteurs de l'environnement impactant le bâtiment et à les représenter schématiquement sur la feuille distribuée.

[LIEN VERS L'ÉNONCÉ DE L'EXERCICE](#)

48

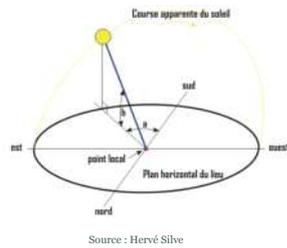
Exercice : prendre en compte l'environnement immédiat



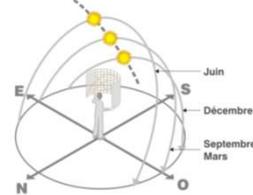
Source : Emenda

49

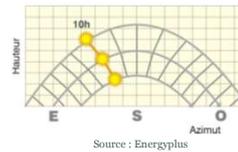
La course du soleil



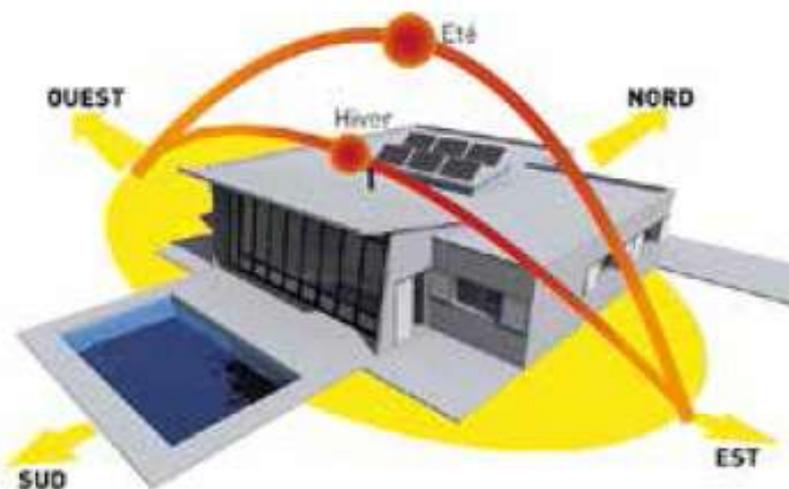
La position du soleil est repérée par sa hauteur h et son azimut a .



Le diagramme solaire cylindrique correspond à l'observation de la trajectoire apparente du soleil sur un cylindre vertical quadrillé, repéré par sa hauteur et son azimut.

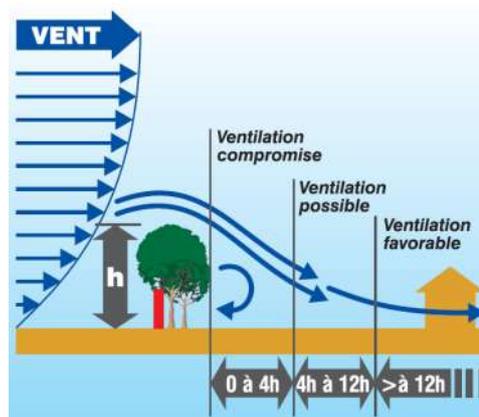


50



Prise en compte du vent

La végétation et les obstacles modifient le comportement du vent.

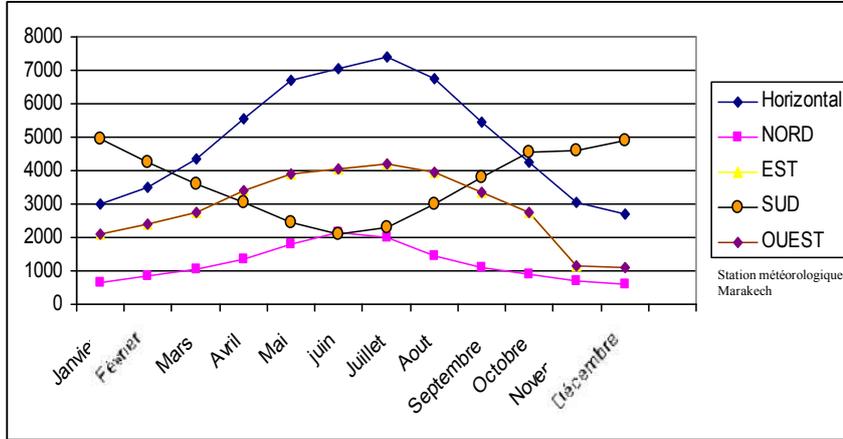


Source : Traité d'architecture et d'urbanisme bioclimatique – A. Liebard A. De Herde - 2005

Plan de la formation

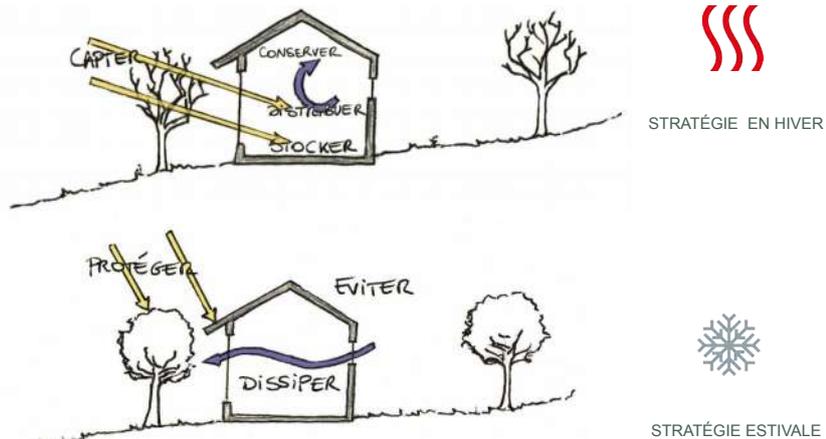
- I. ANALYSE DU SITE
- II. CONCEPTION BIOCLIMATIQUE DU BÂTIMENT
- III. PRINCIPES DE LA THERMIQUE DU BÂTIMENT
- IV. LA RTCM
- V. IDENTIFICATION DES BESOINS ÉNERGÉTIQUES
- VI. CHAUFFAGE ET CLIMATISATION
- VII. ETUDE DE CAS: MAÎTRISER ET CONTRÔLER LA MISE EN ŒUVRE DU RTCM ET PRISE EN MAIN DES LOGICIELS BINAYATE PRESCRIPTIVE, BINAYATE 3D ET BINAYATE PERFORMANTIELLE

énergie reçue par orientation



Façade sud : reçoit le plus d'énergie en hiver et le moins en été

Les stratégies de conception



Source : La conception bioclimatique - J.P Oliva S.Courgey - Terre Vivante - 2006

55

Orientation et proportion des surfaces vitrées



Les apports solaires varient selon les orientations et les saisons.

Les énergies figurant sur les schémas correspondent à l'énergie reçue en moyenne par jour et par m² en période estivale ou en hiver au Maroc.

56

La municipalité de New York a mis en place une structure visant à repeindre, à terme, tous les toits de « Big Apple » en blanc. Objectif : diminuer les températures estivales et réduire les consommations de climatisation.

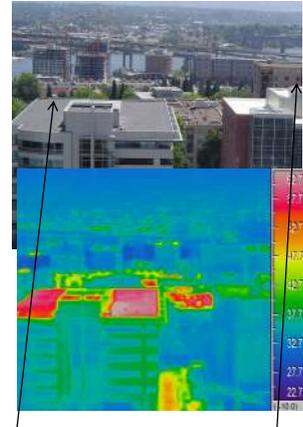
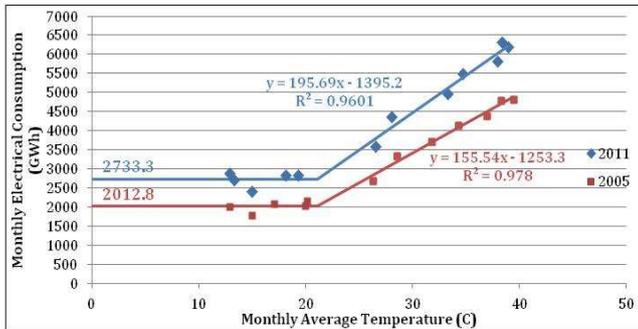


« [New York Cool Roof](#) »

de nombreux “blocks” sont devenus blancs

57

Energy Use Increases (Case Study: Kuwait)



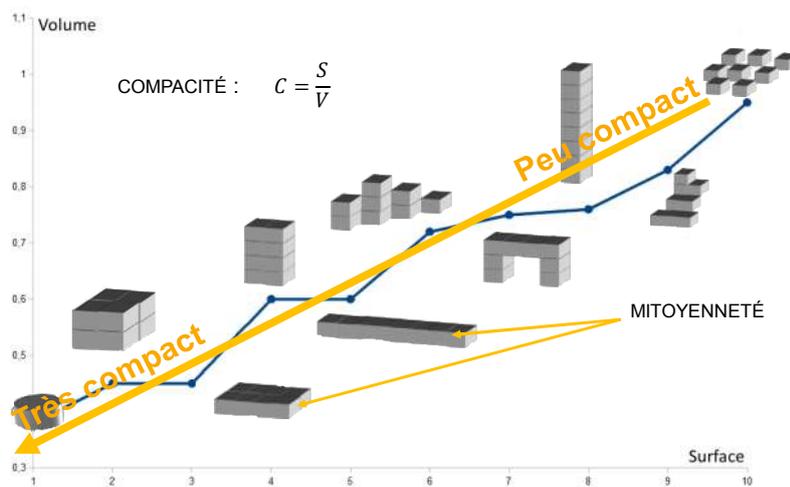
T = 65° C)

T = 43° C)

Source: www.med-enec.eu

58

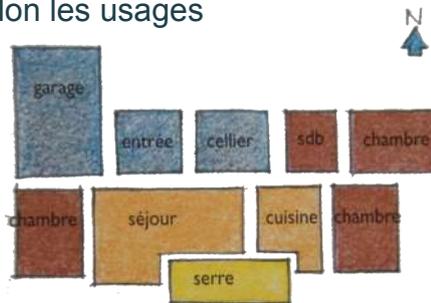
Compacité et mitoyenneté



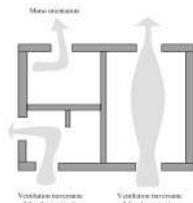
Disposition des espaces selon les usages

SELON L'ORIENTATION

- Locaux de services et à occupation passagère au nord
- Locaux n'ayant pas besoin d'être refroidis à l'ouest
- Pièces de vie au sud et à l'est



Source : La conception bioclimatique – J.P.Oliva S.Courgey –Terre Vivante - 2006

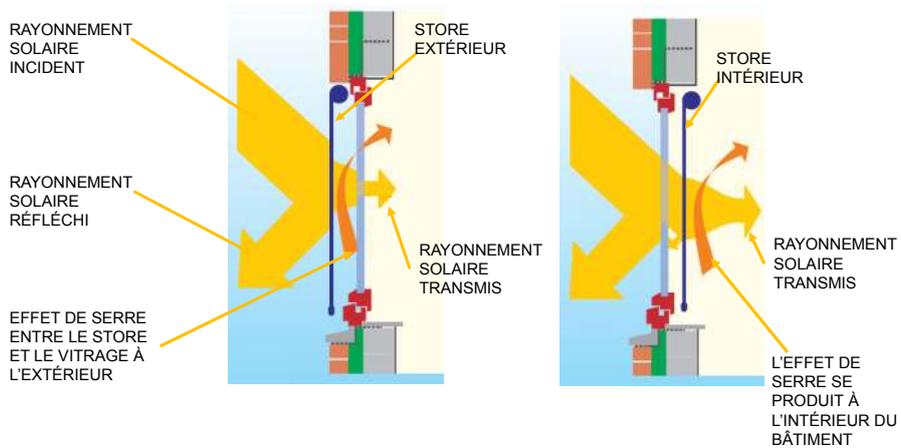


Source : guide pratique de conception de logements économes en énergies- ANME Tunisie

POUR FAVORISER LA VENTILATION NATURELLE

- Façades à expositions multiples
- Grande surface d'ouvrants
- Pas d'obstacle à l'intérieur des espaces

Protections solaires intérieures et extérieures



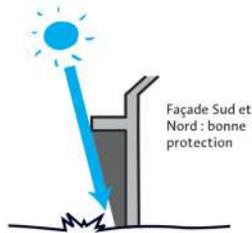
Source : Traité d'architecture et d'urbanisme bioclimatique – A. Liebard A. De Herde - 2005

61

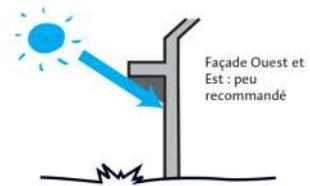
Protections solaires verticales et horizontales



VERTICALES



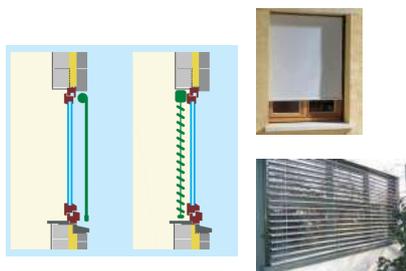
HORIZONTALES



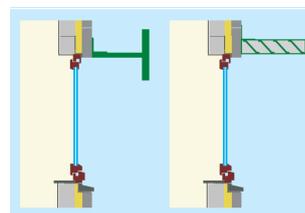
Source : guide pour la performance énergétique en milieu amazonien - ADEME - 2010

62

Protections solaires mobiles et fixes



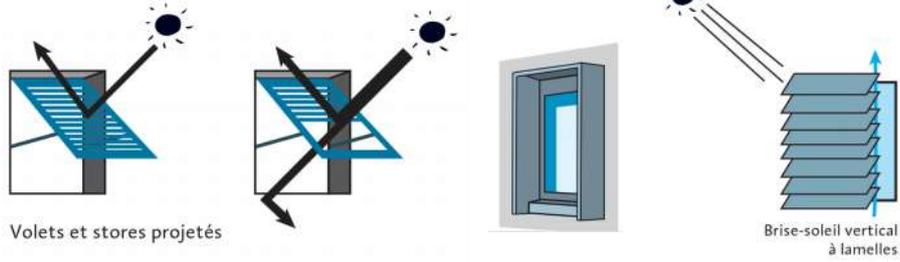
MOBILE



FIXE

Source : Traité d'architecture et d'urbanisme bioclimatique – A. Liebard A. De Herde - 2005

Protection solaires mixtes selon les configurations



Source : guide pour la performance énergétique en milieu amazonien - ADEME - 2010



Le moucharabieh marocain

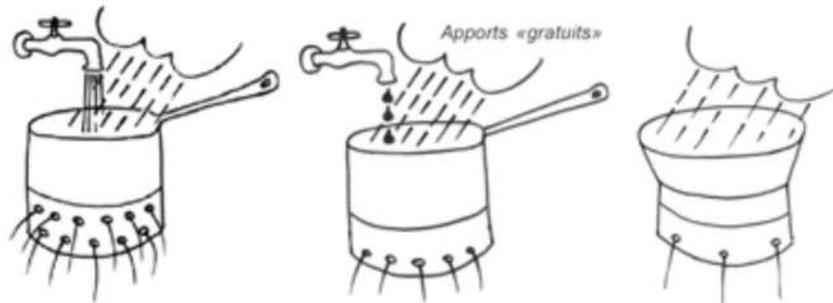
Sources : TYPOLOGIE DE LOGEMENTS MAROCAINS - Shama Atif - 2011 ; Programme d'appui au plan d'Action Maroc - UE - ADEREE

L'isolation

Conventionnel

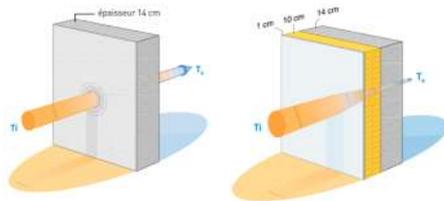
Basse consommation

Passif



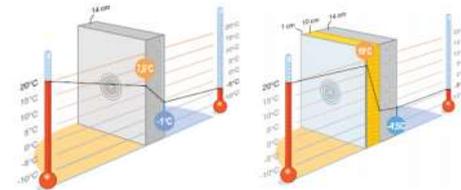
L'isolation

Les déperditions d'énergie au travers des parois



Source : La thermique du bâtiment - Isover

La température des parois



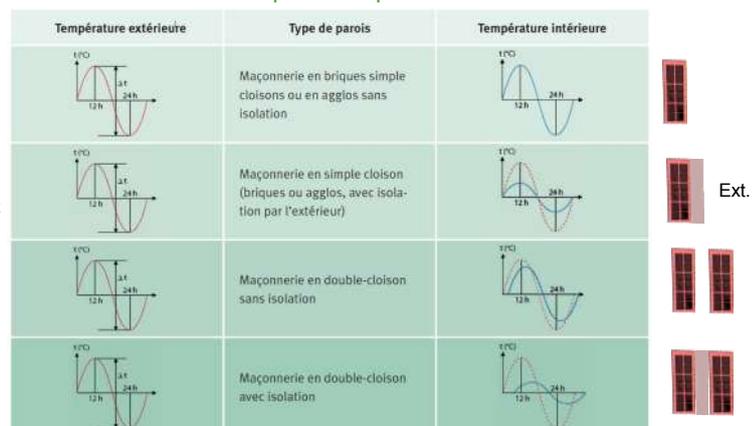
L'inertie thermique d'une paroi

Inertie thermique de divers parois

C'est le déphasage et l'amortissement de température

Elle dépend :

- De l'inertie des matériaux qui la compose
- De l'épaisseur de ces matériaux
- Et de l'ordre dans lequel ces matériaux sont positionnés dans la paroi



Source : Guide maghrébin des matériaux d'isolation thermique des bâtiments - REME - 2010

L'inertie thermique d'une paroi

Les déphasage et l'amortissement constituent « l'inertie thermique ».

L'inertie est caractérisée par 2 propriétés physiques des matériaux :

- La diffusivité thermique (a) qui correspond à la vitesse d'avancement d'une onde de chaleur dans le matériau

$$a = \frac{\lambda}{\rho \cdot c}$$

- L'effusivité thermique (b) qui correspond à la capacité d'un matériau à absorber ou à restituer une puissance thermique

$$b = \sqrt{\lambda \cdot \rho \cdot c}$$

Pour réduire l'amplitude de température les parois du bâtiment doivent avoir une faible diffusivité et une forte effusivité.

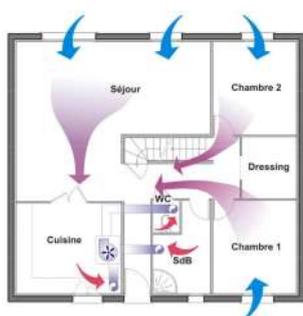
λ : conductivité thermique du matériau (W/m.K)

ρ : masse volumique du matériau (kg/m³)

c : chaleur massique du matériau (Wh/K.kg)

68

Etanchéité à l'air VS ventilation

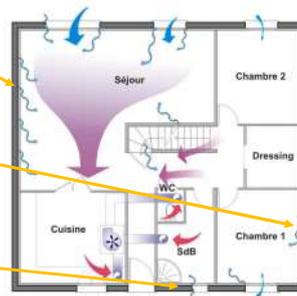


Ventilation = Renouvellement d'air organisé et volontaire pour le confort et la qualité sanitaire.

Pose non jointive de la maçonnerie

Prise électrique, interrupteur... dans les murs

Menuiserie mal posée ou sans joint



Infiltrations = Renouvellement d'air non maîtrisé, non organisé, mal connu et involontaire qui crée des **inconforts et des surconsommations**.

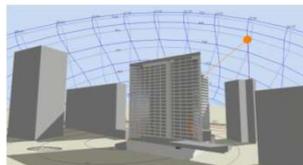
Source : Perméabilité à l'air de l'enveloppe des bâtiments - CETE Lyon - 2006

La simulation thermique dynamique (STD)

LA STD C'EST LA SIMULATION DES FLUX THERMIQUES AU SEIN D'UN BÂTIMENT.

QUE PREND-T-ELLE EN COMPTE ?

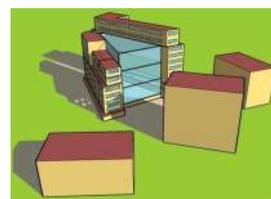
Les caractéristiques de l'enveloppe du bâtiment, le climat, le site, les occupants ... Tout ce qui influence le comportement thermique du bâtiment.



Source : DesignBuilder

QUE PERMET-ELLE D'ÉVALUER ?

Le confort et les besoins de chauffage et de climatisation.



Source : TRNSYS

C'est la méthode qui s'approche le plus du comportement réel du futur bâtiment.

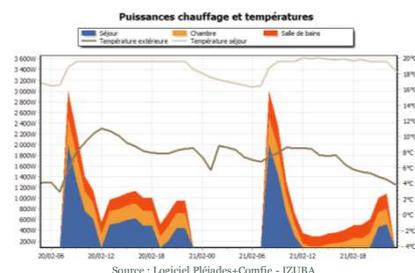
Comment se déroule une STD ?



Modélisation des flux énergétiques au pas horaire

Besoins de chauffage et de climatisation

- 1 - Collecte des données du bâtiment et de son environnement
- 2 - Modélisation et calcul des flux d'énergie
- 3 - Données précises sur le confort et les besoins d'énergie



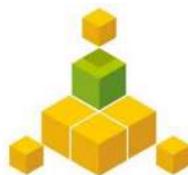
Source : Logiciel Pleiades+Comfie - IZUBA

71

Quels outils de STD ? (liste non exhaustive d'éditeurs logiciels)



Virtual Environment Software



TRNSYS



Design Builder

...



Izuba



Cype



Autodesk

72

Plan de la formation

- I. ANALYSE DU SITE
- II. CONCEPTION BIOCLIMATIQUE DU BÂTIMENT
- III. PRINCIPES DE LA THERMIQUE DU BÂTIMENT
- IV. LA RTCM
- V. IDENTIFICATION DES BESOINS ÉNERGÉTIQUES
- VI. CHAUFFAGE ET CLIMATISATION
- VII. ETUDE DE CAS: MAÎTRISER ET CONTRÔLER LA MISE EN ŒUVRE DU RTCM ET PRISE EN MAIN DES LOGICIELS BINAYATE PRESCRIPTIVE, BINAYATE 3D ET BINAYATE PERFORMANTIELLE

73

Définition de la thermique

DÉFINITION : La thermique du bâtiment est une discipline consistant à étudier les besoins énergétiques des bâtiments. Elle aborde principalement les notions d'isolation thermique et de ventilation afin d'offrir le meilleur confort thermique aux occupants. Elle aborde aussi les problématiques de fourniture d'énergie pour le chauffage la climatisation et de production d'eau chaude sanitaire.

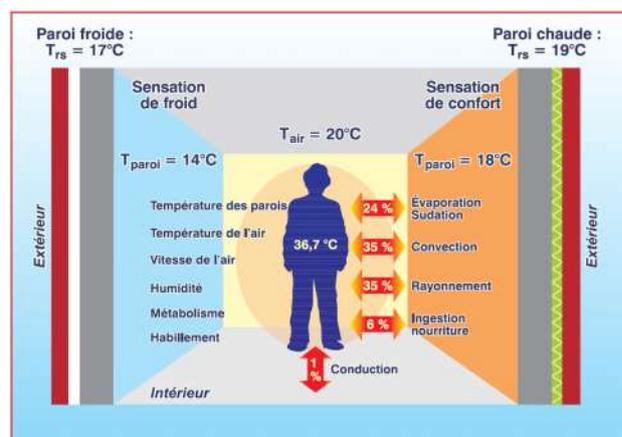
La thermique c'est la prise en compte de l'homme dans le bâtiment

Source : Wikipedia

74

Température ressentie

La température ressentie dans une pièce n'est pas la température indiquée sur le thermomètre



Source : Traité d'architecture et d'urbanisme bioclimatique – A. Liebard A. De Herde - 2005

$$T_{opérative} = \frac{(T_{ambiante} + T_{parois})}{2}$$

NM ISO 13791
NM ISO 13792

75

L'énergie

C'EST LE TEMPS DE MISE EN JEU D'UNE PUISSANCE. UNE ÉNERGIE EST DONC UNE PUISSANCE MULTIPLIÉE PAR UN TEMPS.

$$E [\text{Wh}] = \text{Puissance [W]} \times \text{temps [h]}$$

UNITÉ : WATT-HEURE (Wh)

QUELLE EST LA CONSOMMATION PENDANT UNE HEURE ...

D'UNE TÉLÉVISION? 100 Wh

D'UN RÉFRIGÉRATEUR? 300 Wh

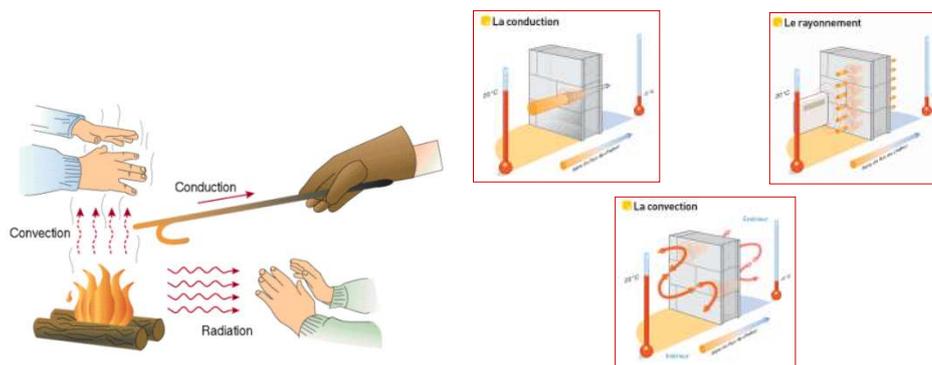
QUELLE EST LA CONSOMMATION EN CHAUFFAGE ET CLIMATISATION ...

D'UN LOGEMENT RTCM A AGADIR 60 kWh/m².an



76

Les 3 modes de transfert de la chaleur



Source : La thermique du bâtiment - Isover

77

Les caractéristiques physiques d'un matériau

LE COMPORTEMENT THERMIQUE D'UN MATÉRIAU DANS UNE PAROI EST CARACTÉRISÉ PAR QUATRE VALEURS FONDAMENTALES :

- La conductivité thermique : λ [W/(m.K)]
- L'épaisseur : e [m]
- La masse volumique : ρ [en kg/m³]
- La chaleur spécifique : c [J/(kg.K)]

A partir de ces 4 données de base on déduit toutes les autres caractéristiques.

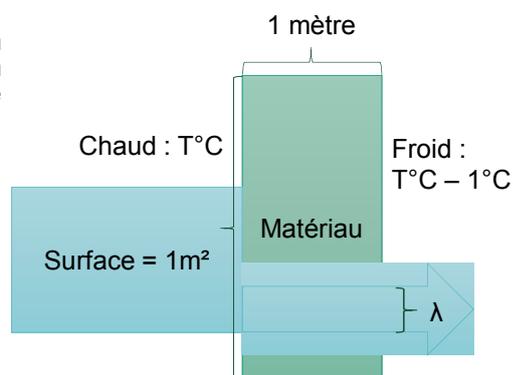
Analyse du site Conception bioclimatique **Principes de la thermique** La RTCM Mise en œuvre globale Bon usage

78

La conductivité thermique

C'est la quantité de chaleur passant en 1s au travers de 1m² d'une couche de matériau homogène de 1m d'épaisseur, soumis à une différence de température de 1°C.

La conductivité dépend du matériau.



Symbole	Unité
λ	W/m.K

Analyse du site Conception bioclimatique **Principes de la thermique** La RTCM Mise en œuvre globale Bon usage

Caractéristiques de divers matériaux

COMMENT IDENTIFIER LES MATÉRIAUX ISOLANTS ?

Désignation	λ (W/m.K)	ρ (kg/m ³)
Béton armé standard	1,75 à 2,5	2000 à 2400
Pisé	1,0 à 1,2	1770 à 2000
Parpaing	0,8 à 1,0	850 à 950
Brique creuse	0,42 à 1,15	650 à 800
Béton de chanvre	0,07 à 0,13	300 à 500
Perlite expansée	0,045 à 0,05	90 à 170
Laine de roche	0,034 à 0,05	20 à 150
Laine de verre	0,034 à 0,05	15 à 60
Liège	0,032 à 0,050	80 à 140
Polystyrène expansé (PSE)	0,032 à 0,05	15 à 25
Polystyrène extrudé (XPS)	0,028 à 0,036	30 à 50
Mousse projetée	0,025 à 0,038	8
Polyuréthane	0,022 à 0,03	28 à 50

Analyse du site Conception bioclimatique **Principes de la thermique** La RTCM Mise en œuvre globale Bon usage

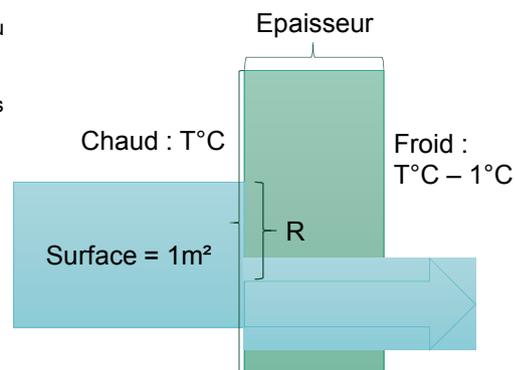
La résistance thermique

C'est la capacité d'une paroi à résister au transfert de chaleur qui la traverse.

La résistance dépend de l'épaisseur et des matériaux qui composent la paroi.

$$R = \frac{e}{\lambda}$$

Symbole	Unité
R	m ² .K/W

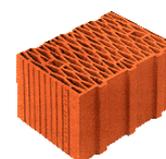


Analyse du site Conception bioclimatique **Principes de la thermique** La RTCM Mise en œuvre globale Bon usage

81

La résistance thermique de matériaux de construction

Matériau	R (m ² .K/W)
Parpaing 20 cm	0,19
Brique creuse 7 cm	0,17
Brique monomur 25 cm	1,0



EN NM 9869
NM ISO 10456

Analyse du site Conception bioclimatique **Principes de la thermique** La RTCM Mise en œuvre globale Bon usage

82

Présentation de quelques isolants :

ISOLANT THERMIQUE	CONDUCTIVITÉ THERMIQUE	RÉSISTANCE A LA VAPEUR D'EAU	RÉSISTANCE A LA COMPRESSION	DENSITÉ	COMPORTEMENT AU FEU	PRIX	COÛT DE MISE EN ŒUVRE
	W/m.K	μ	kPa	kg/m ³	classe	DH/m ²	DH/m ²
Laine de roche	0,034-0,050	0,8-2,2	50-100	20-150	A	80-90	20-25
Laine de verre	0,034-0,050	1-4	20-50	15-60	A	60-90	20-25
Polyuréthane	0,022-0,030	20-80	80-200	30-50	B	60-100	20-40
Polystyrène extrudé	0,028-0,036	60-200	150-700	30-50	E	50-80	10-20
Polystyrène expansé	0,032-0,050	20-80	20-80	15-25	E	30-70	10-20
Liège	0,032-0,050	10-15	10-20	80-140	E	60-90	20-25
Perlite expansée	0,045-0,050	5-10	20-40	80-170	A	60-90	20-25
Fibre de chanvre	0,039-0,045	1-2	10-20	20-60	E	75-100	20-25
Laine de mouton	0,039-0,045	1-2	10-20	35-85	E	80-100	20-25
Quate de cellulose	0,039-0,055	1-2	5-25	30-50	B	40-80	30-50

Source : Guide technique de l'isolation thermique - Aderec - 2014

Analyse du site Conception bioclimatique **Principes de la thermique** La RTCM Mise en œuvre globale Bon usage

Présentation de quelques isolants :

Zone climatique	épaisseur XPS, mm	épaisseur EPS, mm	épaisseur PUR, mm	épaisseur MW, mm
Z1	NE	NE	NE	NE
Z2	NE	NE	NE	NE
Z3	20	20	20	20
Z4	30	30	30	40
Z5	20	30	20	30
Z6	20	30	20	30

Tableau 11.- Epaisseurs minimales en isolation des sols avec le polystyrène extrudé (XPS), polystyrène expansé (EPS), polyuréthane projeté (PUR) et la laine minérale (MW).

N.B.: Les épaisseurs sont arrondies à celles existantes sur le marché.

Source : Guide technique de l'isolation thermique - Adreec - 2014

Analyse du site Conception bioclimatique **Principes de la thermique** La RTCM Mise en œuvre globale Bon usage

Reprenons sur les aspects thermiques

Analyse du site Conception bioclimatique **Principes de la thermique** La RTCM Mise en œuvre globale Bon usage

85

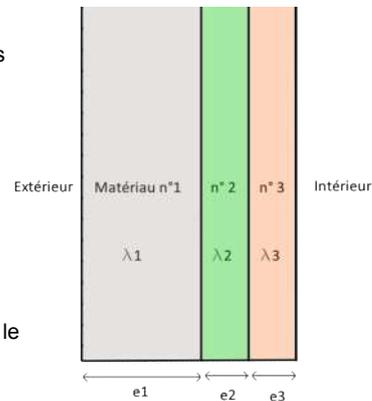
Calcul d'une résistance thermique d'une paroi

La résistance thermique d'une paroi est la somme des résistances des éléments qui la composent :

$$R_{paroi} = \frac{e_1}{\lambda_1} + \frac{e_2}{\lambda_2} + \frac{e_3}{\lambda_3} + R_{se} + R_{si}$$

L'ordre des composants n'a pas d'influence.

Si la couche est hétérogène : parpaings, hourdis, etc. le fabricant donne directement la résistance thermique.



Analyse du site Conception bioclimatique **Principes de la thermique** La RTCM Mise en œuvre globale Bon usage

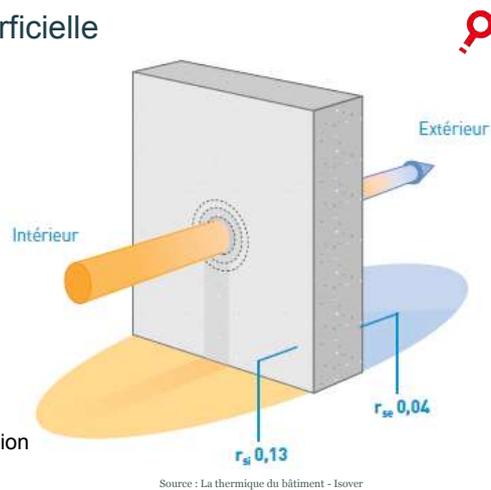
86

Résistance thermique superficielle

Les résistances thermiques superficielles s'ajoutent à la résistance thermique de la paroi.

Elles sont dues à la lame d'air immobile contre la paroi. Elles dépendent donc de :

- La nature de la paroi
- Le sens du flux de la chaleur
- Des échanges thermiques par convection et rayonnement

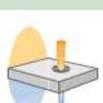


Analyse du site Conception bioclimatique **Principes de la thermique** La RTCM Mise en œuvre globale Bon usage

87

Résistance thermique superficielle



Sens de la paroi	Sens du flux	R_{si}	R_{se}	$R_{si} + R_{se}$
Verticale	 Source : Isover	0,13	0,04	0,17
Horizontale	 Source : Isover	0,10	0,04	0,14
Horizontale	 Source : Isover	0,17	0,04	0,21

Analyse du site

Conception
bioclimatiquePrincipes de la
thermique

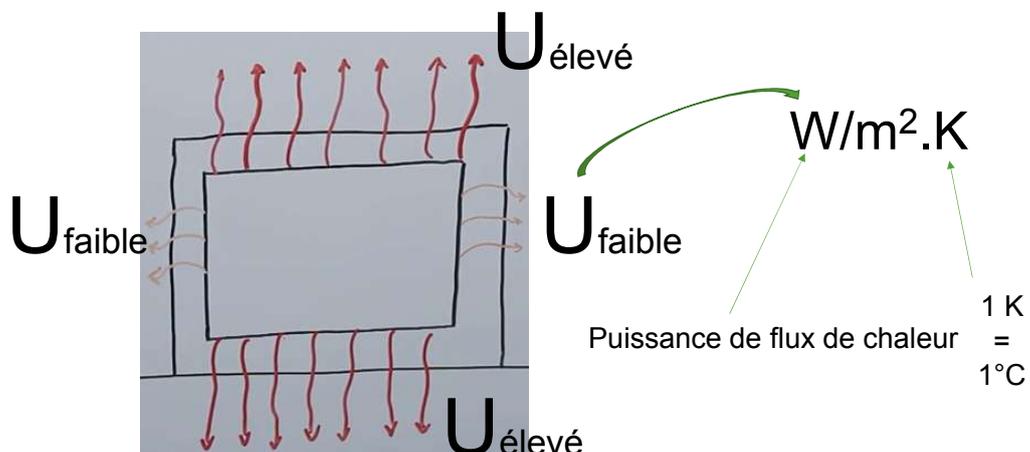
La RTCM

Mise en œuvre
globale

Bon usage

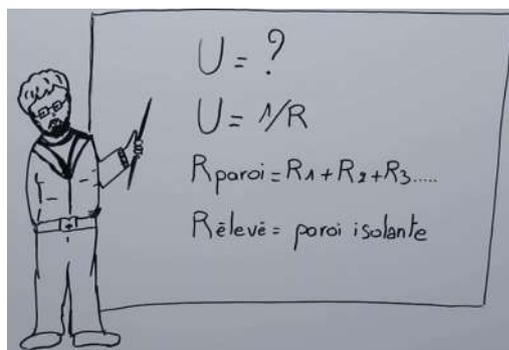
Coefficient de transmission thermique ou conductance

Etudions le fonctionnement des parois. Certaines laissent traverser la chaleur sans difficulté. D'autres sont moins conductrices. C'est le **coefficient de transmission thermique surfacique, symbolisée « U »**, qui renseigne la capacité d'une paroi à laisser passer les calories. Ici, le plafond et le sol sont très déperditifs, leur coefficient de transmission est élevé. Les murs le sont beaucoup moins, leur U est faible.



Pour calculer le U d'une paroi, il faut d'abord calculer son **R**, ou « **résistance thermique** ». Pour ce faire on doit calculer le R de chaque couche constituant la paroi, qui dépend de l'épaisseur et du pouvoir isolant (λ) des matériaux. Un R élevé signifie que la paroi résiste à la fuite des calories : elle est isolante !

Le calcul du U est la base de toute étude thermique.

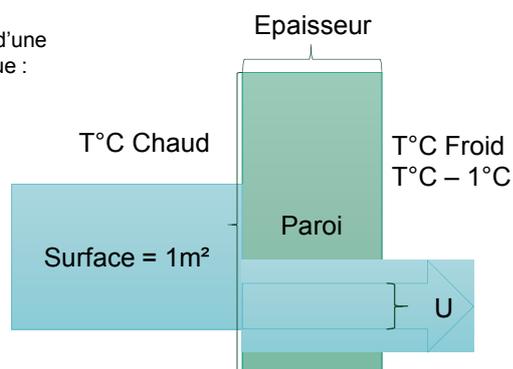


90

Coefficient de transmission thermique U

Le coefficient U caractérise la performance d'une paroi. C'est l'inverse de la résistance thermique :

$$U = \frac{1}{R}$$



Symbole	Unité
U	W/m².K

Analyse du site

Conception
bioclimatique**Principes de la
thermique**

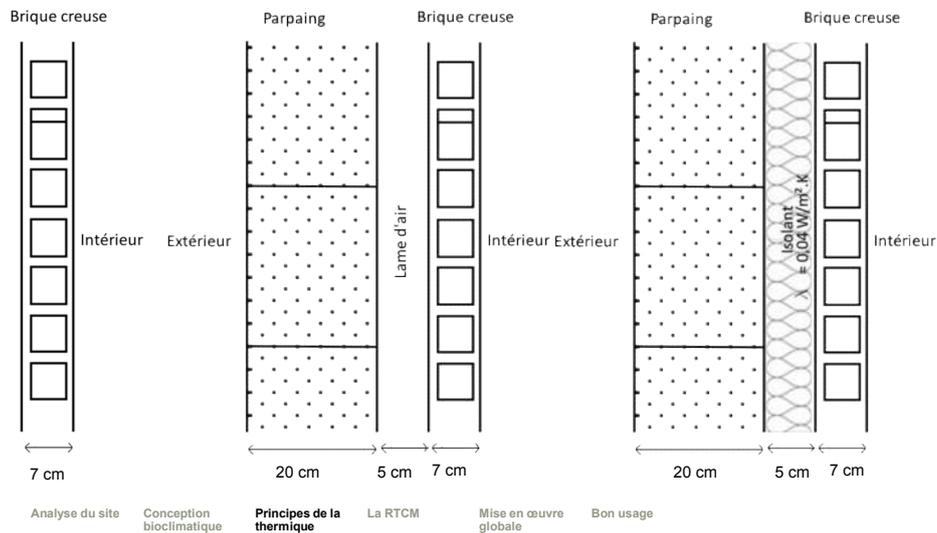
La RTCM

Mise en œuvre
globale

Bon usage

91

Exercice : Calculer les caractéristiques thermiques d'une paroi : utilitaire de calcul



92

Le U permet de calculer le flux d'énergie au travers de la paroi

LE COEFFICIENT U PERMET DE CALCULER LE FLUX D'ÉNERGIE QUI TRAVERSE LA PAROI.

$$\phi [W] = U \cdot S \cdot \Delta T$$

T°C Chaud

T°C Froid

Avec :

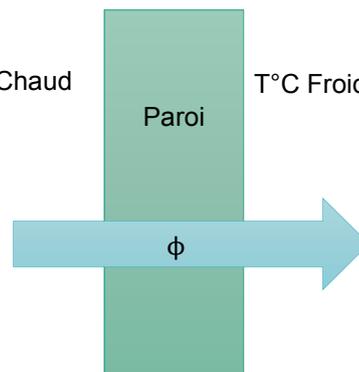
U : le coefficient de transmission thermique en W/m².K

S : la surface de la paroi en m²

ΔT : la différence de température entre l'intérieur et l'extérieur

Ce flux d'énergie, on peut le calculer pour toutes les parois :

- Murs extérieurs
- Planchers bas
- Plancher haut
- Portes
- Fenêtres



Analyse du site Conception bioclimatique **Principes de la thermique** La RTCM Mise en œuvre globale Bon usage

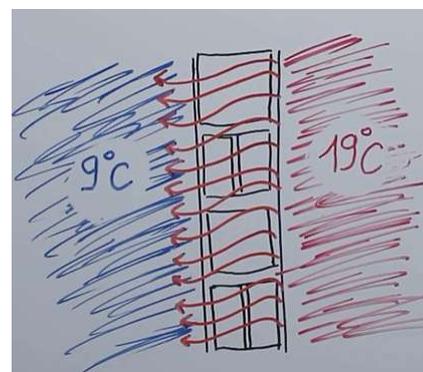
93

Exemple : Mur en aggloméré de ciment non isolé (U est de $2.43 \text{ W/m}^2\text{K}$).

Calculer

Si ce mur fait 100m^2 , calculer les déperditions journalières thermiques en kWh.

Rép.: le flux de chaleur sera de 2.43 par 100m^2 par 10 degrés, soit 2430 Watts, c'est-à-dire la puissance de 2 radiateurs.



extérieure

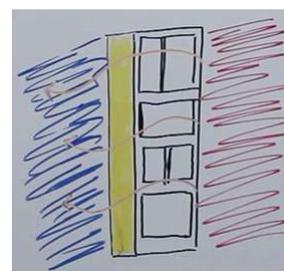
intérieure

Cela signifie par exemple qu'en 1 journée d'hiver, si 10° est la différence moyenne de températures intérieure/extérieure, les déperditions sont de 2430 (watts) x 24 (heures), soit 58320 wattheures, ou 58.32 kilowattheures.

94

Si nous posons 15 cm d'isolant sur ce mur, coté intérieur ou extérieur, son U chute à $0.21 \text{ W/m}^2\text{K}$.

Le flux thermique y est 11 fois moindre !



Mais désormais le parement intérieur n'est plus froid, et l'on peut chauffer avec de la basse température. Au final les consommations dues au mur ne seront pas divisées par 11 mais par plus de 15 !

Une précision : nous parlons ici d'une isolation non dégradée par des ponts thermiques ou des flux d'air.

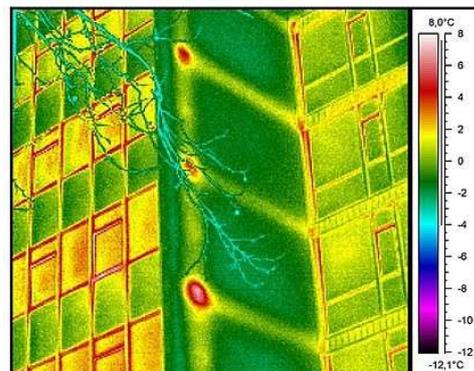
95

Cette **capacité de l'isolation à limiter les déperditions thermiques** explique pourquoi les nouveaux bâtiments conformes au RTCM sont plus performants que ceux qui les ont précédés ; et pourquoi, avec une isolation et une étanchéité à l'air mieux maîtrisées, les constructions plus récentes améliorent encore cette performance.

96

Les ponts thermiques ?

Pont thermique = discontinuité isolation



97

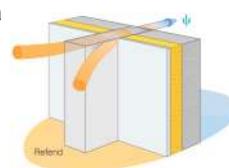
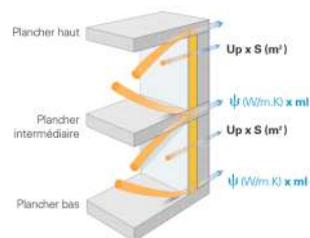
Ponts thermiques structurels

Ils sont dus aux liaisons structurelles.

Les ponts thermiques peuvent être :

→ Linéiques : ψ [W/m.K]
Refends, planchers

Ces ponts thermiques créent des flux d'énergie qui s'ajoutent à ceux au travers des parois.



Source : La thermique du bâtiment – Isover

Analyse du site Conception bioclimatique **Principes de la thermique** La RTCM Mise en œuvre globale Bon usage

98

Ponts thermiques intégrés

Les ponts thermiques linéiques intégrés sont dus à des inhomogénéités dans la composition même des parois.

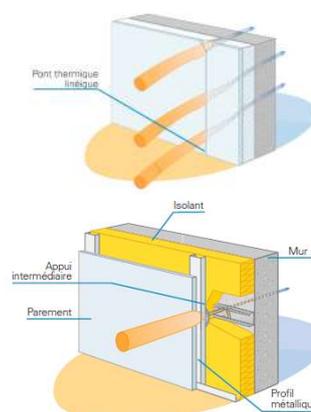
Ils influent directement sur le coefficient U de la paroi et augmentent le flux d'énergie qui passe au travers.

Ils peuvent être :

→ Linéiques : ψ [W/m.K]
Refends, planchers

→ Ponctuels: χ [W/K]
Traversée de l'enveloppe par des poutres, poteaux ...

Ils NE S'AJOUTENT donc PAS aux flux d'énergie traversant les parois.



Exemple de la cause d'un pont thermique ponctuel. L'appui intermédiaire servant d'entretoise entre la fourrure verticale et le mur.

Source : La thermique du bâtiment – Isover

Analyse du site Conception bioclimatique **Principes de la thermique** La RTCM Mise en œuvre globale Bon usage

Ponts thermiques

Le flux d'énergie passant dans un pont thermique linéique se calcule donc par la formule :

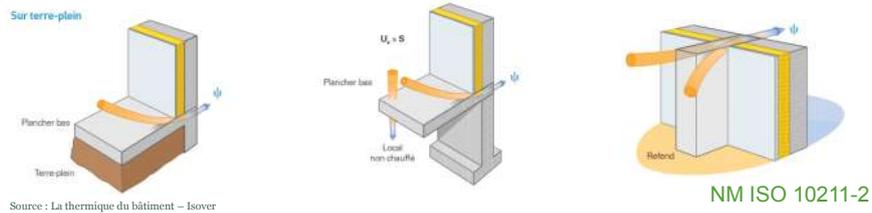
$$\phi [W] = \Psi \times L_{pont\ thermique} \times \Delta T$$

Avec :

Ψ : la conductivité du pont thermique en W/m.K

$L_{pont\ thermique}$: la longueur en mètre du pont thermique

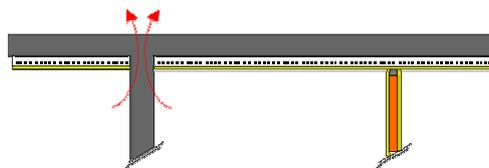
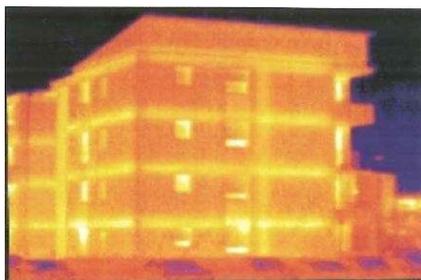
ΔT : La différence de température entre l'intérieur et l'extérieur



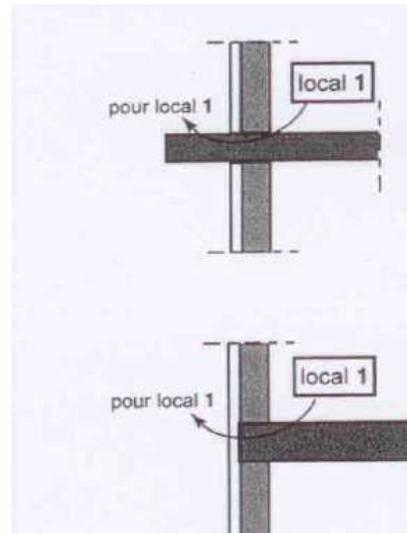
NM ISO 10211-2

- Analyse du site
- Conception bioclimatique
- Principes de la thermique**
- La RTCM
- Mise en œuvre globale
- Bon usage

Ponts thermiques



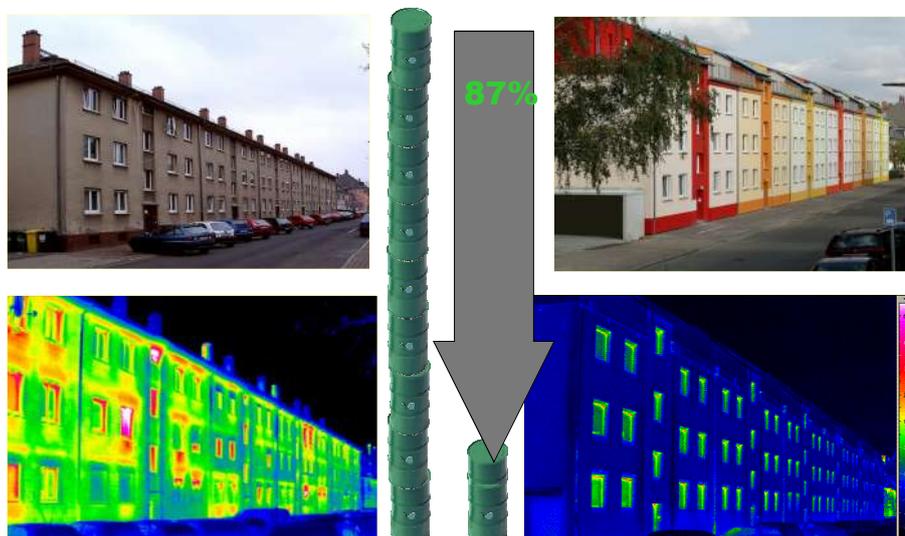
Source : La thermique du bâtiment - Isover



- Analyse du site
- Conception bioclimatique
- Principes de la thermique**
- La RTCM
- Mise en œuvre globale
- Bon usage

101

High savings potential for existing buildings e.g. Frankfurt refurbishment using passive house technology



102

Parois vitrées

Les parois vitrées sont à la fois sources de déperditions ET d'apports thermiques et de lumière.

Elles sont donc caractérisées par plusieurs coefficients :

<i>Symbole</i>	<i>Unité</i>	<i>Signification</i>
U	W/m ² .K	Transmission thermique
FS	Sans unité	Facteur solaire
TI	Sans unité	Transmission lumineuse

NM ISO 12567-1

Les parois vitrées

Les parois vitrées se composent :

→ **d'un cadre**

opaque caractérisé par un coefficient de transmission thermique U_f



→ **d'un vitrage**

transparent caractérisé par un coefficient de transmission thermique U_g

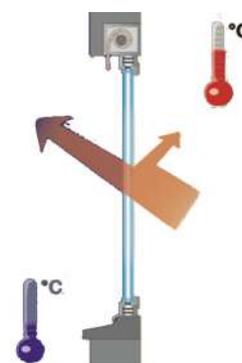


Coefficient de transmission thermique d'une paroi vitrée

On caractérise une paroi vitrée par un coefficient U_w que l'on peut en première approche définir ainsi :

- U_f : transmission thermique du cadre (A_f sa surface)
- U_g : transmission thermique du vitrage (A_g sa surface)
- s : clair de jour définit comme $s = A_g / (A_f + A_g)$

$$U_w = s \times U_g + (1-s) \times U_f$$



Source : Syndicat National de la Fermeture, de la Protection Solaire et des professions Associées.

105

Coefficient de transmission thermique d'une paroi vitrée



En toute rigueur, il convient de prendre en compte l'impact des ponts thermiques de la jonction vitrage/cadre :

Avec :

ψ : pont thermique linéique (aussi appelé pont thermique d'intercalaire) en W/m.K

L : longueur de pont thermique en mètres

$$U_w = s \times U_g + (1-s) \times U_f + \frac{L}{A_g + A_f} \times \psi$$

EXERCICE : CALCULER LE COEFFICIENT DE TRANSFERT THERMIQUE D'UNE MENUISERIE

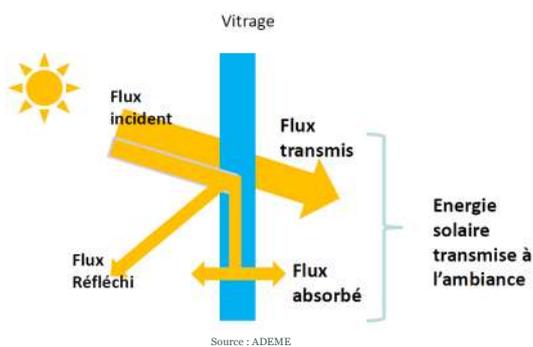
Analyse du site Conception bioclimatique **Principes de la thermique** La RTCM Mise en œuvre globale Bon usage

106

Le facteur solaire FS d'une paroi vitrée

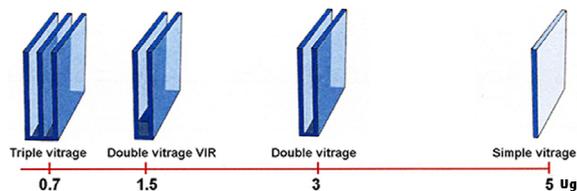
Le facteur solaire correspond à la part d'énergie solaire incidente qui passe au travers du vitrage.

Le FS est compris entre 0 et 1.



Analyse du site Conception bioclimatique **Principes de la thermique** La RTCM Mise en œuvre globale Bon usage

Les caractéristiques de différents vitrages



Exemples	U_g ($W/m^2.K$)	Facteur solaire FS	Coût (Dh/m^2)
Simple vitrage	5,7	0,85	140
Double vitrage	2,9	0,75	200
Double vitrage basse émissivité	1,8	0,65	950
Triple vitrage	0,6	0,52	*

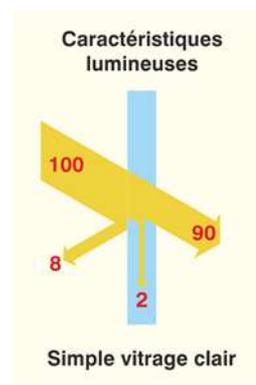
* Aucun fournisseur identifié au Maroc à ce jour.

Analyse du site Conception bioclimatique **Principes de la thermique** La RTCM Mise en œuvre globale Bon usage

La transmission lumineuse TI d'une paroi vitrée

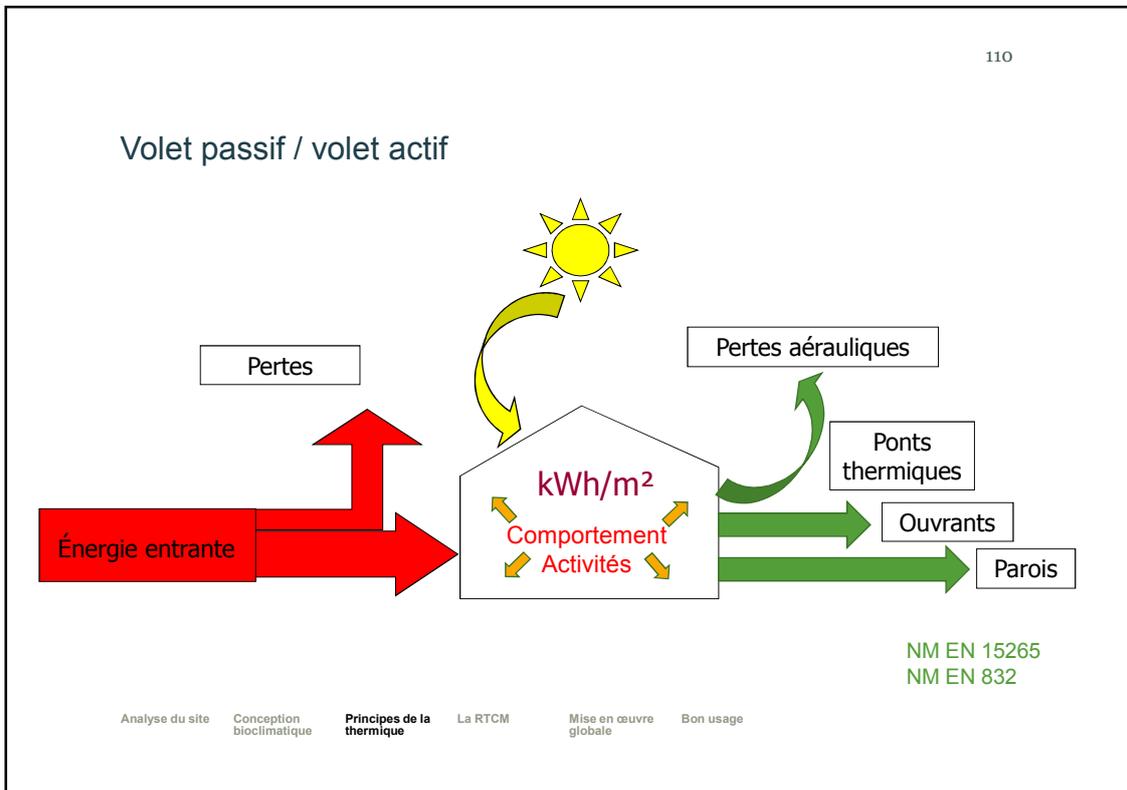
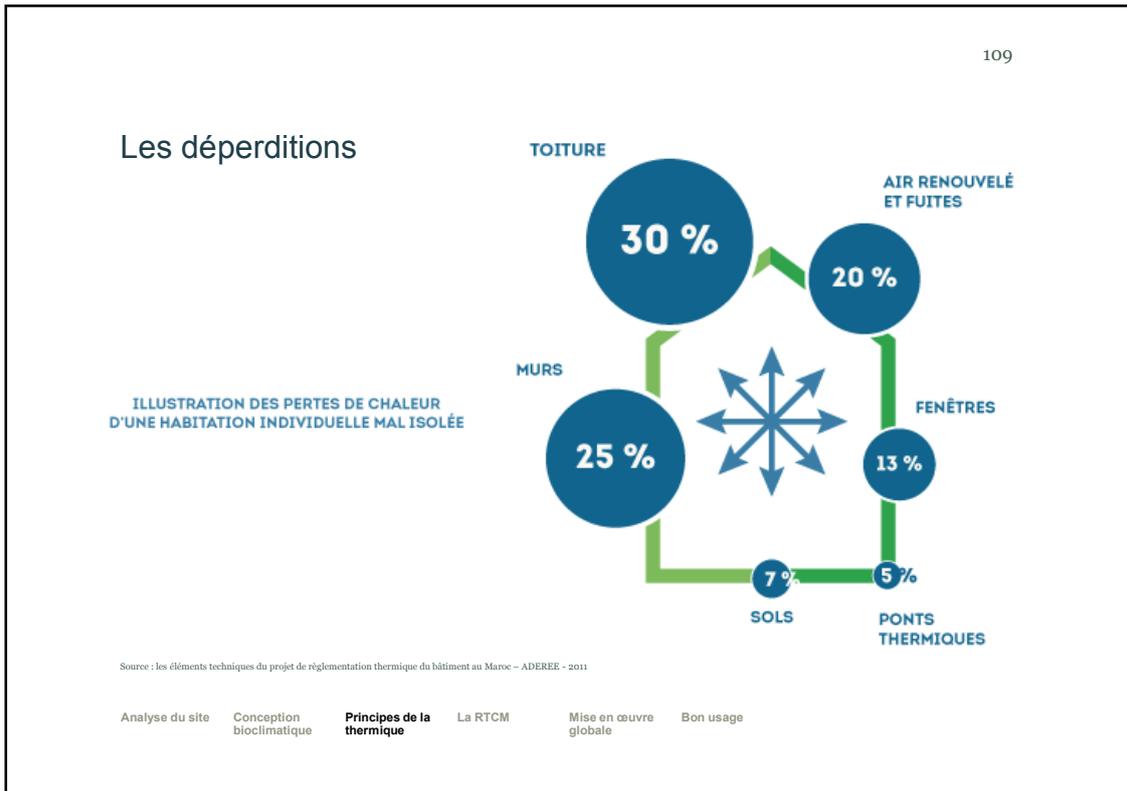
La transmission lumineuse correspond à la part de lumière incidente qui passe au travers du vitrage.

TI est compris entre 0 et 1.



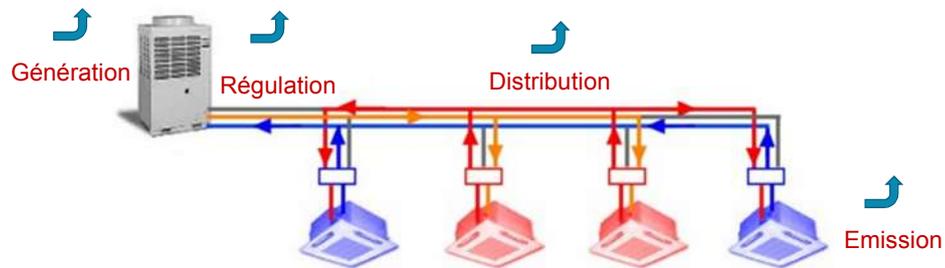
Source : www.energieplus-lesite.be

Analyse du site Conception bioclimatique **Principes de la thermique** La RTCM Mise en œuvre globale Bon usage



111

Le rendement η



$$\eta_{\text{générateur}} * \eta_{\text{régulation}} * \eta_{\text{distribution}} * \eta_{\text{émission}} = \eta_{\text{global}}$$



Analyse du site Conception bioclimatique **Principes de la thermique** La RTCM Mise en œuvre globale Bon usage

112

Le « Rendement » d'une pompe à chaleur

EN CLIMATISATION

Les performances énergétiques minimales des installations de climatisations sont données en termes d'Efficacité Énergétique en mode Refroidissement

$$EER = \frac{\text{La puissance totale de refroidissement}}{\text{Puissance électrique absorbée}}$$

EN CHAUFFAGE

et en terme de coefficient de performance (COP : Coefficient of Performance) en mode chauffage.

$$COP = \frac{\text{La puissance totale calorifique}}{\text{Puissance électrique absorbée}}$$

Analyse du site Conception bioclimatique **Principes de la thermique** La RTCM Mise en œuvre globale Bon usage

Synthèse

QUELLES NOTIONS AVONS-NOUS ABORDÉES ?

- Construire en fonction du site et de l'usage
- Le bioclimatisme
- Les notions de besoins, rendement, consommations
- La thermique : gestion des flux d'énergie, maîtrise des caractéristiques de l'air intérieur

Analyse du site Conception bioclimatique **Principes de la thermique** La RTCM Mise en œuvre globale Bon usage

Synthèse

QU'AVEZ-VOUS RETENU DE LA SESSION PRÉCÉDENTE?

A VOUS DE JOUER !

Analyse du site Conception bioclimatique **Principes de la thermique** La RTCM Mise en œuvre globale Bon usage

Plan de la formation

- I. ANALYSE DU SITE
- II. CONCEPTION BIOCLIMATIQUE DU BÂTIMENT
- III. PRINCIPES DE LA THERMIQUE DU BÂTIMENT
- IV. LA RTCM**
- V. IDENTIFICATION DES BESOINS ÉNERGÉTIQUES
- VI. CHAUFFAGE ET CLIMATISATION
- VII. ETUDE DE CAS: MAÎTRISER ET CONTRÔLER LA MISE EN ŒUVRE DU RTCM ET PRISE EN MAIN DES LOGICIELS BINAYATE PRESCRIPTIVE, BINAYATE 3D ET BINAYATE PERFORMANTIELLE

IV. LA RTCM



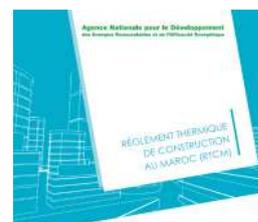
La RTCM fixe des exigences en matière de performances de l'enveloppe des bâtiments neufs : niveau d'isolation thermique, optimisation du taux de vitrage par orientation, protection solaire des fenêtres, etc.

Selon deux approches:

→ **Performancielle** : limites maximales des besoins thermiques en kWh/m².an

Ou

→ **Prescriptive** : fixe les exigences réglementaires des caractéristiques thermiques de l'enveloppe des bâtiments



Source : la réglementation thermique du bâtiment au Maroc - 2014

Analyse du site Conception bioclimatique Principes de la thermique **La RTCM** Mise en œuvre globale Bon usage

117

La réglementation thermique



Elle concerne deux types de bâtiments :

→ **Résidentiels :**

Maisons individuelles, villas
Logements collectifs



→ **Non résidentiels :**

administratifs/bureaux,
hôpitaux,
hôtels,
établissements d'enseignement.

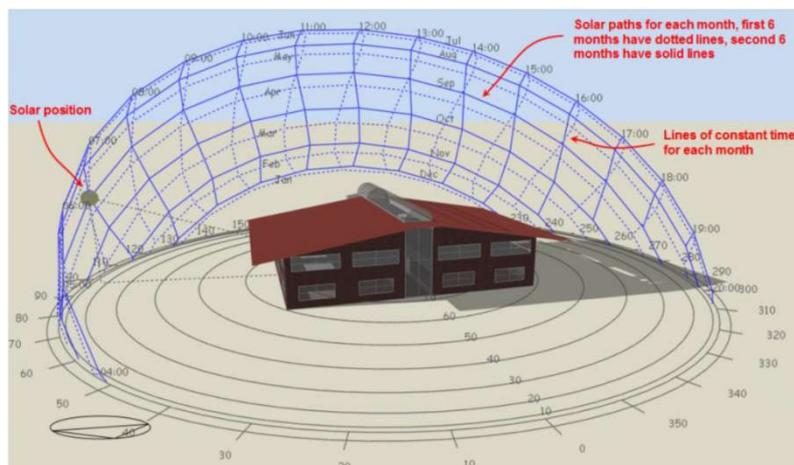


Source : Les éléments techniques du projet de la réglementation thermique du bâtiment au Maroc - 2011

Analyse du site Conception bioclimatique Principes de la thermique **La RTCM** Mise en œuvre globale Bon usage

118

L'approche performantielle



Source : DesignBuilder

L'Approche Performancielle: est basée sur les besoins énergétiques annuels du bâtiment liés au confort thermique (BECh) exprimés en kWh/(m².an):

$$BECh = (BECh + BERef) / STC$$

-BECh: Besoins énergétiques annuels pour le chauffage exprimés en kWh/an et calculés sur la période d'hiver pour une température intérieure de base Tch= 20°C,

-BERef: Besoins énergétiques annuels pour le refroidissement exprimés en kWh/an et calculés sur la période d'été pour une température intérieure de base Tref= 26°C,

--STC : Surface totale conditionnée exprimée en m² et égale à la somme des surfaces des planchers des espaces chauffés en hiver et/ou refroidis en été.

Approche performancielle



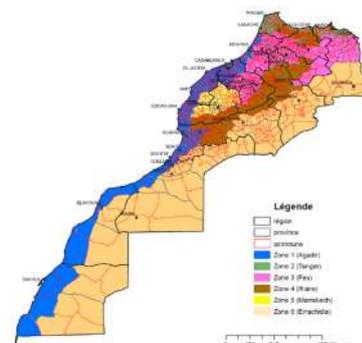
Besoins spécifiques thermiques annuels maximaux de chauffage et de climatisation en kWh/m².an

Zone climatique	Résidentiels	Ecoles	Administrations	Hôpitaux	Hôtels
Agadir Z1	40	44	45	72	48
Tanger Z2	46	50	49	73	52
Fès Z3	48	61	49	68	66
Ifrane Z4	64	80	35	47	34
Marrakech Z5	61	65	56	92	88
Errachidia Z6	65	67	58	93	88

Source : Les éléments techniques du projet de la réglementation thermique du bâtiment au Maroc - 2011

121

L'Approche Prescriptive: est basée sur les spécifications techniques minimales en terme de propriétés thermo-physiques de l'enveloppe du bâtiment et ce, en fonction de la zone climatique et du taux des baies vitrées des espaces chauffés et/refroidis ainsi que leur répartition sur les différentes orientations.



Note: L'approche prescriptive ne s'applique pas

1. dans le cas où le taux global des baies vitrées est supérieur à 45% de la surface des murs extérieurs.

122

Approche prescriptive



Exemple d'un bâtiment résidentiel dans la zone climatique d'Agadir

	Taux des baies vitrées TGBV	U des toitures exposées (W/m ² .K)	U des murs extérieurs (W/m ² .k)	U des vitrages (W/m ² .k)	R minimale des planchers sur sol (m ² .k/W)	Facteur Solaire FS* des vitrages
Zone climatique réglementaire Z1 (Réf. Agadir)	≤ 15%	≤ 0,75	≤ 1,20	≤ 5,80	NE	NE
	16-25 %	≤ 0,75	≤ 1,20	≤ 5,80	NE	Nord : NE Autres : ≤ 0,7
	26-35 %	≤ 0,75	≤ 1,20	≤ 3,30	NE	Nord : NE Autres : ≤ 0,5
	36-45 %	≤ 0,65	≤ 1,20	≤ 3,30	NE	Nord : ≤ 0,7 Autres : ≤ 0,3

- Le « U des vitrages » est le U de l'ensemble de la menuiserie (cadre et vitrage)
- Pas d'exigence concernant les ponts thermiques

Source : Les éléments techniques du projet de la réglementation thermique du bâtiment au Maroc - 2011

123

L'approche prescriptive

EXERCICE DE LECTURE DU DÉCRET

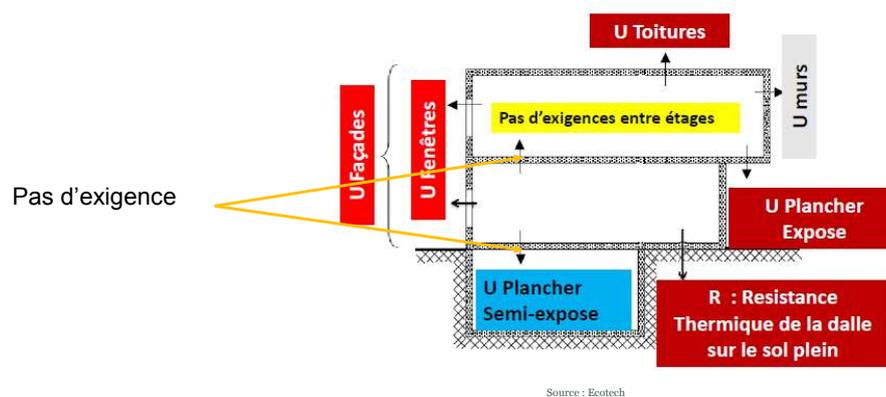


- Comment est calculé le TGBV ?
- Que prend en compte le U des vitrages ? Le vitrage ? le cadre ?...
- Quelles exigences en matière de ponts thermiques ?
- Comment sont prises en compte les résistances superficielles ?
- Quelles sont les exigences sur les portes ?
- Quelles sont les exigences sur les coffres de volets roulant ?
- Quelle particularité dans le calcul de la résistance thermique du plancher bas ?

Analyse du site Conception bioclimatique Principes de la thermique **La RTCM** Mise en œuvre globale Bon usage

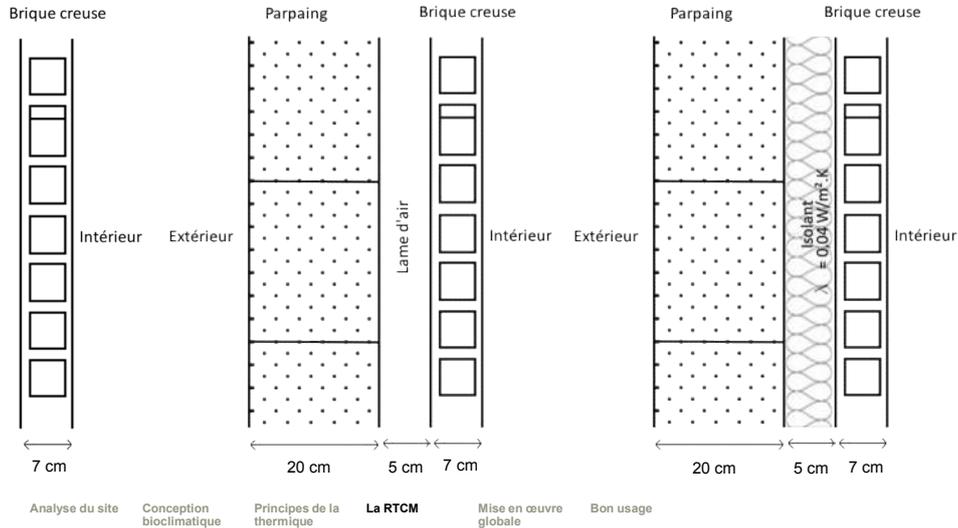
124

L'approche prescriptive



Analyse du site Conception bioclimatique Principes de la thermique **La RTCM** Mise en œuvre globale Bon usage

Application : validation de la conformité d'une paroi avec Binayate



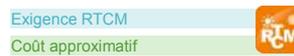
Isolation de l'enveloppe

QUE PEUT-ON ISOLER ?

- Les murs extérieurs
- Les toitures
- Les planchers bas
- Les ponts thermiques
- Les parois vitrées

PICTOGRAMMES RTCM, COÛT

A chaque solution constructive sera associé l'encart ci-dessous :

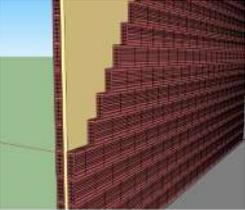


- La première ligne rappelle l'exigence RTCM
- La seconde donne une indication de coût fourni (F) ou fourni et posé (F&P) en Dh de l'isolant UNIQUEMENT.

127

Isolation des murs extérieurs par l'intérieur (ITI)

Consiste à recouvrir les surfaces déperditives par des matériaux isolants sur la face intérieure des murs.

Descriptif	Avantages	Inconvénients
 <p>Source : Emenda</p>	<ul style="list-style-type: none"> Mise en œuvre aisée car en intérieur, sans échafaudage. Diminution de l'inertie du bâti Coût moindre que l'isolation par l'extérieur 	<ul style="list-style-type: none"> Performance thermique de l'enveloppe moindre car on ne traite pas les ponts thermiques dus aux refends et planchers intermédiaires. Diminution de la surface habitable. Diminution de l'inertie du bâti. Durabilité moyenne des performances thermiques. Risques de condensation dans l'isolant et de choc thermique dans la paroi.

NOTA : L'ISOLATION ENTRE PAROIS EST UNE VARIANTE DE L'ITI

Analyse du site Conception bioclimatique Principes de la thermique **La RTCM** Mise en œuvre globale Bon usage

128

Isolation par projection de polyuréthane

Épaisseur de 2 à 4 cm

110 DH/m² pour 4,5 cm d'épaisseur projetée F&P (U = 0,62 W/m².K)



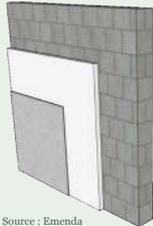
Source : Résidence Jacaranda- Al Omrane

Analyse du site Conception bioclimatique Principes de la thermique **La RTCM** Mise en œuvre globale Bon usage

129

Isolation des murs extérieurs par l'extérieur

L'isolation par l'extérieur consiste à recouvrir les surfaces déperditives par des matériaux isolants sur la face extérieure des murs.

Descriptif	Avantages	Inconvénients
 <p>Source : Emenda</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Excellente performance thermique car on traite les ponts thermiques dus aux refends et planchers intermédiaires. • Protection de la façade contre les chocs thermiques. • Amélioration de l'inertie du bâtiment. • Pas de diminution de la surface habitable. 	<ul style="list-style-type: none"> • Coût de mise en œuvre • Reste à traiter les ponts thermiques de liaison aux encadrements des baies, les planchers hauts et les balcons • Résistance mécanique en partie basse

Analyse du site

Conception bioclimatique

Principes de la thermique

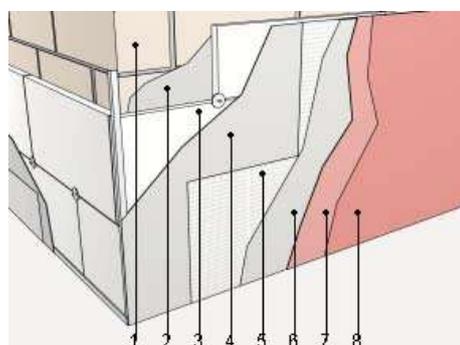
La RTCM

Mise en œuvre globale

Bon usage

Isolation par l'extérieur sous enduit

130



Source : Grupopuma

- 1: Support.
- 2: Mortier de base.
- 3: Isolation.
- 4: Mortier de base.
- 5: Maille.
- 6: Mortier de base.
- 7: Impression.
- 8: Mortier décoratif.

Analyse du site

Conception bioclimatique

Principes de la thermique

La RTCM

Mise en œuvre globale

Bon usage

131

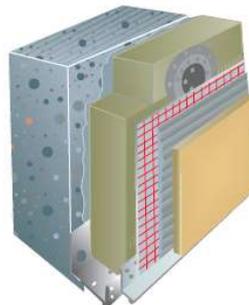
Isolation par l'extérieur sous enduit (suite)

Collé



Source : Placo (Saint Gobain)

Agrafé



Source : Grupopuma

132

Isolation des murs extérieurs par isolation répartie

Ce système est basé sur un bloc de maçonnerie avec des propriétés isolantes. L'isolation de la paroi finie est uniquement apportée par ce bloc maçonné sans rajouter d'isolation.

Descriptif	Avantages	Inconvénients
<p>Source : Emenda</p>	<ul style="list-style-type: none"> Mise en œuvre aisée car en intérieur, sans échafaudage. Bonne durabilité des performances thermiques Pas de diminution de la surface habitable Pas de risques de condensation dans l'isolant. 	<ul style="list-style-type: none"> Pas de traitement des ponts thermiques dus aux refends et planchers intermédiaires. N'apporte pas d'inertie au bâtiment. Moins performant qu'un isolant à épaisseur égale.

Analyse du site

Conception bioclimatique

Principes de la thermique

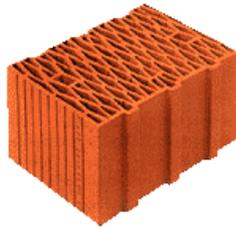
La RTCM

Mise en œuvre globale

Bon usage

Blocs d'isolation répartie

Les deux principales catégories de blocs d'isolation répartie sont les briques monomurs et blocs de béton de granulats légers



Brique monomur



Bloc de granulats légers

R (m ² .KW)	Prix HT	Avantages	Inconvénients	Commentaires
Environ 2,1 m ² .KW mais peut considérablement varier selon les produits.	Aucun fournisseur recensé à ce jour au Maroc	<ul style="list-style-type: none"> Insensible à l'humidité, aux rongeurs et inflammable A la fois un matériau de construction et un isolant Bonne durabilité 	<ul style="list-style-type: none"> Moindre performance phonique Non recyclable Imperméable à l'humidité 	<ul style="list-style-type: none"> Toutes les briques monomur et blocs isolants n'ont pas les mêmes propriétés thermiques Nécessite une mise en œuvre par joints minces et à sec donc un savoir faire spécifique

Analyse du site Conception bioclimatique Principes de la thermique **La RTCM** Mise en œuvre globale Bon usage

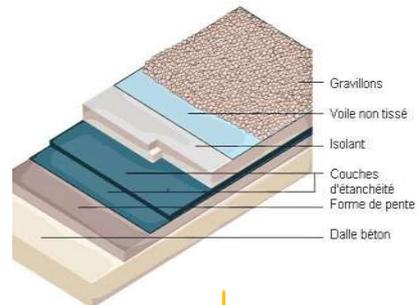
Isolation des toitures terrasse

Isolation sous étanchéité



Polystyrène, perlite expansé
(bonne résistance à la compression)

Isolation au-dessus étanchéité



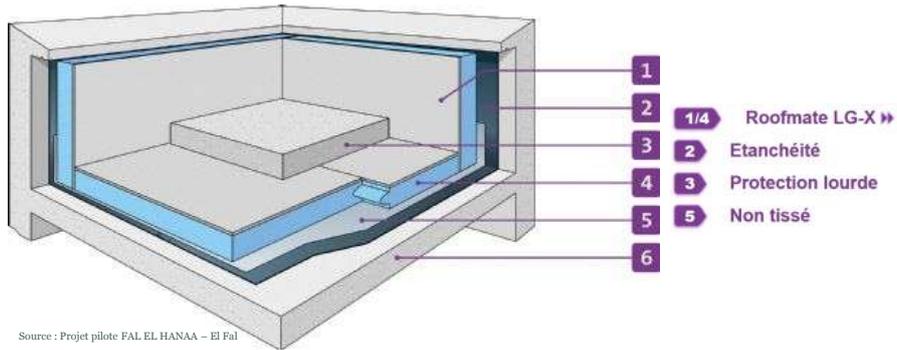
Polystyrène extrudé

Analyse du site Conception bioclimatique Principes de la thermique **La RTCM** Mise en œuvre globale Bon usage

Isolation des toitures terrasse (suite)

Isolation de 4 cm $U=0,66W/m^2.K$
 Pas d'indication de coût disponible 

Isolation en polystyrène extrudé au-dessus de l'étanchéité



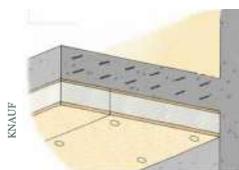
Analyse du site Conception bioclimatique Principes de la thermique **La RTCM** Mise en œuvre globale Bon usage

Isolation des planchers bas

Panneaux

Faux-plafond

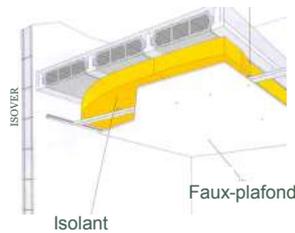
Projection



Panneaux rigides préfabriqués,
hourdis isolants

Polystyrène

Source : Xales



Laines minérales



Laines minérales, polyuréthane

Analyse du site Conception bioclimatique Principes de la thermique **La RTCM** Mise en œuvre globale Bon usage

Isolation des parois vitrées



Source: CYPE

Simple vitrage



Source: CYPE

Double vitrage

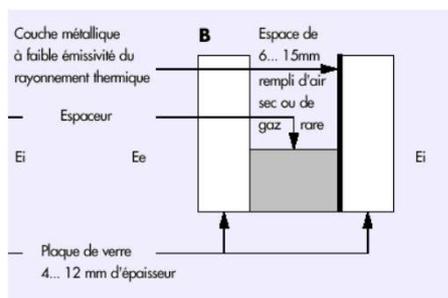
Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none"> • Diminution de l'effet de paroi froide • Atténuation des bruits extérieurs • Diminution des consommations d'énergie • Diminution de la condensation sur le vitrage 	<ul style="list-style-type: none"> • Augmentation du poids de la menuiserie • Augmentation du prix de la menuiserie

Analyse du site
 Conception bioclimatique
 Principes de la thermique
 La RTCM
 Mise en œuvre globale
 Bon usage

Les caractéristiques des doubles vitrages

LES DOUBLES VITRAGES SONT DE PERFORMANCES INÉGALES

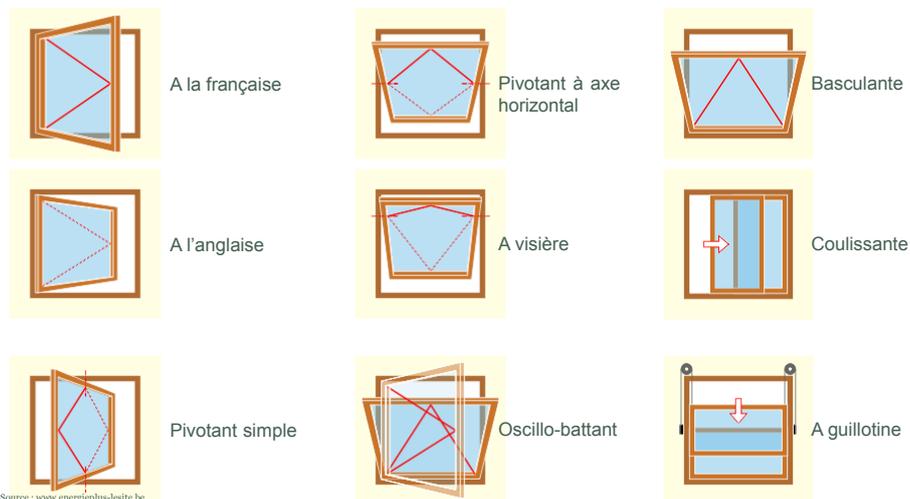
- Choix de l'épaisseur de l'espace entre les verres
- Choix de l'épaisseur des verres
- Choix du gaz intercalaire (air, argon, krypton...)
- Choix de l'espaceur
- Avec ou sans couche à faible émissivité ...



Source : Guide pratique de conception de logements économes en énergies - ANME

Analyse du site
 Conception bioclimatique
 Principes de la thermique
 La RTCM
 Mise en œuvre globale
 Bon usage

Les différents types d'ouvrants



Analyse du site Conception bioclimatique Principes de la thermique **La RTCM** Mise en œuvre globale Bon usage

L'essentiel des exigences réglementaires

- La plupart des valeurs de U imposées pour les vitrages impose l'emploi de double vitrage
- Attention, les valeurs de U de vitrages imposées par la réglementation thermique portent sur la performance globale de la fenêtre, donc sur l'ensemble de la menuiserie cadre et vitrage.
- Attention à ne pas oublier le FS* maximum de la menuiserie dans certains cas
- Plus le bâtiment est conçu de façon bioclimatique (proportion et orientation des surfaces vitrées) moins la réglementation thermique est contraignante.

Analyse du site Conception bioclimatique Principes de la thermique **La RTCM** Mise en œuvre globale Bon usage

141

Synthèse

QUELLES NOTIONS AVONS-NOUS ABORDÉES ?

- Les solutions constructives d'isolation des parois
- Le traitement des principaux points singuliers de l'enveloppe

Apporter une clé USB
pour la remise des
fichiers et contenus

Analyse du site Conception bioclimatique Principes de la thermique **La RTCM** Mise en œuvre globale Bon usage

142

Synthèse

QU'AVEZ-VOUS RETENU DE LA SESSION PRÉCÉDENTE?

A VOUS DE JOUER !

Analyse du site Conception bioclimatique Principes de la thermique **La RTCM** Mise en œuvre globale Bon usage

Plan de la formation

- I. ANALYSE DU SITE
 - II. CONCEPTION BIOCLIMATIQUE DU BÂTIMENT
 - III. PRINCIPES DE LA THERMIQUE DU BÂTIMENT
 - IV. LA RTCM
 - V. IDENTIFICATION DES BESOINS ÉNERGÉTIQUES
 - VI. CHAUFFAGE ET CLIMATISATION
 - VII. ETUDE DE CAS: MAÎTRISER ET CONTRÔLER LA MISE EN ŒUVRE DU RTCM ET PRISE EN MAIN DES LOGICIELS BINAYATE PRESCRIPTIVE, BINAYATE 3D ET BINAYATE PERFORMANTIELLE
- I. **Prise en main du logiciel de mise en œuvre et de control du RTCM : Logiciel Binayate prescriptive, Binayate 3D et Binayate Performantielle.**

Quelles questions se pose t-on pour bien choisir un équipement ?



- Quels sont les besoins ?
Chauffage, climatisation, eau chaude sanitaire...
- Quels sont les spécificités du climat ?
Plage des températures extérieures...
- Quelles sont les puissances nécessaires?



IDENTIFICATION DES BESOINS ÉNERGÉTIQUES

Les besoins dans le secteur résidentiel

EN MATIÈRE D'ÉNERGIE

- Des besoins de climatisation et chauffage prépondérants
- Des besoins d'eau chaude sanitaire importants

EN MATIÈRE DE CONFORT :

- Une problématique de confort d'hiver et d'été
- Peu de dissipations internes de chaleur



Identification des besoins énergétiques

Chauffage et climatisation

Production ECS

Ventilation

Eclairage

Autres usages

Gestion et suivi des équipements

Production et suivi

Les besoins dans le secteur tertiaire

EN MATIÈRE D'ÉNERGIE:

- Des besoins de climatisation prépondérants
- Des besoins d'éclairage importants
- Des besoins de chauffage et d'eau chaude sanitaire moindres

EN MATIÈRE DE CONFORT :

- Beaucoup de dissipations internes de chaleur
- Des surfaces vitrées importantes



Identification des besoins énergétiques

Chauffage et climatisation

Production ECS

Ventilation

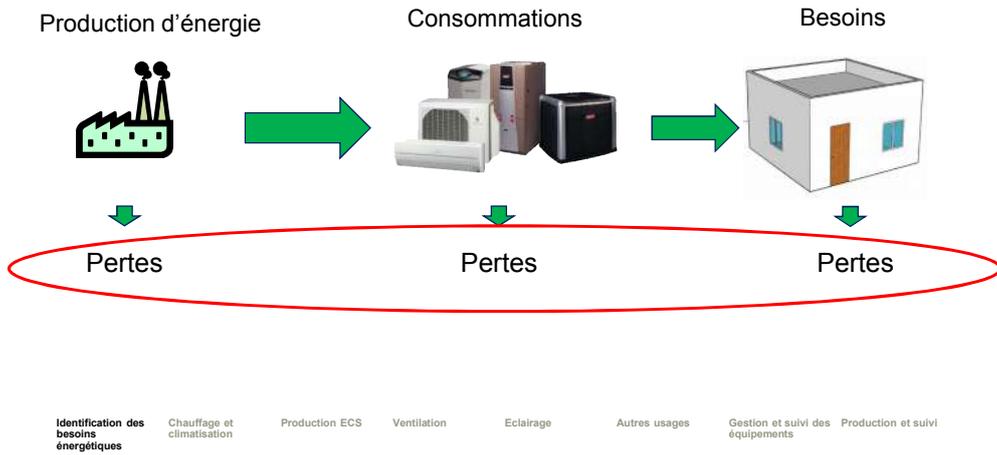
Eclairage

Autres usages

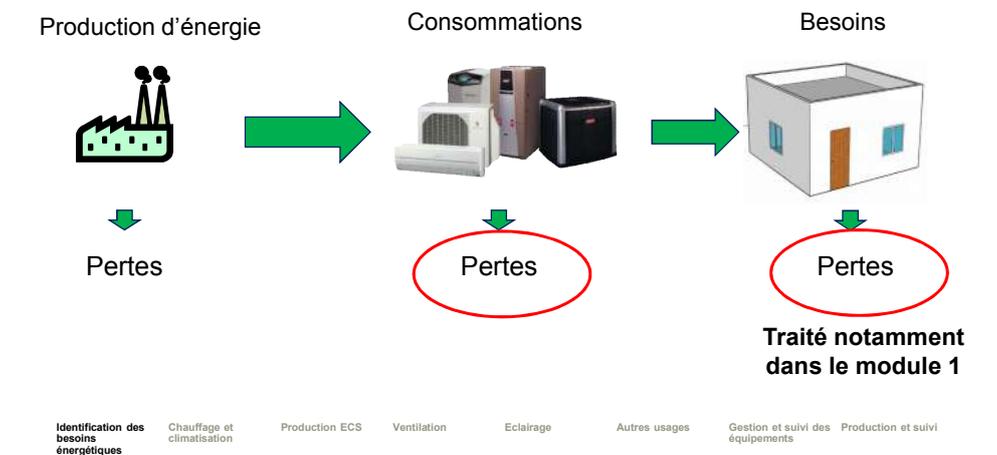
Gestion et suivi des équipements

Production et suivi

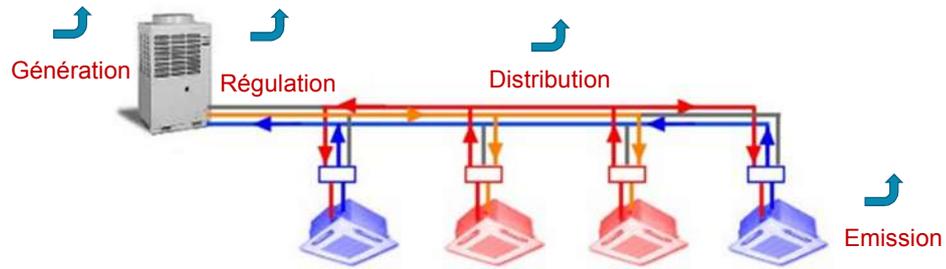
Le lien entre besoin et consommation énergétique



Le lien entre besoin et consommation énergétique



Le rendement η

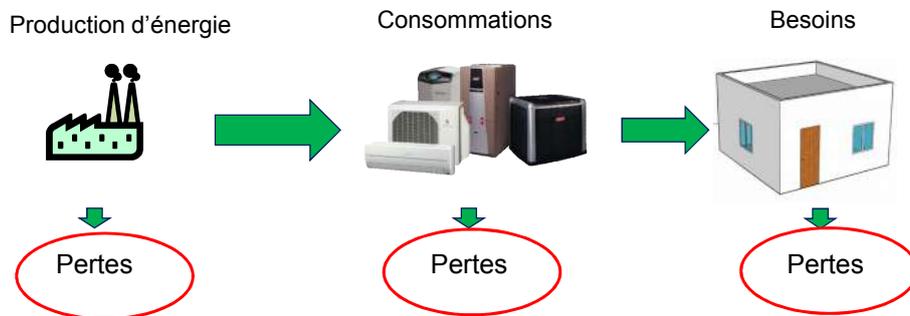


$$\eta_{\text{générateur}} * \eta_{\text{régulation}} * \eta_{\text{distribution}} * \eta_{\text{émission}} = \eta_{\text{global}}$$



- Identification des besoins énergétiques
- Chauffage et climatisation
- Production ECS
- Ventilation
- Eclairage
- Autres usages
- Gestion et suivi des équipements
- Production et suivi

Le lien entre besoin et consommation énergétique



- Identification des besoins énergétiques
- Chauffage et climatisation
- Production ECS
- Ventilation
- Eclairage
- Autres usages
- Gestion et suivi des équipements
- Production et suivi

Rendement de la production d'électricité

L'ÉNERGIE PRIMAIRE...

c'est celle qui est brute, présente dans la nature. (charbon, pétrole, gaz...)

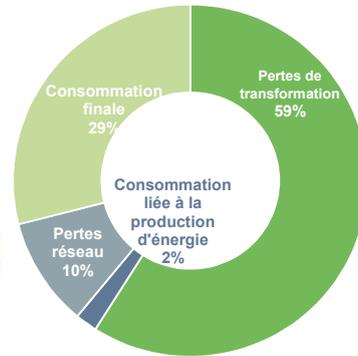
L'ÉNERGIE FINALE...

c'est celle qui est consommée dans les bâtiments.

ENTRE LES DEUX,

il y a eu extraction, transformation, acheminement... donc des pertes.

Distribution de la consommation au Maroc



- Identification des besoins énergétiques
- Chauffage et climatisation
- Production ECS
- Ventilation
- Eclairage
- Autres usages
- Gestion et suivi des équipements
- Production et suivi

Energie primaire / énergie finale

DANS LE CAS DU PÉTROLE, DU GAZ, ET DU BOIS CONSOMMÉS DANS LES BÂTIMENTS

les pertes d'extraction, transformation et d'acheminement sont considérées comme négligeables.

$$1 \text{ kWhEP} = 1 \text{ kWhEF}$$

DANS LE CAS DE L'ÉLECTRICITÉ

le coefficient de passage de l'énergie finale à l'énergie primaire dépend dans chaque pays de la façon dont est produit l'électricité.

$$1 \text{ kWhEP} > 1 \text{ kWhEF}$$

AU MAROC

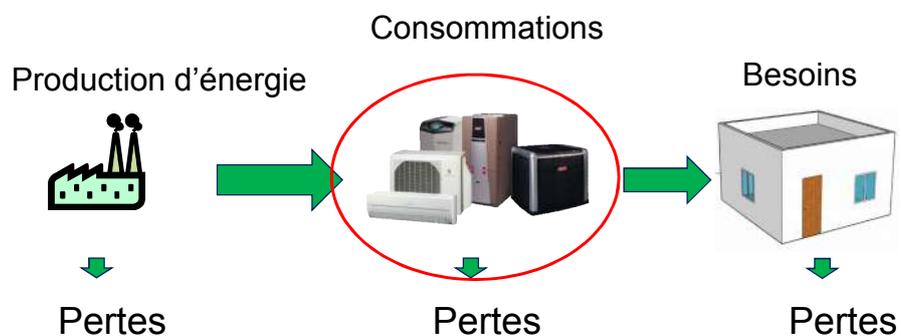


Source : Direction de l'observation et de la Programmation (DOP) –Avril 2013

- Identification des besoins énergétiques
- Chauffage et climatisation
- Production ECS
- Ventilation
- Eclairage
- Autres usages
- Gestion et suivi des équipements
- Production et suivi

153

Le lien entre besoin et consommation énergétique



Identification des besoins énergétiques

Chauffage et climatisation

Production ECS

Ventilation

Eclairage

Autres usages

Gestion et suivi des équipements

Production et suivi

154

Les équipements de production de chaud et de froid:

LES POMPES À CHALEUR

→ Eau/eau

→ Air/eau

→ Air/air

AUTRES SYSTÈMES

→ Climatiseur adiabatique

→ Energie solaire

→ ...

LES SYSTÈMES À COMBUSTION

→ Les chaudières gaz

→ Les chaudières bois

→ ...

Identification des besoins énergétiques

Chauffage et climatisation

Production ECS

Ventilation

Eclairage

Autres usages

Gestion et suivi des équipements

Production et suivi

Les types d'équipements

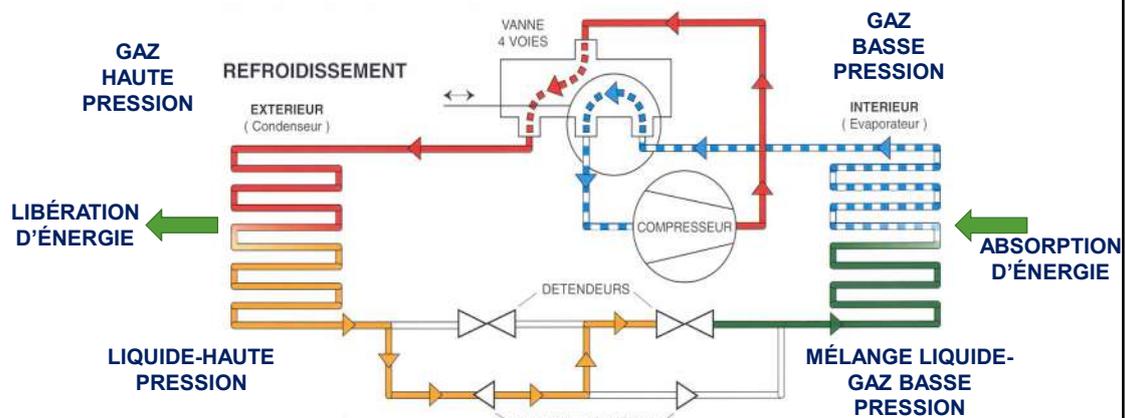
Les pompes à chaleur

Identification des besoins énergétiques
Chauffage et climatisation
Production ECS
Ventilation
Eclairage
Autres usages
Gestion et suivi des équipements
Production et suivi

Principe de fonctionnement d'une pompe à chaleur

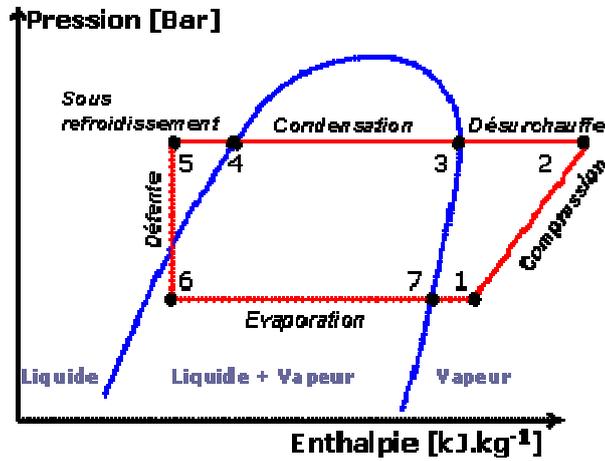


EN MODE REFROIDISSEMENT.



Identification des besoins énergétiques
Chauffage et climatisation
Production ECS
Ventilation
Eclairage
Autres usages
Gestion et suivi des équipements
Production et suivi

Principe de fonctionnement d'une pompe à chaleur

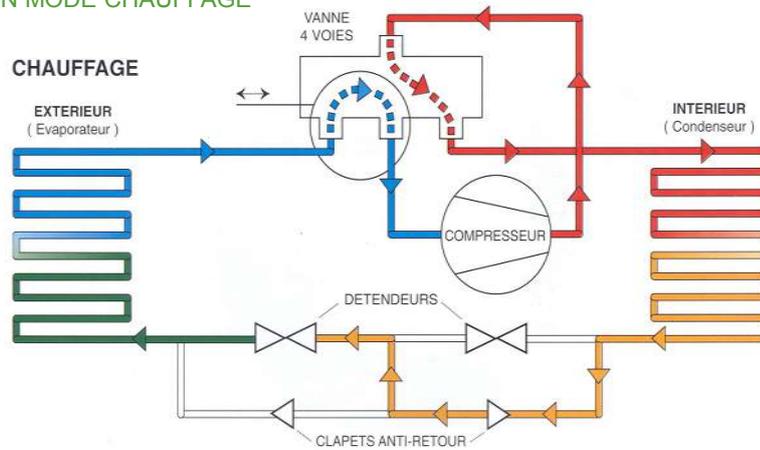


Identification des besoins énergétiques Chauffage et climatisation Production ECS Ventilation Eclairage Autres usages Gestion et suivi des équipements Production et suivi équipements

Principe de fonctionnement d'une pompe à chaleur



EN MODE CHAUFFAGE



Identification des besoins énergétiques Chauffage et climatisation Production ECS Ventilation Eclairage Autres usages Gestion et suivi des équipements Production et suivi équipements

Le « Rendement » d'une pompe à chaleur

EN CLIMATISATION

Les performances énergétiques minimales des installations de climatisations sont données en termes d'Efficacité Énergétique en mode refroidissement

$$EER = \frac{\text{La puissance totale de refroidissement}}{\text{Puissance électrique absorbée}}$$

EN CHAUFFAGE

et en terme du coefficient de performance (COP : Coefficient of Performance) en mode chauffage.

$$COP = \frac{\text{La puissance totale calorifique}}{\text{Puissance électrique absorbée}}$$

EN 14511-2

Identification des
besoins
énergétiques

Chauffage et
climatisation

Production ECS

Ventilation

Eclairage

Autres usages

Gestion et suivi des
équipements

Production et suivi

Le « Rendement » d'une pompe à chaleur

LE RENDEMENT MAXIMAL THÉORIQUE D'UNE POMPE À CHALEUR EST LE COP DE CARNOT.

Il s'agit du rendement maximum du cycle thermodynamique.

$$COP_{\text{réel de la PAC}} < COP_{\text{Carnot}}$$

Avec η qui dépend de la performance de la pompe à chaleur (surface et type d'échangeur, type de fluide caloporteur...).

Mais le COP du cycle de Carnot n'est pas constant.

$$COP_{\text{Carnot}} = \frac{T_{\text{extérieure}}}{T_{\text{extérieure}} - T_{\text{intérieure}}}$$

Donc :

- La performance d'un pompe à chaleur dépend des conditions extérieures
- On a intérêt à ne pas solliciter la PAC pour produire des températures trop élevée ou trop basse

Identification des
besoins
énergétiques

Chauffage et
climatisation

Production ECS

Ventilation

Eclairage

Autres usages

Gestion et suivi des
équipements

Production et suivi

161

EER d'une climatisation



Le EER, Efficiency Energy Ratio (EER) représente la performance énergétique d'un climatiseur, mais il varie en fonction des températures extérieur et de consigne.

Un coefficient plus pertinent est donc l'ESEER (European Seasonal EER), qui est un coefficient saisonnier annuel. Il est calculé selon une formule qui prend en compte les valeurs d'EER à différents pourcentages de régulation de puissance d'un groupe, en fonction d'une durée de temps pour chacun d'entre eux.

Plus les EER et ESEER sont élevés, plus la consommation énergétique sera faible.

Identification des besoins énergétiques

Chauffage et climatisation

Production ECS

Ventilation

Eclairage

Autres usages

Gestion et suivi des équipements

Production et suivi

162

Pouvoir de réchauffement global des fluides frigorigènes



LE PRG EST UNE INDICATION SUR LA NOCIVITÉ D'UN GAZ PAR RAPPORT À L'EFFET DE SERRE

Molécule	CO ₂	Méthane	Propane	R22	R134a	R410a	R407c	Ammoniac	Eau
PRG	1	23	3	1700	1300	1980	1650	0	0

Source: NF EN 378-1 – Annexe E

Identification des besoins énergétiques

Chauffage et climatisation

Production ECS

Ventilation

Eclairage

Autres usages

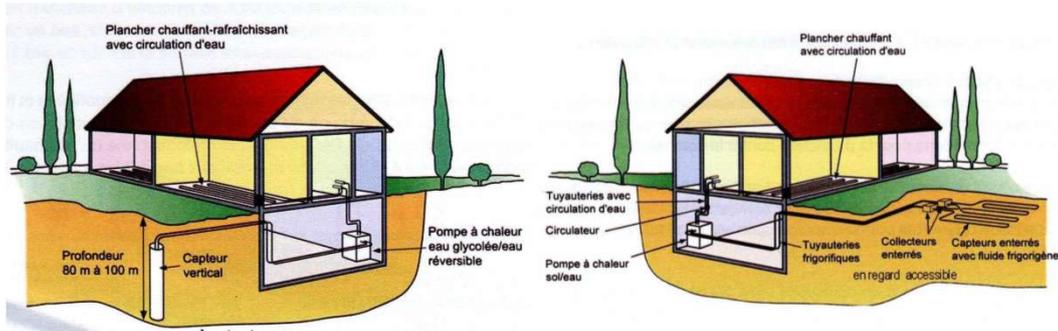
Gestion et suivi des équipements

Production et suivi

Les différents types de pompes à chaleur



PAC EAU/EAU : la source de chaleur et le fluide caloporteur sont de l'eau



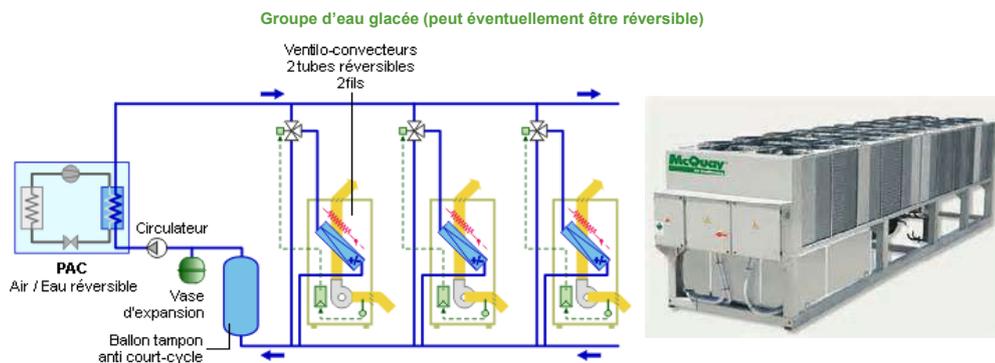
Source: Costic

- Identification des besoins énergétiques
- Chauffage et climatisation
- Production ECS
- Ventilation
- Eclairage
- Autres usages
- Gestion et suivi des équipements
- Production et suivi

Les différents types de pompes à chaleur



PAC AIR/EAU : la source de chaleur est l'air extérieur tandis que le fluide caloporteur est l'eau



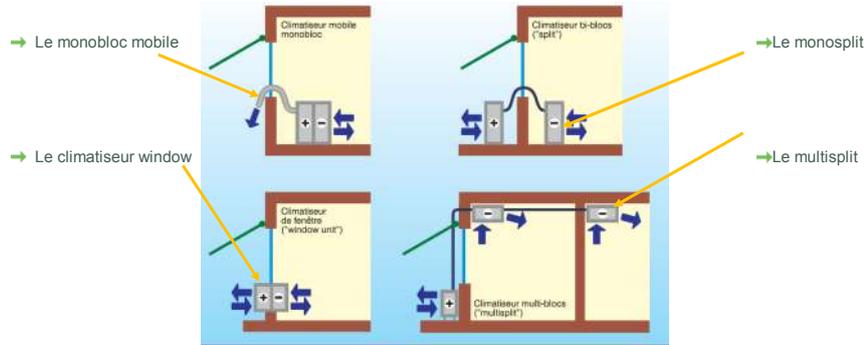
Source : www.energieplus-lesite.be

- Identification des besoins énergétiques
- Chauffage et climatisation
- Production ECS
- Ventilation
- Eclairage
- Autres usages
- Gestion et suivi des équipements
- Production et suivi

Les différents types de pompes à chaleur



PAC AIR/AIR : la source de chaleur et le fluide caloporteur sont l'air.



Source : Traité d'architecture et d'urbanisme bioclimatiques – A. Liébard, A. De Herde - 2004

Identification des besoins énergétiques
 Chauffage et climatisation
 Production ECS
 Ventilation
 Eclairage
 Autres usages
 Gestion et suivi des équipements
 Production et suivi équipements

Les performances minimales règlementaires



Catégorie	Mode de fonctionnement	Climatiseurs split et multi-Split	Climatiseurs monoblocs
Climatiseurs à condensation par air	Refroidissement	EER > 2,8	EER > 2,6
	Chauffage	COP > 3,2	COP > 3,0
Climatiseurs à condensation par eau	Refroidissement	EER > 3,1	EER > 3,8
	Chauffage	COP > 3,2	COP > 3,0

Source : Guide technique pour le chauffage, la ventilation et la climatisation – ADEREE - 2014



Identification des besoins énergétiques
 Chauffage et climatisation
 Production ECS
 Ventilation
 Eclairage
 Autres usages
 Gestion et suivi des équipements
 Production et suivi équipements

Les types d'équipements

Les systèmes à combustion

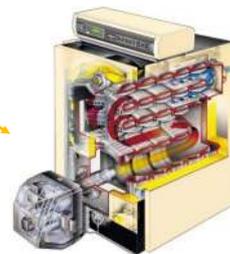
Identification des besoins énergétiques
Chauffage et climatisation
Production ECS
Ventilation
Eclairage
Autres usages
Gestion et suivi des équipements
Production et suivi

Les chaudières

Chaudière avec brûleur atmosphérique

Chaudière à brûleur à air soufflé

Autres combustibles possibles gaz, bois, fioul, charbon



Identification des besoins énergétiques
Chauffage et climatisation
Production ECS
Ventilation
Eclairage
Autres usages
Gestion et suivi des équipements
Production et suivi

169

Chaleur latente et sensible



CHALEUR LATENTE / CHALEUR SENSIBLE

La chaleur latente change l'état physique d'une matière. Par opposition à la chaleur sensible qui modifie la température d'une matière.

PCI/PCS

Le PCI est la quantité totale de chaleur dégagée par la combustion d'un combustible.

Le PCS est égal à la somme du PCI et de la chaleur latente dans la vapeur d'eau produite par la combustion.



Identification des besoins énergétiques

Chauffage et climatisation

Production ECS

Ventilation

Eclairage

Autres usages

Gestion et suivi des équipements

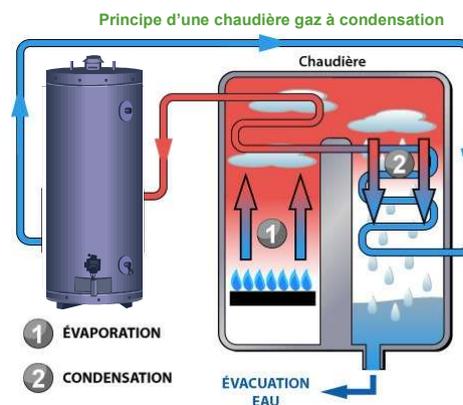
Production et suivi

170

Chaudière gaz à condensation



La chaudière à condensation est une chaudière ayant la particularité de tirer profit de la chaleur latente de la vapeur d'eau contenue dans les gaz d'échappement, en condensant ces vapeurs avant de rejeter l'eau sous forme liquide.



Source: FT média

Identification des besoins énergétiques

Chauffage et climatisation

Production ECS

Ventilation

Eclairage

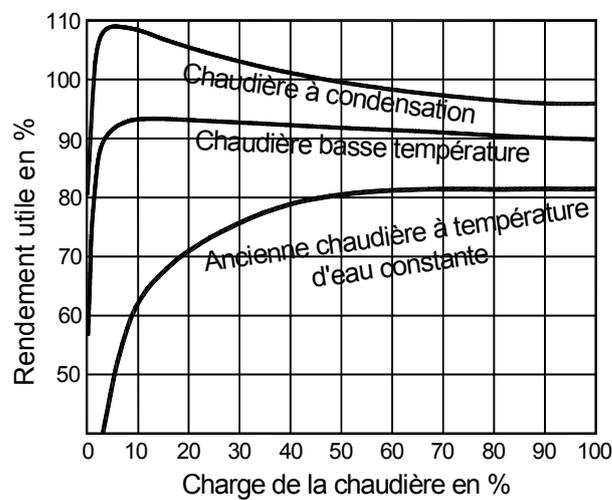
Autres usages

Gestion et suivi des équipements

Production et suivi

171

Les différentes technologies de chaudières



Identification des besoins énergétiques

Chauffage et climatisation

Production ECS

Ventilation

Eclairage

Autres usages

Gestion et suivi des équipements

Production et suivi

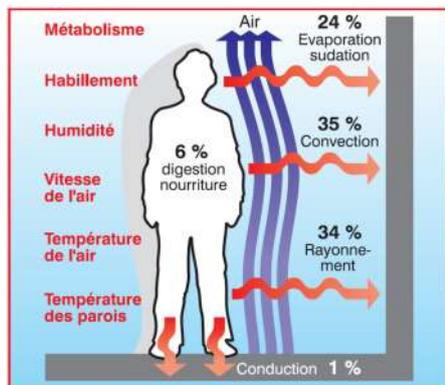
172

Plan de la formation

- I. ANALYSE DU SITE
- II. CONCEPTION BIOCLIMATIQUE DU BÂTIMENT
- III. PRINCIPES DE LA THERMIQUE DU BÂTIMENT
- IV. LA RTCM
- V. IDENTIFICATION DES BESOINS ÉNERGÉTIQUES
- VI. CHAUFFAGE ET CLIMATISATION
- VII. ETUDE DE CAS: MAÎTRISER ET CONTRÔLER LA MISE EN ŒUVRE DU RTCM ET PRISE EN MAIN DES LOGICIELS BINAYATE PRESCRIPTIVE, BINAYATE 3D ET BINAYATE PERFORMANTIELLE

173

Rappels sur le confort



LE CONFORT HYGROTHERMIQUE DÉPEND DE NOMBREUX PARAMÈTRES.

Le corps humain échange en permanence de l'énergie avec son milieu ambiant via divers modes.

Mais il n'y a pas que le confort hygrothermique :

- Acoustique
- Visuel
- Olfactif
- Qualité sanitaire

Source : *Traité d'architecture et d'urbanisme bioclimatique* – A. Liebard A. De Herde - 2005

Identification des besoins énergétiques

Chauffage et climatisation

Production ECS

Ventilation

Eclairage

Autres usages

Gestion et suivi des équipements

Production et suivi

174

CHAUFFAGE ET CLIMATISATION

Objectif de la séquence : savoir dimensionner une installation de chauffage/climatisation en fonction du bâtiment et évaluer sa consommation d'énergie future.

RÉFÉRENCES NORMATIVES :

NM 12831 : Méthode de calcul des déperditions calorifiques de base

NM 15265 : Calcul des besoins d'énergie pour le chauffage et le refroidissement des locaux

NM 832 : Calcul des besoins d'énergie pour le chauffage – Bâtiments résidentiels

Identification des besoins énergétiques

Chauffage et climatisation

Production ECS

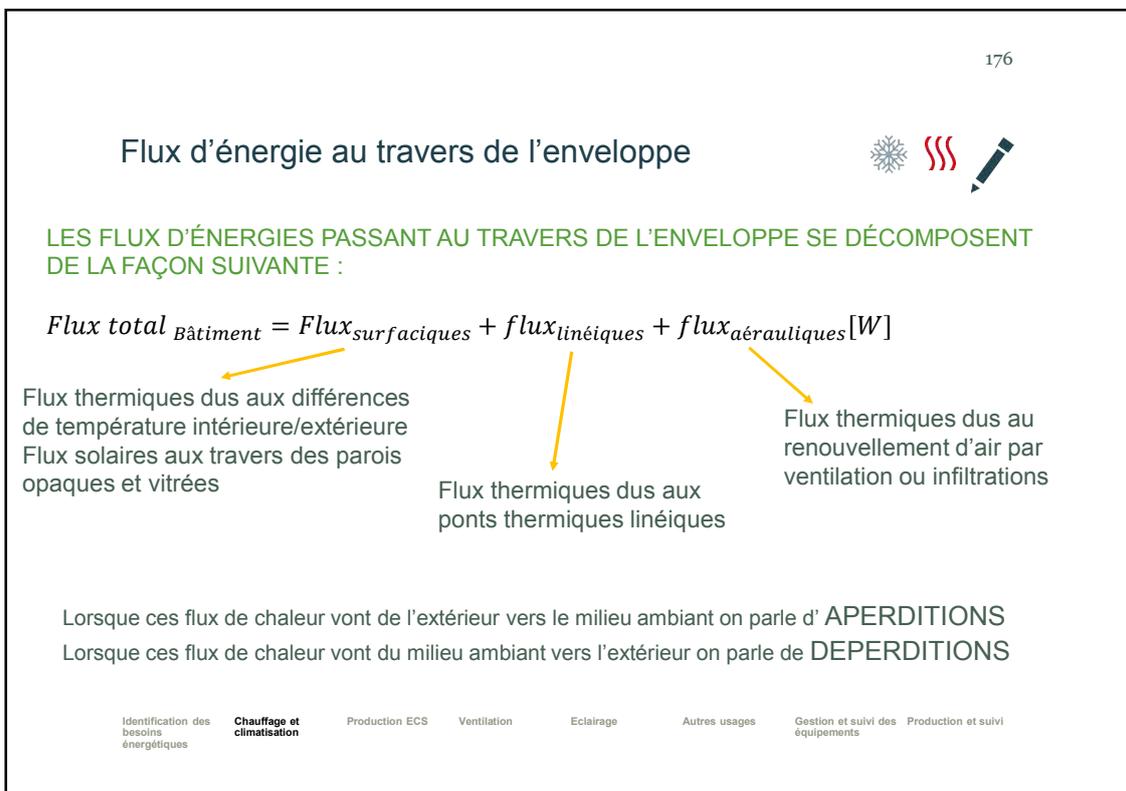
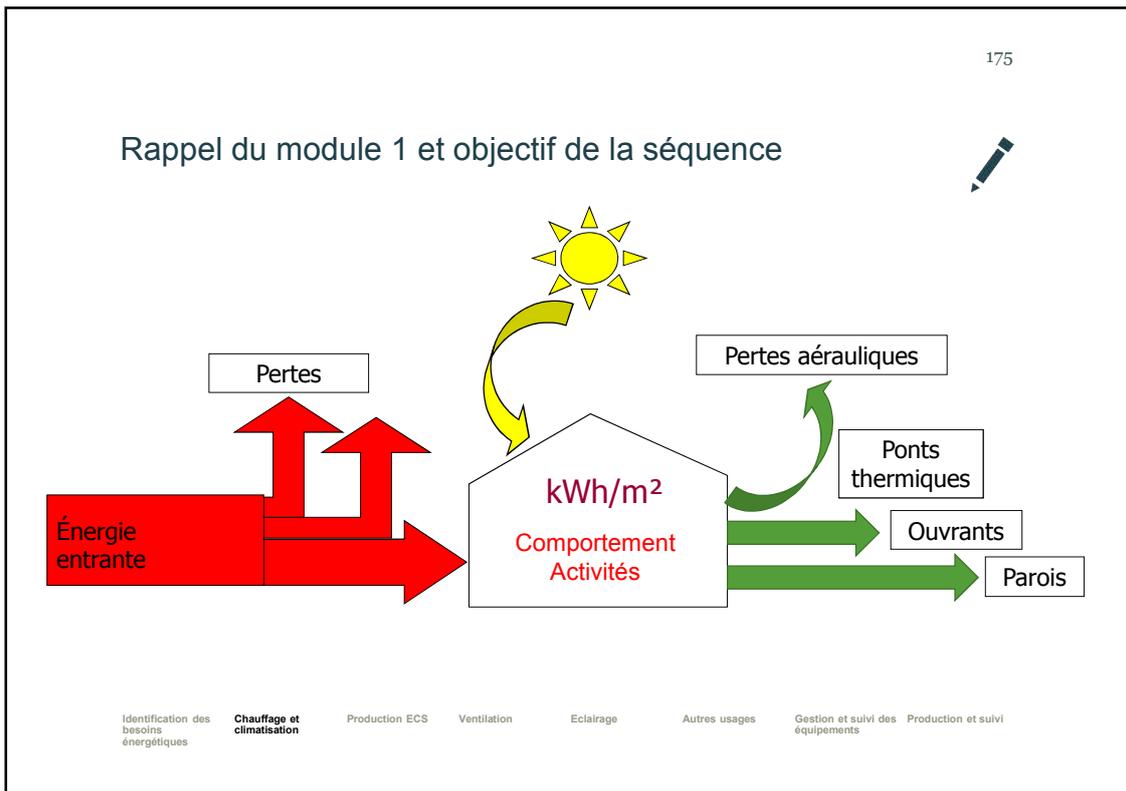
Ventilation

Eclairage

Autres usages

Gestion et suivi des équipements

Production et suivi



177

Calcul des déperditions



LES DÉPERDITIONS SURFACIQUES

Les déperditions surfaciques en Watt correspondent à la somme des déperditions de l'ensemble des surfaces de l'enceinte chauffée/climatisée.

$$\text{Déperditions surfaciques}_{\text{Bâtiment}} = \Sigma (U_{\text{paroi}} \times S_{\text{paroi}} \times b_{\text{paroi}} \times \Delta T) \text{ [W]}$$

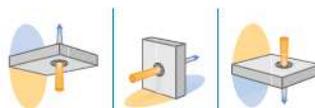
Avec :

U_{paroi} = coefficient de transmission thermique de la paroi en $\text{W/m}^2 \cdot \text{K}$

S_{paroi} = surface de la paroi en m^2

b_{paroi} = coefficient de prise en compte des espaces tampons éventuels

ΔT = l'écart de température entre le volume chauffé et l'extérieur



Source : La thermique du bâtiment - Isover

Identification des besoins énergétiques

Chauffage et climatisation

Production ECS

Ventilation

Eclairage

Autres usages

Gestion et suivi des équipements

Production et suivi

178

Calcul des déperditions



LES DÉPERDITIONS AÉRAULIQUES

Les pertes aérauliques en Watt correspondent à l'ensemble des déperditions dues au renouvellement d'air (ventilation et défauts d'étanchéité à l'air)

$$\text{Déperditions aérauliques}_{\text{Bâtiment}} = 0,34 \times \text{Débit}_{\text{air renouvelé}} \times \Delta T \text{ [W]}$$

Avec :

0,34 correspond à la capacité calorifique de l'air [$\text{Wh/m}^3 \cdot \text{K}$]

$\text{Débit}_{\text{air renouvelé}}$ = s'exprime en [m^3/h]



Source: Les éléments techniques du projet de la réglementation thermique du bâtiment au Maroc - 2011

Identification des besoins énergétiques

Chauffage et climatisation

Production ECS

Ventilation

Eclairage

Autres usages

Gestion et suivi des équipements

Production et suivi

179

Exercice : Calcul des déperditions d'un bâtiment



30 min



En binôme

Correction au fur et à mesure

Identification des
besoins
énergétiques

**Chauffage et
climatisation**

Production ECS

Ventilation

Eclairage

Autres usages

Gestion et suivi des
équipements

Production et suivi

180

Comment, à partir des déperditions, évaluer le besoin énergétique ?

Identification des
besoins
énergétiques

**Chauffage et
climatisation**

Production ECS

Ventilation

Eclairage

Autres usages

Gestion et suivi des
équipements

Production et suivi

181

Les besoins instantanés

LE BESOIN DE CHAUFFAGE S'ÉVALUE À PARTIR DES DÉPERDITIONS :

$$\text{Besoins} = \text{Déperditions}_{\text{thermiques}} \times \Delta T - \text{Apports}_{\text{thermiques}}$$

Pertes surfaciques
Pertes linéiques
Pertes aérauliques

Apports solaires
Chaleur des occupants
Équipements informatiques
Éclairage

LE BESOIN DE CLIMATISATION À PARTIR DES APÉRDITIONS :

$$\text{Besoins} = \text{Aperditions}_{\text{thermiques}} \times \Delta T + \text{Apports}_{\text{thermiques}}$$

Apports surfaciques
Apports linéiques
Apports aérauliques

Besoins instantanés en W

Identification des
besoins
énergétiques

**Chauffage et
climatisation**

Production ECS

Ventilation

Eclairage

Autres usages

Gestion et suivi des
équipements



182

Le besoin annuel

POUR CALCULER LE BESOIN D'ÉNERGIE ANNUEL IL FAUT INTÉGRER :

- Le nombre d'heures où la température extérieure est différente de la température intérieure souhaitée
- Le nombre de Kelvin (ou °C) d'écart entre l'intérieur et l'extérieur

Ce cumul des degrés d'écart de température par rapport à la température souhaitée sur une année : ce sont les degrés-jours (DJ)

Identification des
besoins
énergétiques

**Chauffage et
climatisation**

Production ECS

Ventilation

Eclairage

Autres usages

Gestion et suivi des
équipements



Les degrés-jours



Pour un lieu donné, le degré-jours (DJ) est une valeur représentative de l'écart entre la température d'une journée donnée et un seuil de température préétabli :

- En chauffage : 18 ° C – temp. Ext.
- En climatisation : temp. Ext - 21 °c
- Cumul des produits écarts X jours.

$$DJU = T_{base} - (TMIN + TMAX) / 2$$

exemple non réel				
Text	T int	écart Ti - Te	nb jours concernés	degrés X jours
1	18	17	8	136
2	18	16	10	160
3	18	15	10	150
4	18	14	12	168
5	18	13	12	156
6	18	12	30	360
7	18	11	25	275
8	18	10	15	150
9	18	9	14	126
10	18	8	14	112
11	18	7	10	70
12	18	6	10	60
13	18	5	5	25
14	18	4	5	20
15	18	3	4	12
16	18	2	3	6
17	18	1	2	2
18	18	0	2	0
				2594

Source: Xales

RÉFÉRENCES NORMATIVES :

NM 15927 : Calcul et présentation des données climatiques

Identification des besoins énergétiques
Chauffage et climatisation
Production ECS
Ventilation
Eclairage
Autres usages
Gestion et suivi des équipements
Production et suivi

Exercice : Evaluation du besoin annuel



10 min



En binôme

Identification des besoins énergétiques
Chauffage et climatisation
Production ECS
Ventilation
Eclairage
Autres usages
Gestion et suivi des équipements
Production et suivi

Calcul d'aperditions



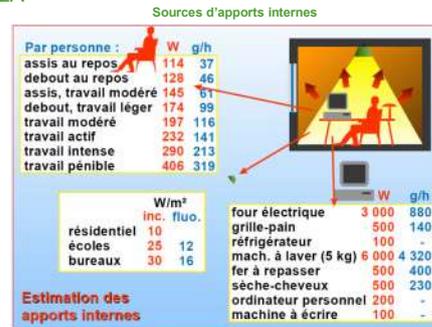
ON CALCULE LES APERDITIONS (EN W/K) DE LA MÊME MANIÈRE QUE LES DÉPERDITIONS...

On somme les aperditions :

- Surfaciques (parois vitrées et opaques)
- Linéiques (ponts thermiques)
- Aérauliques (Renouvellement d'air)

AUXQUELLES S'AJOUTENT LES PUISSANCES INTERNES :

- Eclairage
- Occupation
- Autres charges



Source : Traité d'architecture et d'urbanisme bioclimatique - A. Liebard A. De Herde - 2005

Identification des besoins énergétiques **Chauffage et climatisation** Production ECS Ventilation Eclairage Autres usages Gestion et suivi des équipements Production et suivi équipements

Exercice de choix d'un équipement



20 min



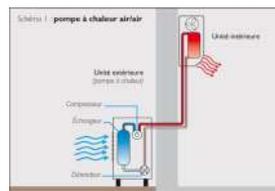
En binôme

Identification des besoins énergétiques **Chauffage et climatisation** Production ECS Ventilation Eclairage Autres usages Gestion et suivi des équipements Production et suivi équipements

A présent que l'on sait quel système installer, encore faut-il l'installer correctement.

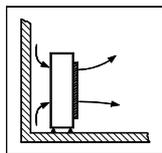
La pose d'une pompe à chaleur

PAC AIR/AIR : Mise en place d'une PAC pour le rafraîchissement et chauffage (Mono-split, multi-split)

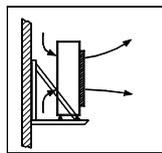


Source : Agence qualité construction

Pose unité extérieure



Posée au sol



Fixée sur un mur

Pose unité intérieure

- Allège ou console: suspendue ou murale
- Plafonnier: plafond ou mural
- Plafonnier encastrable: cassette ou gainables
- Murale: au-dessus d'une porte ou cloison verticale

189

La pose d'une pompe à chaleur

IMPLANTATION DE L'UNITÉ EXTÉRIEURE :

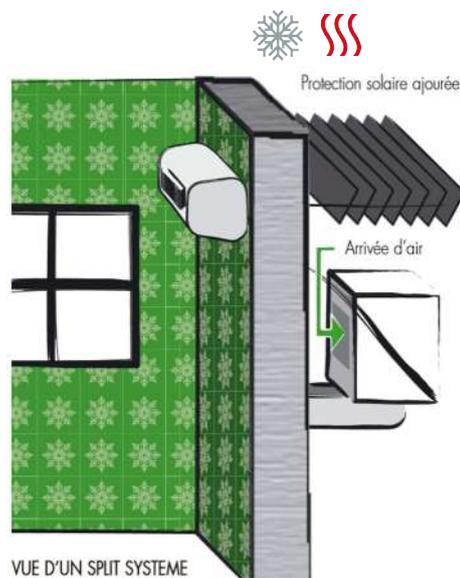
- L'unité extérieure devra être placée dans un endroit ventilé, protégée de l'ensoleillement et facilement accessible
- L'entrée d'air des splits-systèmes devra être dégagée d'au moins 20 cm devant les faces d'aspiration (notamment si elle se situe en face arrière de l'unité) et idéalement 50 cm
- Attention à ne pas laisser d'obstacles au refoulement de chaleur

LOCALISATIONS EXCLUES :

comble non ventilé ou très peu ventilé, sous sol, vide sanitaire, imposte d'une porte d'entrée...

Source : guide Opticlim- ADEME - 2010

Identification des besoins énergétiques **Chauffage et climatisation** Production ECS Ventilation Eclairage



Autres usages Gestion et suivi des équipements Production et suivi

190

La pose d'une pompe à chaleur

L'IMPLANTATION DE L'UNITÉ INTÉRIEURE :

En partie haute d'un mur (la face supérieure doit être située à plus de 30 cm du plafond pour permettre un fonctionnement correct et éviter les traînées noirâtres).

- Si le plafond comporte des obstacles (poutres, luminaires...), l'appareil doit être situé suffisamment bas pour que ces obstacles n'entravent pas le jet de soufflage.
- Le jet d'air doit être orienté dans la plus grande dimension du local de manière à assurer un bon balayage.

Source : guide Opticlim- ADEME - 2010

Identification des besoins énergétiques **Chauffage et climatisation** Production ECS Ventilation Eclairage



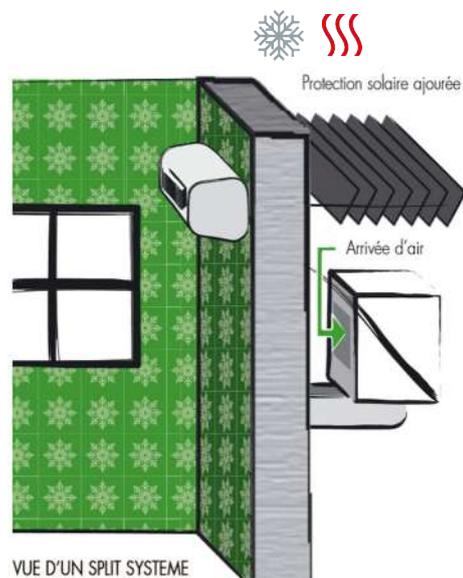
Autres usages Gestion et suivi des équipements Production et suivi

191

La pose d'une pompe à chaleur

L'IMPLANTATION DE L'UNITÉ INTÉRIEURE :

- En allège : le jet d'air doit être orienté suivant un angle de 15 à 20° par rapport à l'horizontal.
- L'installateur tiendra compte de l'emplacement supposé des occupants, afin d'éviter le soufflage de l'air frais sur les zones où ce jet créerait une impression désagréable (derrière la nuque par exemple).



Source : guide Opticlim- ADEME - 2010

Identification des besoins énergétiques

Chauffage et climatisation

Production ECS

Ventilation

Eclairage

Autres usages

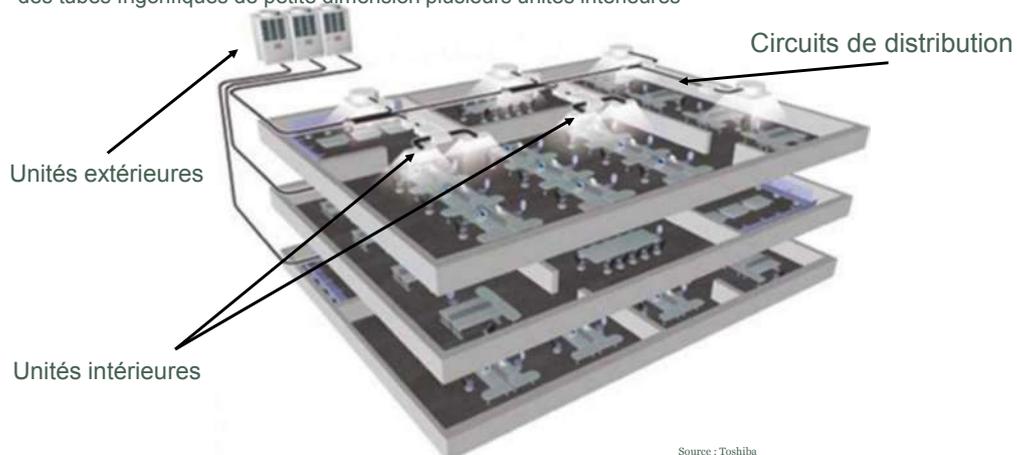
Gestion et suivi des équipements

Production et suivi

192

PAC air/air : DRV 2/3 tubes

C'est un système à détente directe qui à partir d'une seule unité extérieure (groupe compresseur) alimente par des tubes frigorifiques de petite dimension plusieurs unités intérieures



Source : Toshiba

Identification des besoins énergétiques

Chauffage et climatisation

Production ECS

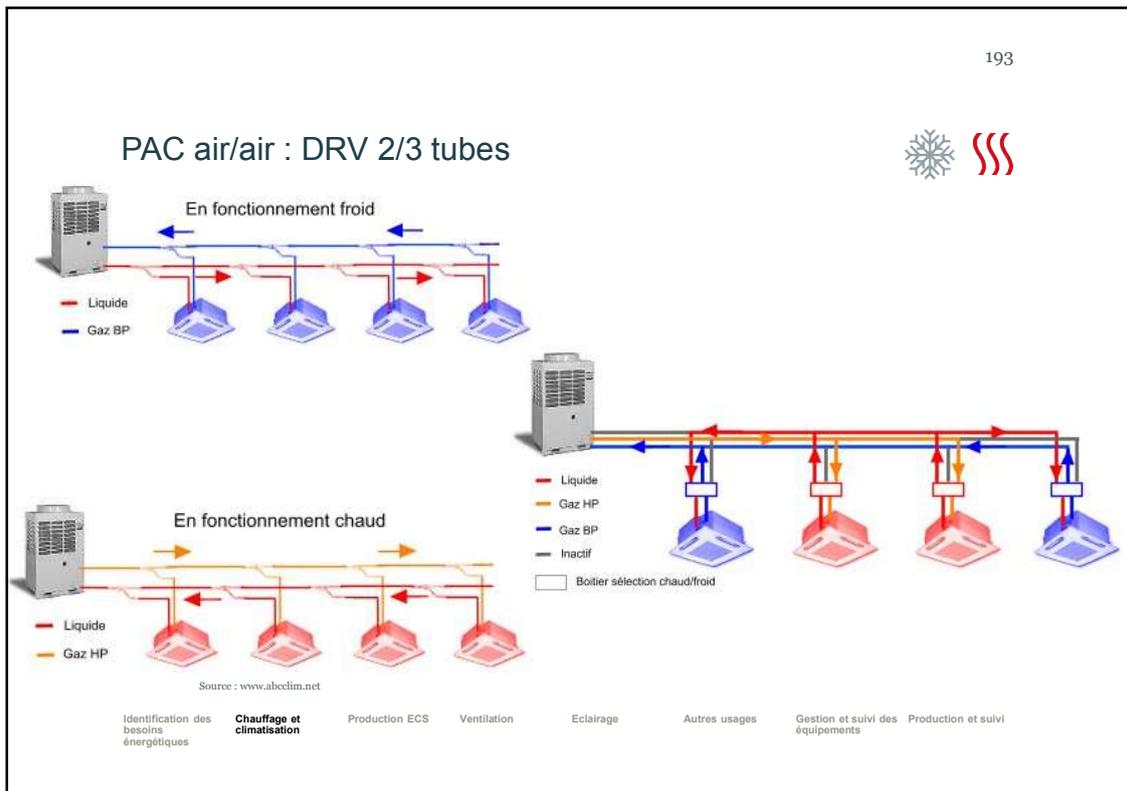
Ventilation

Eclairage

Autres usages

Gestion et suivi des équipements

Production et suivi



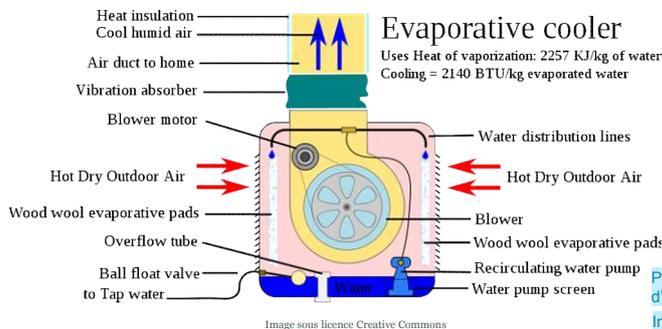
Les solutions passives et semi-passives de rafraichissement

Identification des besoins énergétiques **Chauffage et climatisation** Production ECS Ventilation Eclairage Autres usages Gestion et suivi des équipements Production et suivi équipements

Solutions de rafraichissement



LE DESERT-COOLER : aussi nommé « refroidisseur adiabatique » ou « swamp cooler » ce sont des système de rafraichissement dit adiabatique. Le principe est le suivant : l'air chaud et sec qui passe à travers un échangeur humide se rafraichit.



Aolan (Fujian) Industry Co., Ltd

Puissance limitée et dépendant du taux d'humidité de l'air entrant
 Installation en façade



Peu énergivore
 Peu couteux

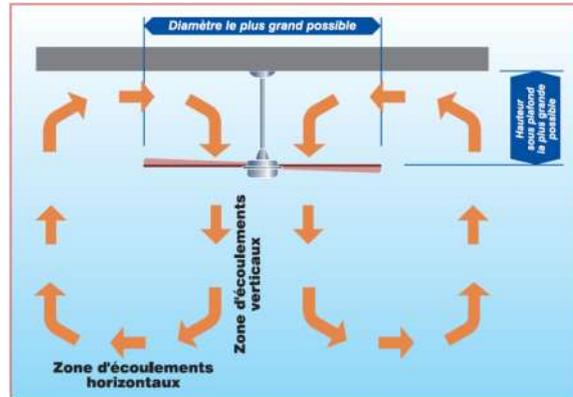


Identification des besoins énergétiques **Chauffage et climatisation** Production ECS Ventilation Eclairage Autres usages Gestion et suivi des équipements Production et suivi équipements

Solutions de rafraichissement



Le brasseur d'air :



$$V_{1m/s} \Rightarrow T_{ressentie} = T_{ambiante} - 4^{\circ}C$$

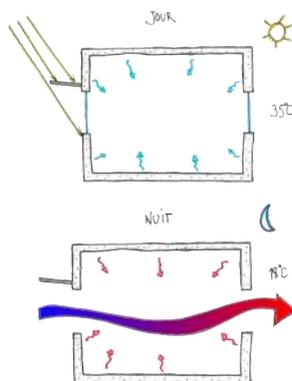
Source : Traité d'architecture et d'urbanisme bioclimatiques – A. Liéhard, A. De Herde - 2004

Identification des besoins énergétiques **Chauffage et climatisation** Production ECS Ventilation Eclairage Autres usages Gestion et suivi des équipements Production et suivi équipements

Solution de rafraichissement



LE FREE COOLING



Source : Emenda

Efficacité dans des bâtiments à Forte inertie

→ Pas de moquette mais du carrelage



→ Pas de cloisons légères mais des cloisons lourdes



→ Pas de faux plafond

→ Isolation par l'extérieur

Source : Xales

Identification des besoins énergétiques **Chauffage et climatisation** Production ECS Ventilation Eclairage Autres usages Gestion et suivi des équipements Production et suivi équipements

Exercice : rafraichissement.

La climatisation passive vs la climatisation active



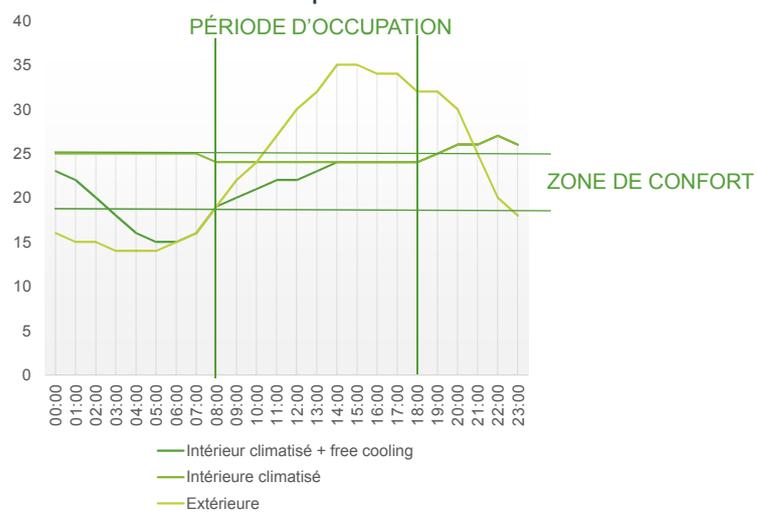
20 min



Individuellement

Identification des besoins énergétiques **Chauffage et climatisation** Production ECS Ventilation Eclairage Autres usages Gestion et suivi des équipements Production et suivi équipements

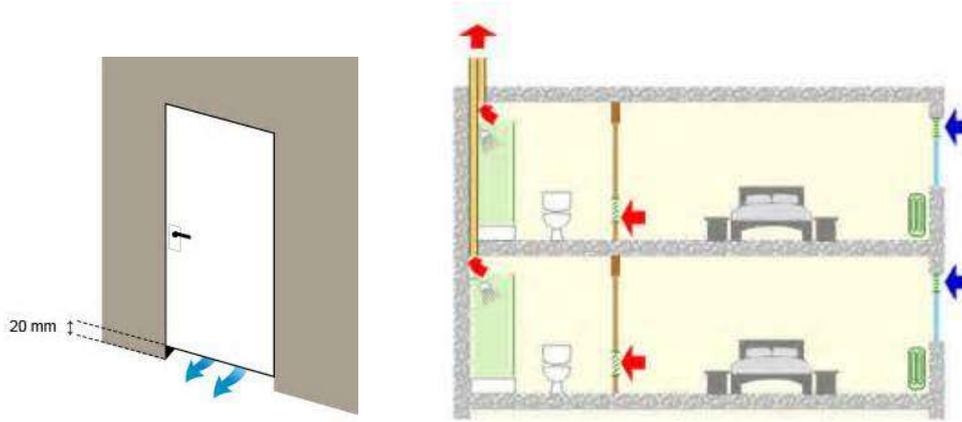
Exercice : évolution de la température



Identification des besoins énergétiques **Chauffage et climatisation** Production ECS Ventilation Eclairage Autres usages Gestion et suivi des équipements Production et suivi équipements

201

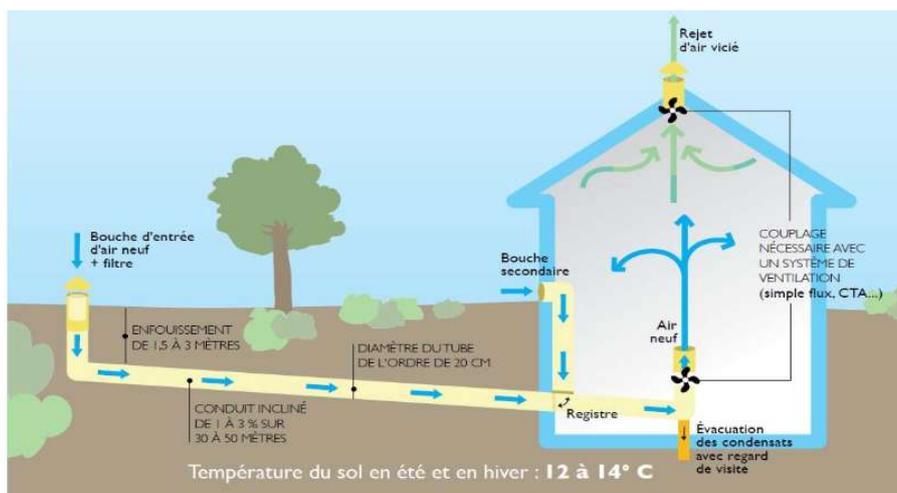
Exercice : cheminement de l'air intérieur



Identification des besoins énergétiques
 Chauffage et climatisation
 Production ECS
 Ventilation
 Eclairage
 Autres usages
 Gestion et suivi des équipements
 Production et suivi équipements

202

Puit climatique



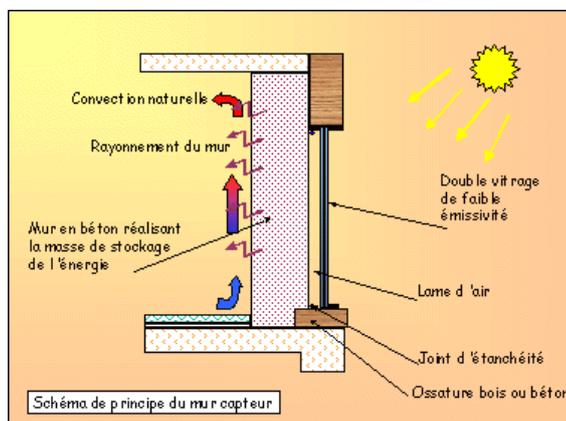
Source : ADEME

Identification des besoins énergétiques
 Chauffage et climatisation
 Production ECS
 Ventilation
 Eclairage
 Autres usages
 Gestion et suivi des équipements
 Production et suivi équipements

203

Les murs capteurs

- Transmission de la chaleur avec un déphasage fonction de l'épaisseur du mur
- Valorisation des apports directs, s'il est associé à un vitrage simple (mur capteur en allège et vitrage au-dessus)



Source : ADEME

Identification des besoins énergétiques

Chauffage et climatisation

Production ECS

Ventilation

Eclairage

Autres usages

Gestion et suivi des équipements

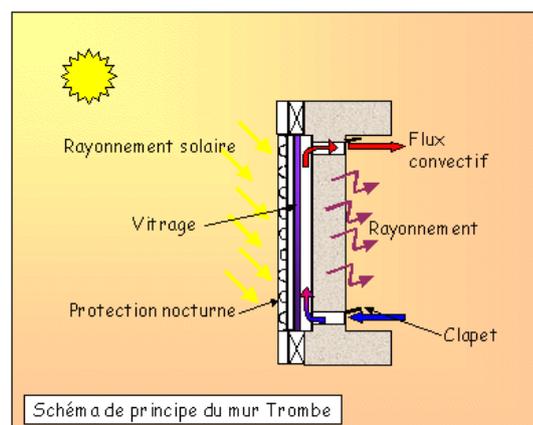
Production et suivi

équipements

204

Les murs trombes

- Transmission directe : environ un tiers de l'énergie totalement restituée, restitution du reste de l'énergie déphasée
- Pas de fabricants de systèmes : les ouvertures doivent être faites sur mesure par le menuisier sur chaque chantier.



Source : ADEME

Identification des besoins énergétiques

Chauffage et climatisation

Production ECS

Ventilation

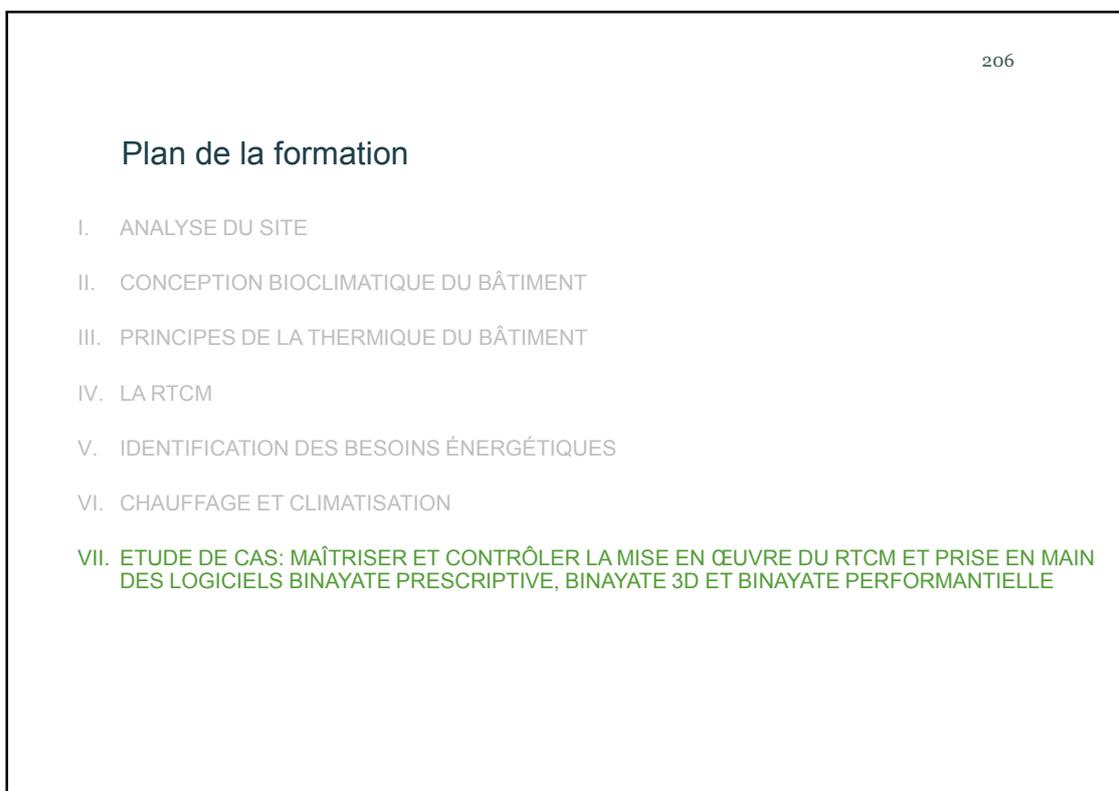
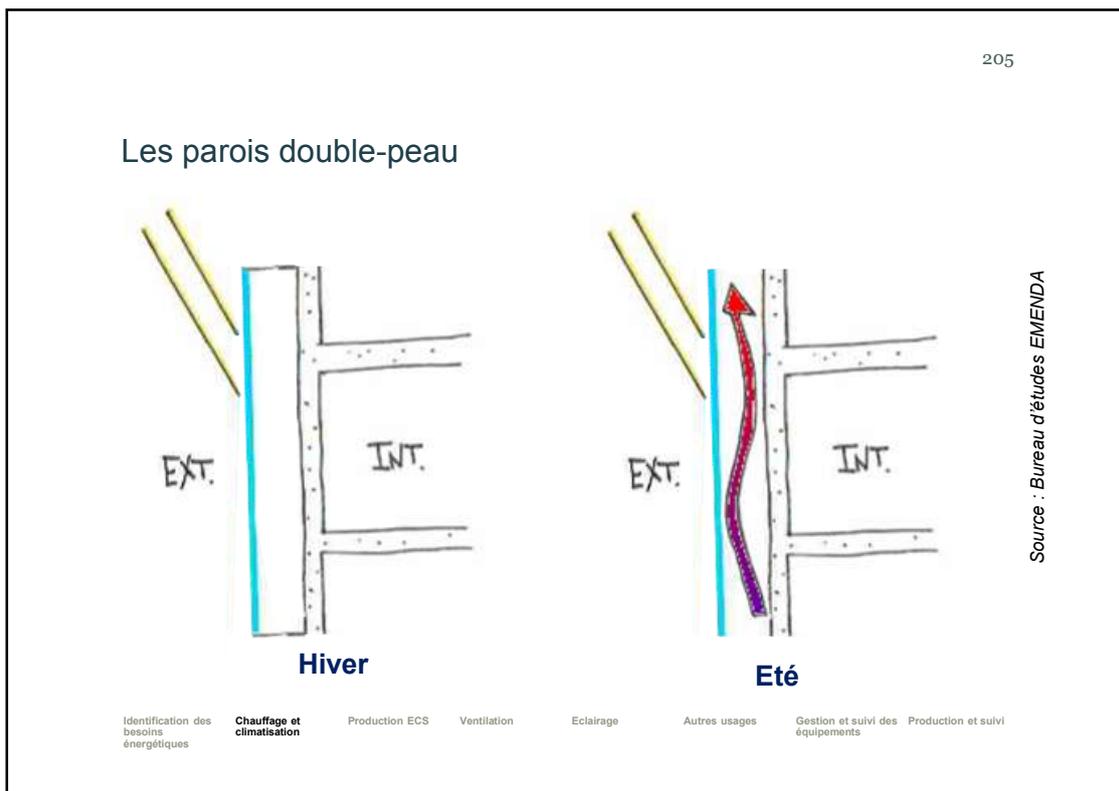
Eclairage

Autres usages

Gestion et suivi des équipements

Production et suivi

équipements



207

FORMATION PRATIQUE SIMULATION ENERGETIQUE DE BATIMENT

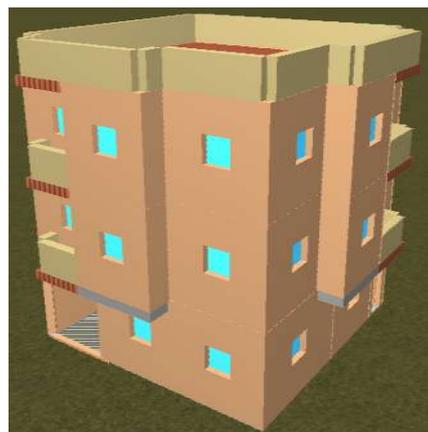
(Utilisation de l'outil de simulation BINAYATE PRESCRIPTIVE, BINAYATE 3D et BINAYATE Performantielle)

ETUDE DE CAS

Bâtiment résidentiel à Casablanca

Objectif : par la modélisation énergétique via les logiciels BINAYATE PRESCRIPTIVE, BINAYATE 3D et BINAYATE Performantielle rendre un bâtiment conforme au RTCM.

Cas d'étude : maison illustrée par la Figure 1. La maison de trois niveaux (RDC + 2 Etages) située à Casablanca doit être modélisée avec les spécifications détaillées ci-dessous



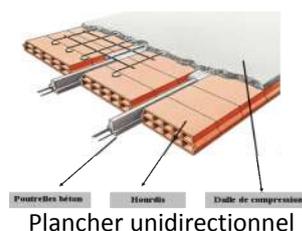
208

Caractéristiques d'une maison à Casablanca :

Enveloppe :

1. Construction toit :

Etanchéité (0.5 cm), Mortier de pose (3 cm), Plancher unidirectionnel [Béton armé (4 cm) + Corps creux (hourdis) (16 cm)], Enduit (2 cm)



2. Construction mur extérieur

Enduit ciment (2.5 cm), Brique 8 trous (10 cm), Air (7 cm), Brique 6 trous (7 cm), Enduit (2.0 cm)

3. Construction mur mitoyen (murs sans fenêtres)

Idem mur extérieur

4. Construction mur intérieur :

Enduit (2cm), Brique 8 trous (10 cm), Enduit (2 cm)

5. Construction du plancher sur sol

Carlage (1 cm), enduit (2 cm), béton + hourdis (20 cm) et gravier et sable (20 cm)

6. Baies

Porte Garage : Acier 2.8m*2m,, Porte d'entrée principale : Acier 1m*2m, Porte intérieure : Bois 0.7m*2m, Fenêtre : simples vitrages, 1.6m*1m,

209

Système de CVC :

Système de Chauffage et Climatisation	Type CVC Multisplit	Pompe à chaleur RAC (COP=2.6) et (EER=3)
	Température de Consigne de Chauffage	20 °C
	Température de Consigne de Refroidissement	26 °C

210

Questions :

- (a) En utilisant Binayate prescriptive vérifier la conformité de cette maison au RTCM.
 - (b) En utilisant l'Assistant Binayate 3D et Binayate Performantielle, modéliser et déterminer les besoins thermiques de ce bâtiment (besoin en chauffage et besoin en climatisation).
 - (c) A partir du rapport des calculs des besoins thermiques du bâtiment généré par Binayate performantielle, donner les apports internes de ce bâtiment.
 - (d) Si votre bâtiments n'est pas conforme aux exigences du RTCM, Etudier l'impact des améliorations que vous allez proposer jusqu'à ce qu'il soit conforme. Pour cela on peut jouer sur l'orientation, performances des baies vitrées, couleur des parois extérieures, isolation de la toiture, des murs extérieurs et du plancher, ...
- (a) Refaire (a), (b), (c) et (d) si la maison se trouve à Tanger, Marrakech et Fès.



Realisé par :
giz
Beratende Gesellschaft
für Internationale
Zusammenarbeit (giz) GmbH



Merci de votre attention !

ahachad_med@yahoo.fr

Formation organisée par :

