



LES INDICATEURS DE L'ARCHITECTURE BIOCLIMATIQUE

Jean-Louis IZARD
Dorothee VLEMINCX
Laboratoire ABC, ENSA-Marseille

Les indicateurs de l'architecture bioclimatique

Jean-Louis IZARD
Dorothee VLEMINCX
Laboratoire ABC, ENSA-Marseille

L'**architecture bioclimatique** se reconnaît en général à des attributs visibles ou à des caractéristiques données à sa structure. Citons-les:

Pour l'hiver:

- **Surdimensionnement de l'ouverture SUD** pour capter le rayonnement solaire d'hiver ;
- **Isolation thermique de l'enveloppe**, le plus souvent par l'extérieur ;
- **Inertie thermique par absorption** de la structure interne par emploi de matériaux effusifs (maçonnerie, terre cuite, terre crue...) ;
- Positionnement des pièces de manière à favoriser les **pièces habitables au Sud** et des « espaces-tampons » au Nord.

Pour l'été:

- **Protection solaire des ouvertures** et de l'enveloppe par systèmes fixes (masques architecturaux) ou mobiles (fermetures, écrans à lames orientables) ;
- **Inertie thermique de transmission** de l'enveloppe (isolation thermique par l'extérieur, bardages bois) ;
- **Inertie thermique par absorption** de la structure interne par emploi de matériaux effusifs (maçonnerie, terre cuite, terre crue...) ;
- **Ventilation nocturne** favorisée par la disposition d'ouvertures en façades opposées.

Soit un certain nombre de grandeurs différentes qui interagissent et que le maître d'oeuvre doit savoir dimensionner correctement en phase de conception du projet.

Pour aider les architectes et les bureaux d'études à mieux comprendre les enjeux de l'architecture climatique sans entrer dans une trop grande complexité technique, Pierre Lavigne a proposé l'utilisation d'indicateurs qu'il considère aussi comme des outils d'aide à la conception. Ces indicateurs se répartissent en deux groupes : les **indicateurs d'état** du bâtiment (essentiellement le **coefficient de forme** et les **perméabilités**) et les **indicateurs de performance** du bâtiment (**Supplément de température moyenne intérieure** et **Rapport d'amplitudes**).

Cela commence par une analyse des sollicitations thermiques qui s'exercent sur un bâtiment.

1 - Les sollicitations du bâtiment dans les zones à climat tempéré

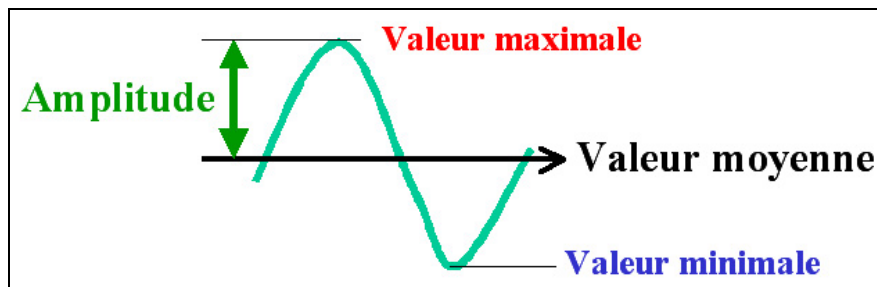
Tout bâtiment est soumis à deux types de sollicitations:

- Le **climat extérieur**, matérialisé principalement par la température extérieure, qui fluctue, et le rayonnement solaire, par essence intermittent
- Les **apports internes** de chaleur dues à l'occupation du bâtiment, eux aussi le plus souvent intermittents.

En absence de système artificiel pour maintenir la température du bâtiment supérieure ou inférieure à une valeur de seuil (chauffage ou climatisation), la {{réponse thermique}} se traduit pendant une période donnée par une température intérieure **Ti** définie :

- par sa valeur moyenne, **T_{imoy}**
- par son amplitude d'oscillation, **Ai**.

Ces deux grandeurs sont bien représentatives à chaque instant du profil thermique intérieur d'un bâtiment. Voyons ce qui les définit.



Modélisation simplifiée du régime de la température intérieure d'un bâtiment.

2 - le principe de superposition : indicateurs de réponse du bâtiment

Le principe de superposition établit que les sollicitations et la réponse du bâtiment peuvent être la somme :

- de sollicitations moyennes en {régime permanent} provoquant une réponse moyenne de régime permanent défini par une température moyenne **T_{imoy}**.
- de sollicitations dynamiques périodiques provoquant une réponse définie par l'oscillation de température intérieure d'amplitude **A_i**.

La température intérieure moyenne, **T_{imoy}**, est le résultat d'un équilibre en régime permanent entre les flux thermiques moyens, tel que la somme des flux "entrants" et des flux "sortants" soit nulle. Cela explique que le plus souvent, la valeur de **T_{imoy}** est supérieure à celle de **T_{emoy}**, la température moyenne extérieure pendant la même période.

En définitive, la température intérieure moyenne **T_{imoy}** peut être exprimée de la manière suivante:

$$\mathbf{T_{imoy} = T_{emoy} + \text{Supplément de température moyenne}}$$

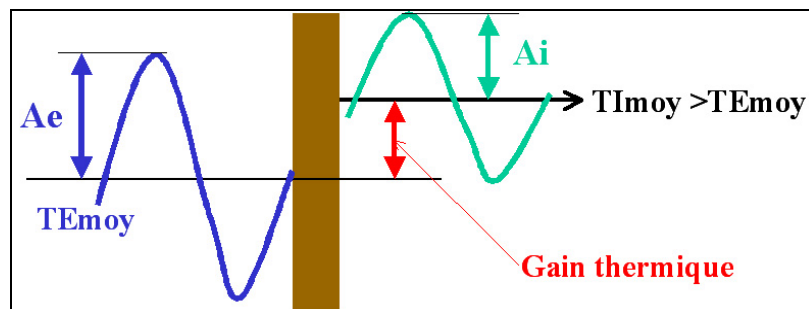


Schéma des oscillations extérieures et intérieures

Ce **Supplément de température moyenne**, appelé aussi parfois « **Gain thermique** » dépend des flux entrants et sortants:

- il est **positif** lorsque les flux entrants l'emportent ;
- il peut être **négatif** lorsque les flux sortants sont prédominants. Nous tenons-là un paramètre capital pour maîtriser à la fois l'énergie et le confort thermique à la conception: **agir sur les flux qui commandent le Supplément de température moyenne intérieure.**

Le **Supplément de température moyenne STimoy** constitue le **premier indicateur de performance** d'un bâtiment bioclimatique pour les périodes de non-chauffage.

Lorsque le chauffage est en fonctionnement, l'indicateur de performance est d'ordre énergétique: c'est la consommation énergétique annuelle ramenée au mètre carré habitable (kWh/m²).

Le Supplément de température moyenne **STimoy** peut s'exprimer sous la forme:

Pour l'été :

$$\mathbf{STimoy = (Pi + Pc - Pspr) / (Umoy*SE + 0,34q)}$$

Où:

- **Pi** = Puissance moyenne des apports internes (W)
- **Pc** = Puissance moyenne de captage solaire par l'ensemble des parois d'enveloppe (W)
- **Pspr** = Puissance des systèmes passifs de refroidissement
- **Umoy*SE** = Conductance moyenne multipliée par la Surface totale de l'enveloppe (W/°C)
- **0,34q** = échanges dus au débit d'air **q** de ventilation (W/°C)

Pour l'hiver :

$$\mathbf{STimoy = (Pi + Pc) / (Umoy*SE + 0,34q)}$$

Les facteurs sont les mêmes, mais Pspr, Puissance des systèmes passifs de refroidissement, disparaît logiquement.

3 - Les flux thermiques et les indicateurs d'état du bâtiment

A l'exception des flux provoqués par l'occupation, tous les flux thermiques entrants et sortants sont attribuables à une transmission à travers l'enveloppe du bâtiment.

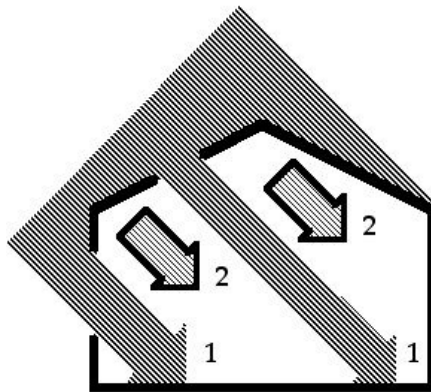
Cette transmission est elle-même due à des {{perméabilités}} aux différents types de flux:

- La **perméabilité à l'air**, bien connue sous ce nom-là.
- La **perméabilité à la chaleur**, plus connue sous le nom de "conductance" de l'enveloppe.
- La **perméabilité au soleil**, quantité de chaleur captée sous l'effet du rayonnement solaire par l'ensemble de l'enveloppe.

Ces trois perméabilités constituent des indicateurs liés à l'état du bâtiment porteurs d'explications d'une performance connue ou annonciateurs d'une performance future.

Les trois perméabilités

- La **perméabilité à l'air** est en général très faible en hiver du fait des progrès effectués par les menuiseries en matière d'étanchéité. En revanche, en été, l'ouverture des fenêtres accroît la perméabilité à l'air et crée un flux sortant si la ventilation intervient alors que $T_i > T_e$ (cas de la ventilation nocturne). Si au contraire $T_e > T_i$, on aura un flux thermique entrant.
- La **perméabilité à la chaleur** est un indicateur important à partir du moment où s'instaure un gradient thermique durable entre les deux faces des parois d'enveloppe car, rappelons-le, nous nous situons ici en **régime permanent**. En hiver, cette perméabilité crée un flux thermique sortant et en période caniculaire d'été, un flux thermique entrant. En période intermédiaire, l'influence de la perméabilité à la chaleur reste négligeable. Cette grandeur repose sur la conductance des parois d'enveloppe et dépend donc du degré d'isolation thermique de celle-ci, mais aussi sur le rapport Surface d'enveloppe/Volume (Coefficient de forme).
- La **perméabilité au soleil** ne joue que les jours ensoleillés et provoque toujours un flux de chaleur entrant. Elle résulte des transmissions solaires directes à travers les vitrages, mais aussi des transmissions indirectes à travers les parois opaques de l'enveloppe même lorsque celles-ci sont isolées. Malgré le caractère intermittent des apports solaires, ces flux sont traités en **régime permanent** en moyennant les puissances du rayonnement solaire incident absorbées sur 24 heures. Cette grandeur dépend de facteurs de natures très différentes: l'exposition, les ombres portées par l'environnement, la couleur externe, la conductance thermique de la paroi exposée, la nature des vitrages, le coefficient de menuiserie...etc. (voir plus loin en annexe 1).



*Fig. 1 : Perméabilité solaire :
1 = apports par vitrages ; 2 = Apports par parois opaques*

L'amplitude d'oscillation A_i .

La température intérieure d'un bâtiment oscille autour de sa valeur moyenne, que nous connaissons maintenant, avec une amplitude égale à A_i . La valeur de cette amplitude dépend étroitement de l'inertie thermique du bâtiment, avec une tendance lourde; plus cette inertie est forte, plus l'amplitude A_i est faible.

Rappelons qu'il existe deux types d'inertie thermique:

- **L'inertie de transmission** qui s'oppose aux variations de températures extérieures et aux effets thermiques de l'énergie solaire absorbée en face externe des parois d'enveloppe. Elle concerne donc les parois d'enveloppe.
- **L'inertie par absorption** qui s'oppose aux variations thermiques intérieures dues aux sources intermittentes de chaleur interne: apports par l'occupant ou effets des pénétrations solaires directes. Elle réside principalement dans les parois internes (planchers, cloisons) et la surface d'échange avec l'air intérieur constitue un paramètre important.

L'amplitude de température extérieure A_e servant de référence (l'amplitude est très liée à l'humidité de l'air et à l'ensoleillement), on traduit la performance "variation de température" d'un bâtiment en utilisant le rapport A_i/A_e . La valeur de ce rapport est en général de l'ordre de 0,2 à 0,3 pour un bâtiment d'inertie moyenne.

Le rapport d'amplitudes A_i/A_e constitue le **deuxième indicateur de performance** d'un bâtiment pour les périodes de non-chauffage, particulièrement en saison d'été. Sa valeur varie en général entre 0,1 (bâtiments très inertes et sans pénétration solaire) et 1 ou plus (bâtiments qualifiés « d'amplificateurs » lorsqu'ils sont très vitrés et que leur perméabilité solaire est très forte et/ou qu'ils possèdent une faible inertie thermique).

4 - Conclusion

Le profil de la température intérieure d'un bâtiment peut être modélisé à l'aide de trois grandeurs:

- la température moyenne **Timoy** toujours égale à la température extérieure moyenne **Temoy**,

à laquelle s'ajoute

- le supplément de température moyenne **STimoy**,

formant un total autour duquel s'exerce

- l'amplitude de l'oscillation de température intérieure **Ai**.

Selon les objectifs des concepteurs, il faudra donc agir sur ces trois grandeurs:

- Sur la température moyenne **Timoy**, en choisissant les sites les plus favorables ou en mettant en oeuvre les conditions permettant d'améliorer le **microclimat** ambiant, notamment dans la ville.

- Sur le supplément de température moyenne **STimoy**, en dimensionnant les surfaces de vitrage susceptibles de transmettre le rayonnement solaire selon les besoins de la saison (exposition Sud des ouvertures en hiver, protection solaire efficace en été), en isolant les parois d'enveloppe, en choisissant une forme de bâtiment réduisant le coefficient de forme, en ventilant en été pendant les heures fraîches de la nuit (où $T_e < T_i$), en utilisant enfin des systèmes passifs de chauffage ou de refroidissement.

- Sur l'amplitude de l'oscillation de température intérieure **Ai** en faisant appel à l'inertie de transmission et à l'inertie par absorption par la mise en oeuvre de **matériaux effusifs** et une bonne répartition dans l'espace des parois internes rendues ainsi "absorbantes".

Cet ensemble de décisions conduit à la conception d'une architecture bioclimatique. Les indicateurs pouvant aider le concepteur sont au nombre de 6:

- Trois pour l'état du bâtiment: la perméabilité à l'air, la perméabilité thermique et la perméabilité solaire.
- Trois pour la performance: la consommation de chauffage annuelle au mètre carré habitable, le supplément de température moyenne **STimoy** et le rapport d'amplitudes de l'oscillation de la température intérieure à celle de l'extérieur, **Ai/Ae** pour les périodes de non-chauffage.

Ces indicateurs sont étroitement liés au bâtiment que l'on conçoit ou que l'on expérimente: ils permettent donc de comparer les performances bioclimatiques de bâtiments différents placés dans des conditions climatiques similaires. Les "fiches de retour d'expérience" ont pour objectif de les illustrer.

5 – Bibliographie

Il existe peu d'ouvrages sur le sujet des indicateurs de l'architecture bioclimatique. Citons le principal et le plus complet :

Pierre LAVIGNE en collaboration avec Paul BREJON et Pierre FERNANDEZ, « *Architecture climatique, une contribution au développement durable* », tome 1 : Bases physiques ; EDISUD.

Ouvrage très détaillé sur la question de l'inertie thermique du bâtiment. Le principe de superposition y est présenté.

Pierre LAVIGNE a également signé un article intitulé «*Une aide à l' architecture climatique : des indicateurs, expression des aptitudes naturelles au confort thermique et de concepts nécessaires à la conception* ».

Article justifiant et présentant les indicateurs complémentaires du principe de superposition, avec les perméabilités.

CORRIGE DU TEST D'ENTREE

Q1: *Le niveau moyen de la température intérieure d'un bâtiment en été sans climatisation dépend exclusivement des échanges en régime permanent: **VRAI (A)***

En effet, en vertu du principe de superposition, la température intérieure moyenne sur une période donnée est égale à la température moyenne extérieure de la période, additionnée du "supplément de température moyenne" qui dépend du bilan net des flux entrants et sortants en régime permanent.

Q2: *En absence de chauffage ou de clim, l'inertie thermique n'a d'influence que sur l'amplitude diurne de la température intérieure: **VRAI (A)**.*

Application du principe de superposition: pour un bilan de flux donné, la température intérieure oscille autour de sa valeur moyenne en fonction de l'inertie thermique de l'enveloppe et des parois internes du bâtiment. L'inertie thermique n'a aucune influence sur le niveau de la température moyenne intérieure.

Q3: *En absence de climatisation en été, la ventilation nocturne et l'augmentation de la "perméabilité solaire" ont des effets similaires sur l'amplitude de la température intérieure: **VRAI (A)**.*

La ventilation nocturne réduit la température intérieure minimale et les flux solaires entrants par des baies plus grandes (un des moyens d'augmenter la perméabilité solaire du bâtiment) font remonter la température intérieure maximale, deux effets qui accroissent l'amplitude de l'oscillation de la température intérieure journalière.

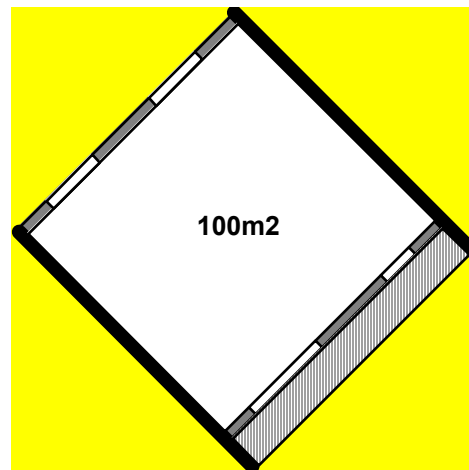
ANNEXE 1

La perméabilité solaire des logements: rôles respectifs des différentes parois d'enveloppe

Jean-Louis IZARD
Laboratoire ABC
ENSA-Marseille

La perméabilité solaire d'un bâtiment concerne la totalité de l'enveloppe de celui-ci. Mais certaines parois sont plus perméables que d'autres, et cela est dû soit à leur exposition, soit à leur surface ou encore à leur transparence (vitrages).

Prenons un exemple pour illustrer cela.



Soit un logement dans un immeuble collectif, situé au dernier niveau, entre deux logements mitoyens. Sa surface est de 100m², avec deux orientations de façade: S-E et N-W comportant respectivement 8 et 7m² de vitrages. Un auvent filant couvre un balcon en façade S-E.

1 - Perméabilité solaire de la toiture-terrasse:

$$\Phi = f1 * St * \alpha_s * Kt/he * CE (* Egh/24) (m2)$$

- f1 = Facteur de transmission masques architecturaux; = 1 (pas de masque architectural);
- CE, coefficient d'exposition = 1 (Surface horizontale)
- α_s , facteur d'absorption solaire = 0,7 (couleur moyenne proche du gris)
- Kt, conductance de la toiture-terrasse = 0,35 en valeur courante
- he, coefficient d'échange superficiel externe = 1/0,05;
- la valeur de Kt/he = 0,35x0,05 = 0,0175
- St = 100m² (logement de type 5-6)

$$\Phi = 1 \times 100 \times 0,7 \times 0,0175 = 1,225 (* Egh/24) (m2)$$

Il est clair que la perméabilité est attribuable ici à la surface et à l'exposition horizontale.

2 - Perméabilité des vitrages:

$$\Phi_v = f1 * Sv * \tau_v * \tau_{voil} * FSf * \gamma_v * CE (* Egh/24) (m2)$$

- $f_1 = 0,48$ pour casquette continue au SE; = 1 pour façade N-W.
- $CE = 0,5$ pour orientation S-E; = 0,3 pour orientation N-W.
- τ_v , Transmission solaire du vitrage = 0,77 pour double vitrage;
- $\tau_{voil} = 0,8$ pour des voilages;
- FSf = facteur solaire de la fermeture (extérieure); fermée = 0,2; ouverte = 1.
- $\gamma_v = 0,75$ pour menuiserie bois;
- $S_v = 15m^2$ dans l'exemple développé: 8m² au S-E et 7m² au N-W;

Au S-E:

$$\Phi = 0,48 \times 8 \times 0,77 \times 0,8 \times 1 \times 0,75 \times 0,5 = 0,89 \text{ (* Egh/24)}$$

Au N-W:

$$\Phi = 1 \times 7 \times 0,77 \times 0,8 \times 1 \times 0,75 \times 0,3 = 0,97 \text{ (* Egh/24)}$$

Soit au total pour les vitrages: 0,89 + 0,97 = 1,86 m²

Ici, le taux de transmission solaire τ_v , proche de 1, remplace le rapport K/he , le plus faible facteur dans le cas de parois opaques.

3 - Perméabilité des autres parois extérieures (murs):

- $f_1 = 0,48$ au S-E; = 1 au N-W.
- $CE = 0,5$ au S-E; = 0,3 au N-W
- α_s , facteur d'absorption solaire = 0,3 (couleur claire moyenne)
- K_m , conductance des murs verticaux = 0,3 valeur courante
- he , coefficient d'échange superficiel externe = 1/0,06;
- la valeur de $K/he = 0,3 \times 0,06 = 0,018$
- $S_p = 17m^2$ au S-E et 18m² au N-W

Au S-E:

$$\Phi = 0,48 \times 17 \times 0,3 \times 0,018 = 0,044 \text{ (* Egh/24) (m}^2\text{)}$$

Au N-W:

$$\Phi = 1 \times 18 \times 0,3 \times 0,018 = 0,097 \text{ (* Egh/24) (m}^2\text{)}$$

Soit au total pour ces parois: 0,044 + 0,097 = 0,141 m²

La perméabilité solaire totale est égale à:

Toiture-terrasse	1,225	(pourcentage du total 38%)
Vitrages	1,860	(pourcentage du total 58%)
Autres parois	0,141	(pourcentage du total 4%)
TOTAL	3,226 m²	

On peut aussi calculer un « **coefficient de perméabilité solaire** » **Cps** en ramenant cette surface au volume habitable. Pour notre exemple, avec un volume habitable de 250 m³, cela donne :

$$\text{Cps} = 3,226/250 = 0,013 \text{ m}^2/\text{m}^3$$

Conclusion 1:

On voit bien que la toiture-terrasse est responsable de plus du tiers de la perméabilité totale du logement. Sur cet exemple, on peut même affirmer qu'elle équivaut à 10m² de vitrages, dans les conditions qui accompagnent ces vitrages. Tout se passe donc pour un logement situé au dernier niveau comme s'il était éclairé par 10m² de vitrages supplémentaires.

Si on cherche à se protéger des rayons du soleil pendant la journée par exemple en fermant des volets, le facteur Fsf passe à la valeur 0,2.

Au S-E:

$$\Phi = 0,48 \times 8 \times 0,77 \times 0,8 \times 0,2 \times 0,75 \times 0,5 = 0,177 \text{ (* Egh/24) (m}^2\text{)}$$

Au N-W:

$$\Phi = 1 \times 7 \times 0,77 \times 0,8 \times 0,2 \times 0,75 \times 0,3 = 0,194 \text{ (* Egh/24) (m}^2\text{)}$$

$$\text{Soit au total pour les vitrages: } 0,177 + 0,194 = 0,371 \text{ m}^2$$

Cette valeur devient très inférieure à celle de la toiture-terrasse. Le bilan global devient:

Toiture-terrasse	1,225	(pourcentage du total 70,5%)
Vitrages+fermetures	0,371	(pourcentage du total 21,5%)
Autres parois	0,141	(pourcentage du total 8%)
TOTAL	1,737 m²	

Le coefficient de perméabilité solaire **Cps** devient :

$$\text{Cps} = 1,737/250 = 0,007 \text{ m}^2/\text{m}^3$$

Conclusion 2:

On peut en conclure qu'avec une protection solaire totale des ouvertures, la toiture-terrasse devient le siège principal de la perméabilité solaire. Dans ces conditions, tout se passe donc pour un logement situé au dernier niveau comme si la surface de vitrages était multipliée par un facteur 3,3, soit 35m² de vitrages supplémentaires.

Comment éviter l'effet de toiture-terrasse?

La solution la plus radicale consiste à ombrer la toiture-terrasse avec un toit-parasol. Cela se traduit sur la formule de la perméabilité par une valeur très faible de f_1 , qui tend alors vers zéro. Par exemple, une valeur de f_1 de 0,1 diviserait par 10 la perméabilité solaire de la toiture-terrasse.

Tableau des valeurs de CE pour les régions méditerranéennes :

	<i>jan</i>	<i>fev</i>	<i>mar</i>	<i>avr</i>	<i>mai</i>	<i>jun</i>	<i>jul</i>	<i>aou</i>	<i>sep</i>	<i>oct</i>	<i>nov</i>	<i>dec</i>
Horizontal	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
Vertical Sud	2,0	1,4	0,9	0,6	0,4	0,4	0,4	0,5	0,8	1,2	1,8	2,4
vertical SE/SW	1,6	1,2	0,9	0,7	0,5	0,5	0,5	0,6	0,8	1,1	1,4	1,8
vertical E/W	0,8	0,7	0,7	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,7	0,8	0,8
vertical NE/NW	0,2	0,2	0,2	0,2	0,3	0,3	0,3	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
vertical Nord	0,2	0,2	0,2	0,2	0,3	0,3	0,3	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2

Surface Sud équivalente

La « Surface SUD équivalente » est un indicateurs qui sert à évaluer la capacité prévisionnelle d'un bâtiment à capter le rayonnement solaire pendant la saison de chauffage.

La surface Sud équivalente se décompose de la manière suivante :

$$S_s = A * \omega * f * C1$$

Où :

- **A** est l'aire de la paroi qui transmet le rayonnement solaire (vitrage), mesurée en tableau (m^2) ;
- **ω** est un facteur intégrant les effets de menuiserie, de fermeture, de vitrage et de voilage;
- **f** est le facteur de transmission des masques environnant la paroi :f1 pour les masques architecturaux et f2 pour les masques lointains
- **C1** est le facteur d'orientation et d'inclinaison. Ce facteur prend les valeurs du tableau suivant pour les inclinaisons et orientations données :

Incl	SUD	SSE	SE/SW	ESE	E/W	ENE	NE/NW	NNE	NORD
> 82°	1	0,93	0,84	0,71	0,54	0,39	0,29	0,23	0,22
68 à 82°	1,13	1,06	0,96	0,82	0,61	0,44	0,33	0,24	0,22
53 à 67°	1,19	1,12	1,04	0,89	0,67	0,49	0,36	0,27	0,23
38 à 52°	1,19	1,13	1,04	0,91	0,72	0,53	0,42	0,33	0,28
23 à 37°	1,13	1,07	1,01	0,90	0,76	0,61	0,52	0,45	0,40
8 à 22°	0,99	0,96	0,93	0,86	0,79	0,71	0,65	0,60	0,57
< 8°	0,81								

Ces valeurs sont des moyennes pour les latitudes de la France et les durées de saison de chauffage. Un affinement pour les diverses zones climatiques montrerait que les écarts entre orientations sont plus importants dans les zones ensoleillées, où le rayonnement direct joue un rôle plus marqué.

ANNEXE 2

RETOURS D'EXPERIENCES ET EXPLOITATION DES INDICATEURS DE L'ARCHITECTURE BIOCLIMATIQUE

Les deux exemples montrés dans ce qui suit ont été choisis pour la représentativité très différente de leurs performances en confort d'été.

Le premier exemple est celui d'un atrium où règne une perméabilité solaire très forte à cause de la présence de vitrages zénithaux.

Le second exemple est relatif à une maison bioclimatique des années 80 où la perméabilité solaire d'été est très faible.

Retour d'expérience sur l'atrium de l'école d'architecture de Marseille

1 - Présentation du bâtiment

L'ENSA-Marseille possède une rue intérieure vitrée zénithalement qui cause bien des soucis de confort thermique d'été aux occupants de l'étage supérieur. La température d'air a été mesurée à divers points de hauteur (voir position de sondes en figure 1) pendant les mois d'été des années 1999 et 2000 pour les besoins de la thèse de Mohamed Belmaaziz sur les ambiances thermiques des atriums. .

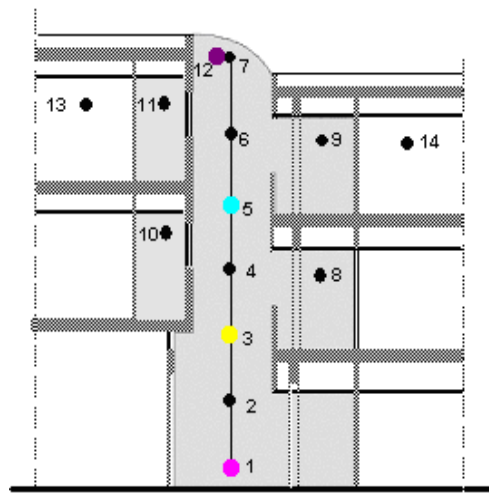


Fig. 1 : Coupe de l'Ecole d'Architecture de Marseille-Luminy

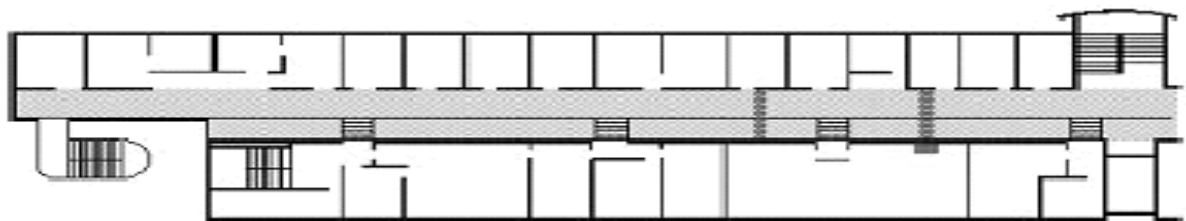


Fig. 2 : Plan de l'Ecole d'Architecture de Marseille-Luminy (NORD à droite).

2 – Résultats des mesures

Les résultats de ces mesures se prêtent bien au calcul des deux indicateurs développés dans l'article, le supplément de température moyenne et le rapport d'amplitudes A_i/A_e .

Voyons d'abord de quels sont les profils journaliers des températures d'air.

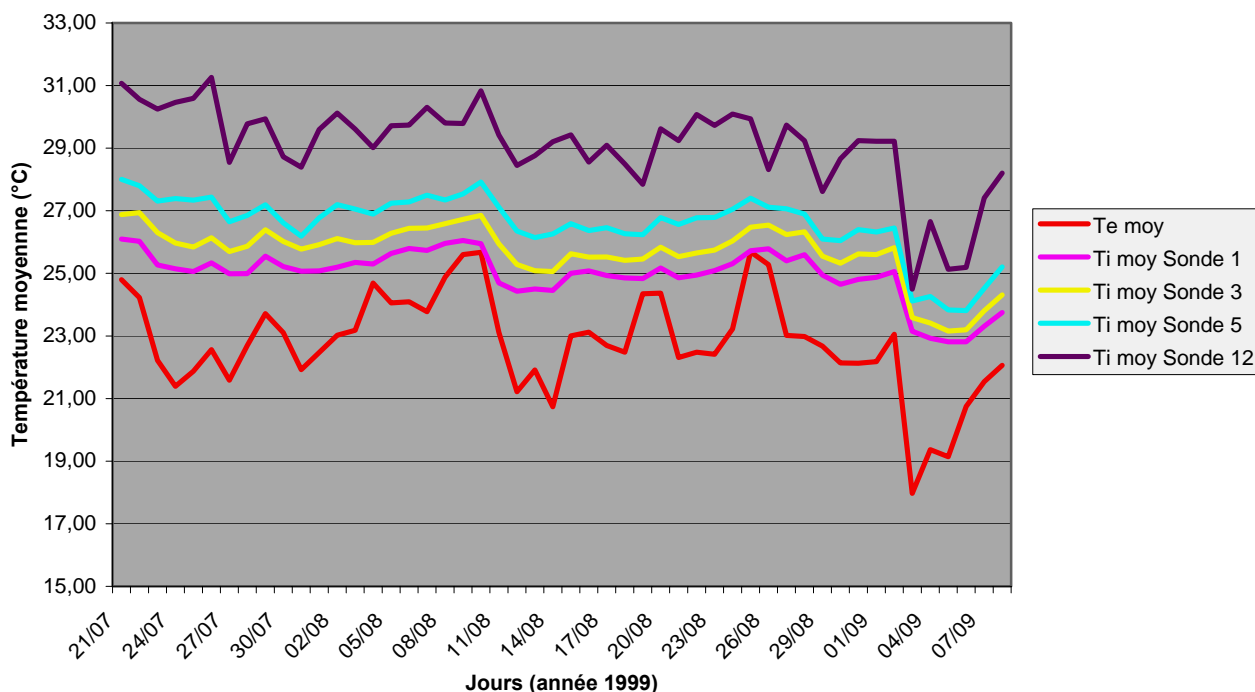


Fig. 3 : Evolutions de la température d'air moyenne aux sondes 1, 3, 5 et 12 pendant les mois d'été.

Un premier coup d'œil à la figure 3 montre que les profils thermiques de toutes les sondes se tiennent au dessus du profil de la moyenne extérieure et que celui de la sonde 12, celle qui est quasiment collée au vitrage zénithal, « plane » au dessus des autres.

On voit bien que les niveaux de température enregistrés par les sondes vont croissant en montant vers le haut. On peut y voir la conséquence de la « **perméabilité solaire** », qui elle aussi s'accroît avec la hauteur.

Calcul du Coefficient de perméabilité solaire Cps relatifs aux positions des sondes

Le vitrage zénithal peut être considéré comme horizontal avec un facteur de transmission estimé à 0,75. L'atrium est linéaire, il suffit donc de calculer le rapport de surfaces pour obtenir Cps. En valeur relative, la largeur du vitrage est égale à 1, la hauteur de chaque sonde par rapport au vitrage est égale à 0,5, 2, 4 et 6 respectivement pour les sondes 12, 5, 3 et 1. Cela donne donc les **Cps** suivants:

Sonde 12 : $0,75 \times 1/0,5 = 1,5 \text{ m}^2/\text{m}^3$

Sonde 5 : $0,75 \times 1/2 = 0,375 \text{ m}^2/\text{m}^3$

Sonde 3 : $0,75 \times 1/4 = 0,188 \text{ m}^2/\text{m}^3$

Sonde 1 : $0,75 \times 1/6 = 0,125 \text{ m}^2/\text{m}^3$

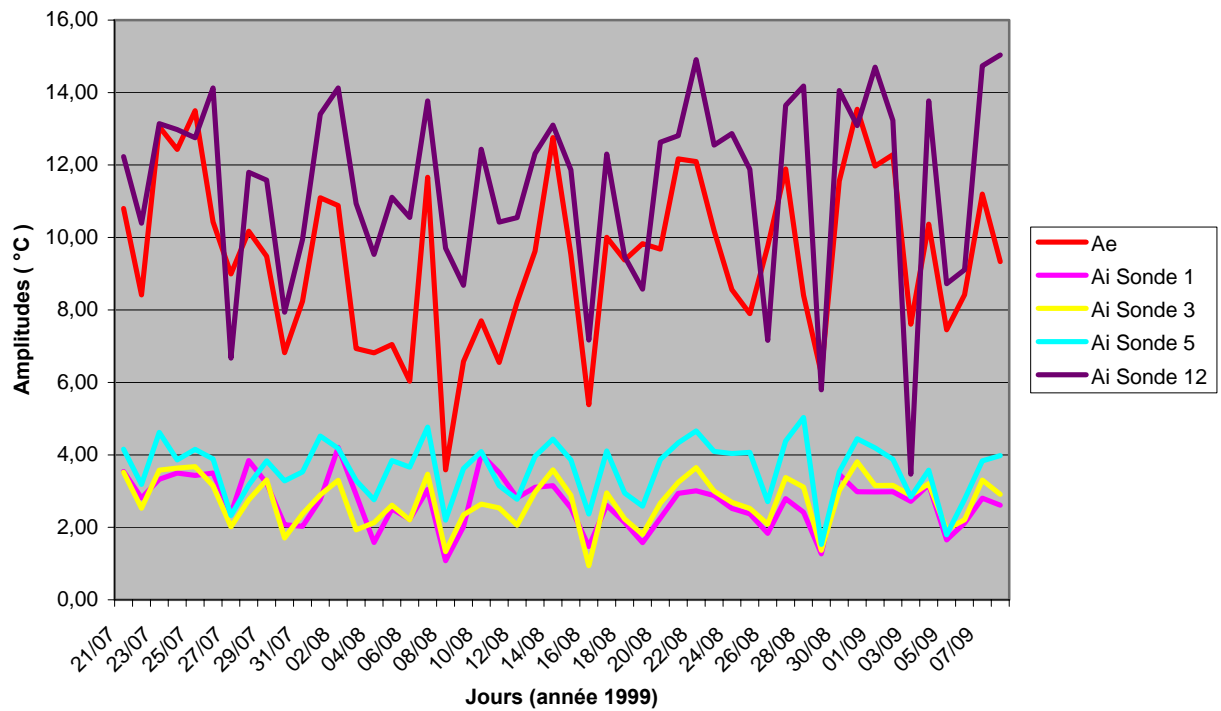


Fig. 4 : Evolutions des amplitudes de la température d'air journalière aux sondes 1, 3, 5 et 12 pendant les mois d'été.

La figure 4 montre que la sonde 12 connaît des amplitudes thermiques égales ou supérieures à celles de l'extérieur. Les autres sondes sont soumises à des amplitudes nettement inférieures.

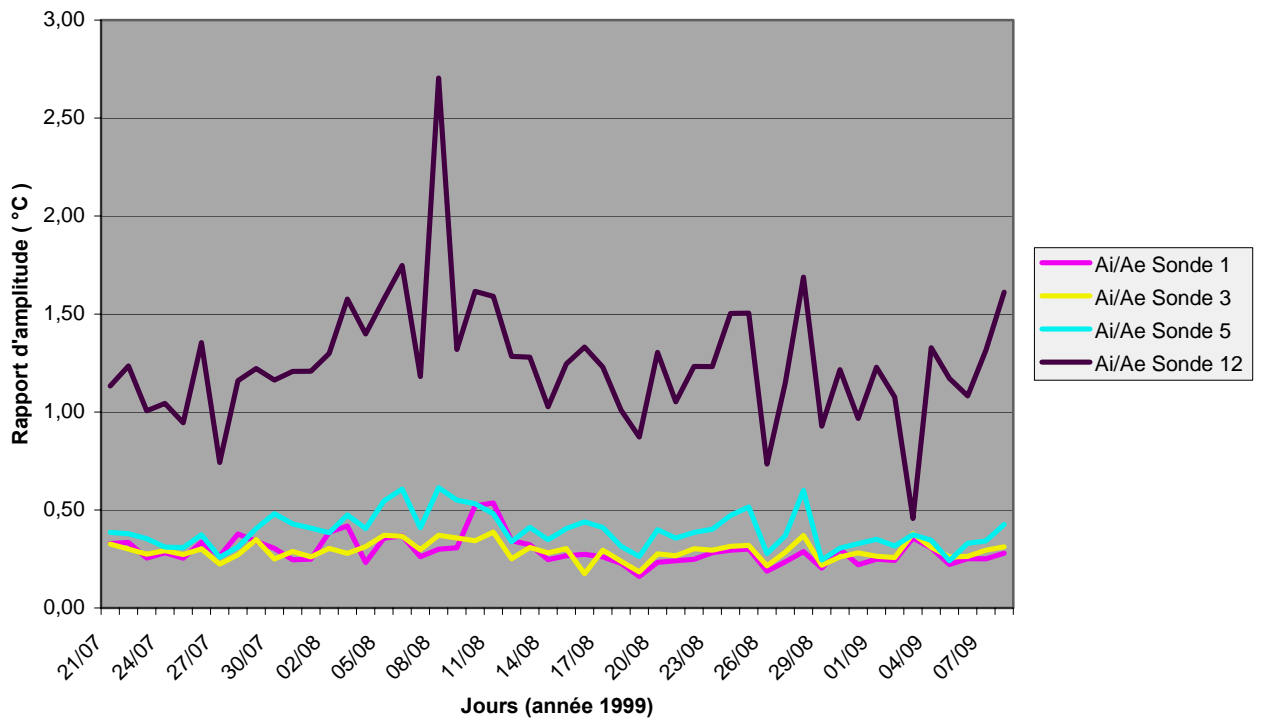


Fig. 5 : Evolutions des rapports d'amplitudes de la température d'air journalière aux sondes 1, 3, 5 et 12 pendant les mois d'été.

La figure 5 montre que le rapport d'amplitudes A_i/A_e relatif à la sonde 12 dépasse la valeur 1, matérialisant le fait que les amplitudes thermiques en ce point sont égales ou supérieures à celles de l'extérieur. Les autres sondes sont soumises à des amplitudes nettement inférieures mais cependant encore fortes (valeurs du rapport A_i/A_e proches de 0,5).

On peut généraliser cela comme une règle relative aux atriums en disant que les parties supérieures de ces grands volumes vitrés se comportent comme des **amplificateurs de l'oscillation de la température extérieure**.

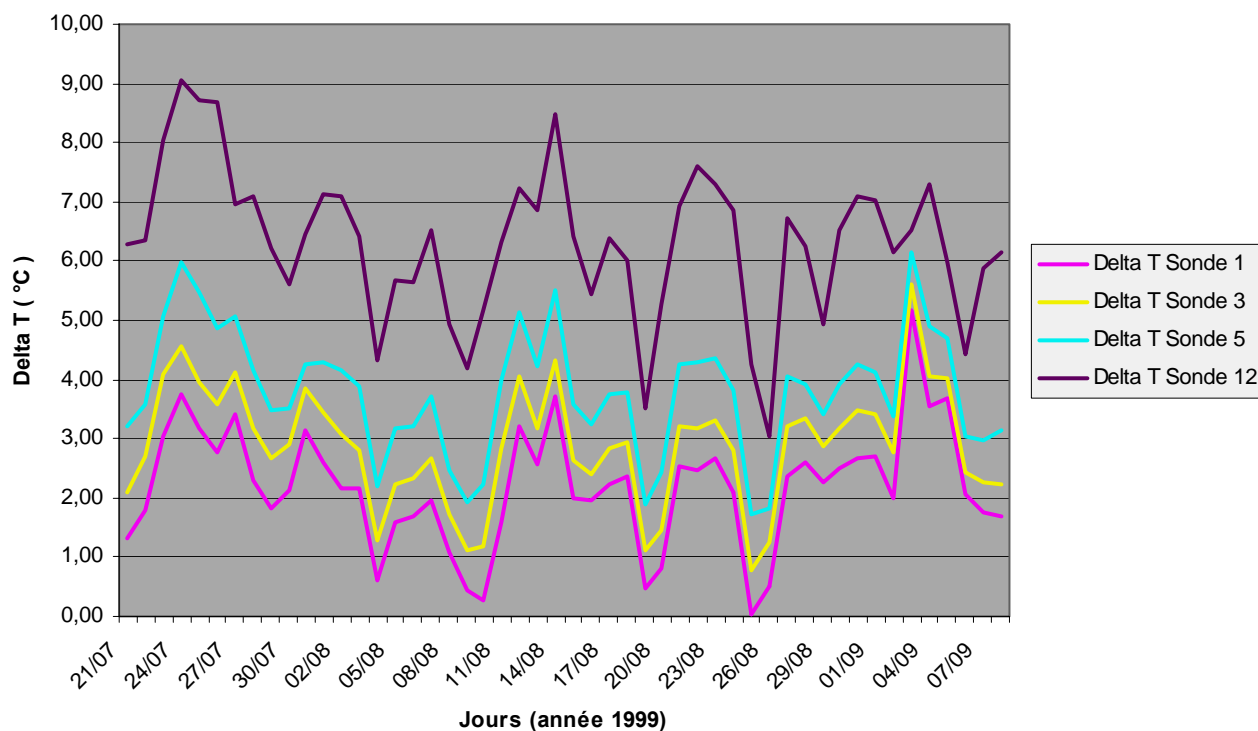


Fig. 6 : Evolutions des suppléments de température moyenne journalière aux sondes 1, 3, 5 et 12 pendant les mois d'été.

	Sonde 1	Sonde 3	Sonde 5	Sonde 12
Moyenne Ai/Ae	0,29	0,29	0,39	1,25
Moyenne STimoy (°C)	2,19	2,90	3,79	6,31

L'exemple de cet atrium, sur une période de mesures englobant les mois l'été, illustre le cas d'une architecture dont la conception ignore totalement les effets de l'ensoleillement à travers une couverture vitrée zénithale.

Pendant cette période, le Supplément de la Timoy va de +2,2 jusqu'à +6,3°C dans la partie haute de l'atrium (sonde12) par rapport à la température moyenne extérieure. Aucune protection solaire ni ventilation suffisante ne permettent de réguler la température intérieure. Cela met en cause la **perméabilité solaire** du bâtiment qui va croissant lorsqu'on s'approche de la couverture vitrée.

Le rapport d'amplitudes Ai/Ae varie entre 0,29 et 1,25, c'est à dire qu'il évolue entre un amortissement courant des oscillations de la température extérieure dû à l'**inertie thermique** et une véritable amplification en partie supérieure. C'est encore un effet de la **perméabilité solaire**, qui est la plus importante en partie supérieure

Retour d'expérience d'une maison bioclimatique

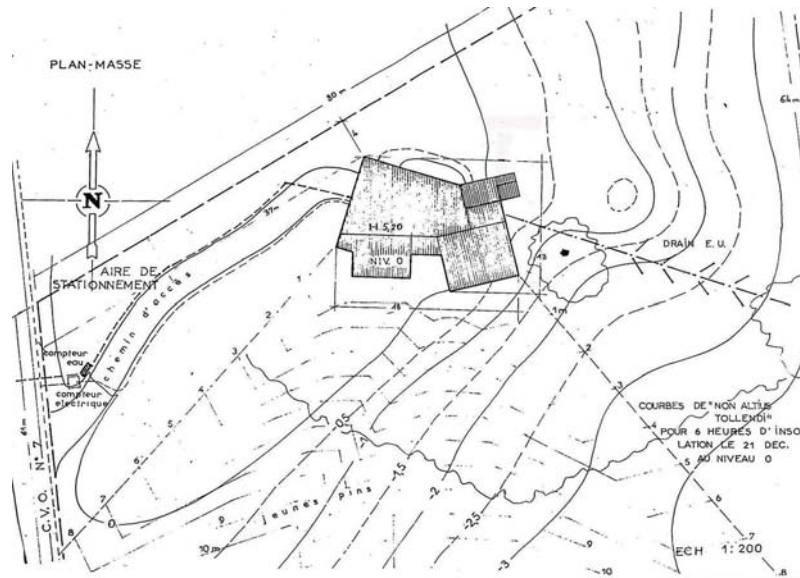


Fig. 1 : Plan-masse de la maison Michel à l'Isle sur Sorgues

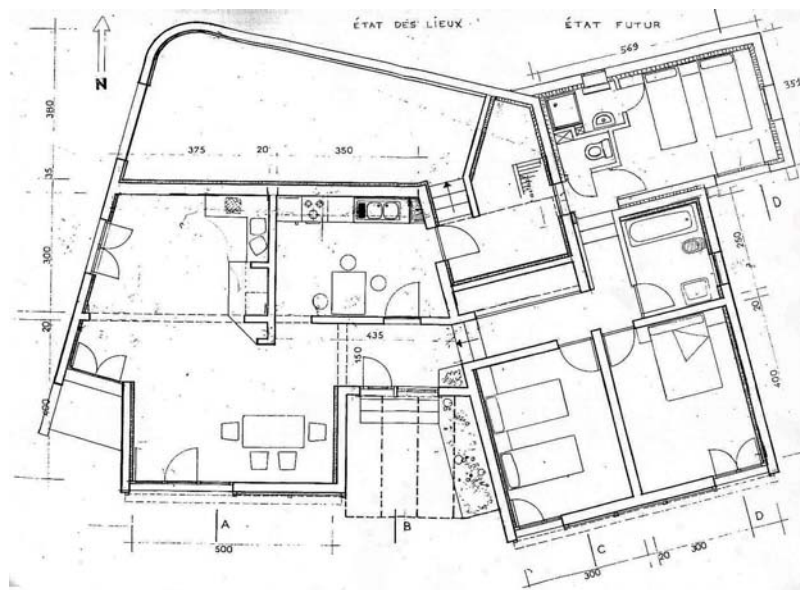


Fig. 2 : Plan de la maison Michel à l'Isle sur Sorgues

La maison de René Michel a été construite à L'Isle sur la Sorgue en 1980 dans une zone semi-rurale avec le conseil actif du Groupe ABC (préfiguration de l'actuel laboratoire ABC) sur les principes bioclimatiques de l'époque :

- Plan quasi exclusivement ouvert vers le SUD
- Pièces principales au SUD et espaces-tampon au NORD
- Volume semi-enterré côté NORD
- Développé de façades SUD important et comportant baies vitrées, mur capteur et véranda,
- Isolation par l'extérieur pour conserver le maximum de parois effusives côté intérieur

Elle est depuis habitée et mesurée par son occupant.

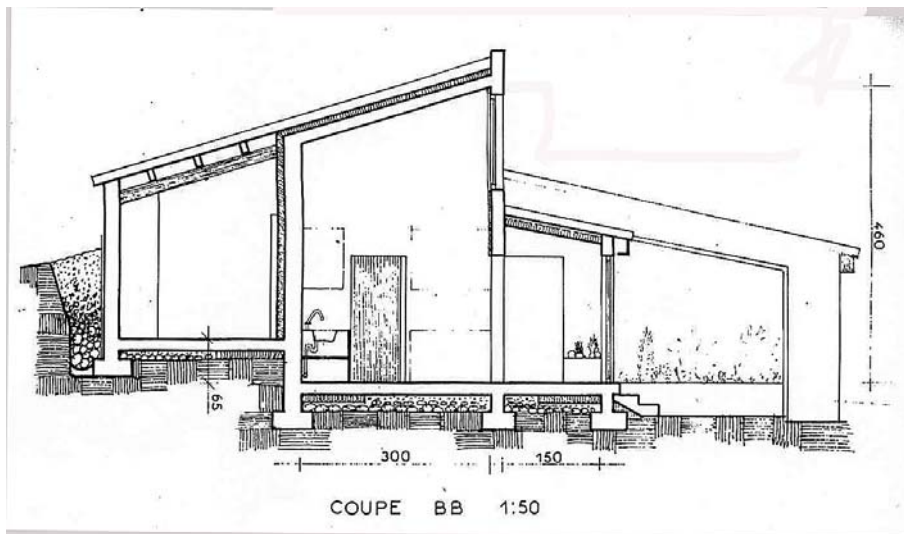


Fig. 3 : Coupe NORD-SUD de la maison Michel à l'Isle sur Sorgues



Façade SUD de la maison Michel à l'Isle sur Sorgues en hiver



Façade SUD de la maison Michel à l'Isle sur Sorgue en été



Façade NORD de la maison Michel à l'Isle sur Sorgues

Résultats des mesures

Les mesures ont été effectuées par l'habitant au moyen de thermomètres maxi-mini relevés quotidiennement. Les points relevés sont le séjour, une chambre et la face interne du mur capteur dans le séjour (en été le mur capteur est protégé par un volet roulant conservé abaissé en permanence ; ce volet sert aussi de protection nocturne en hiver).

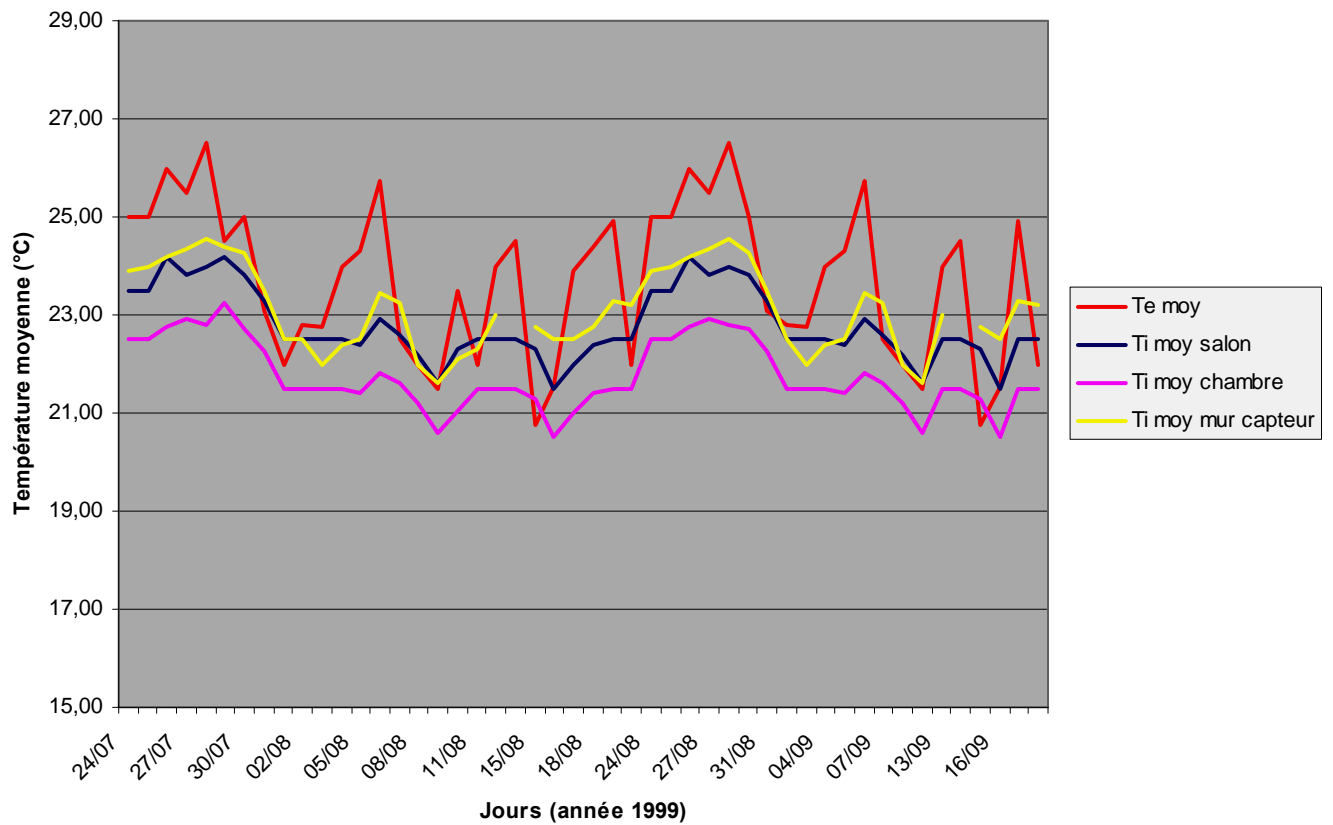


Fig. 4 : Evolutions de la température d'air moyenne journalière dans différentes pièces pendant les mois d'été.

La figure 4 montre que la température intérieure de la maison se tient souvent proche du minimum extérieur. Cela indique une **faible perméabilité solaire** et probablement aussi **une puissance de refroidissement** due à **une ventilation nocturne** pratiquée par l'habitant, particulièrement dans la chambre, où les apports internes sont très réduits.

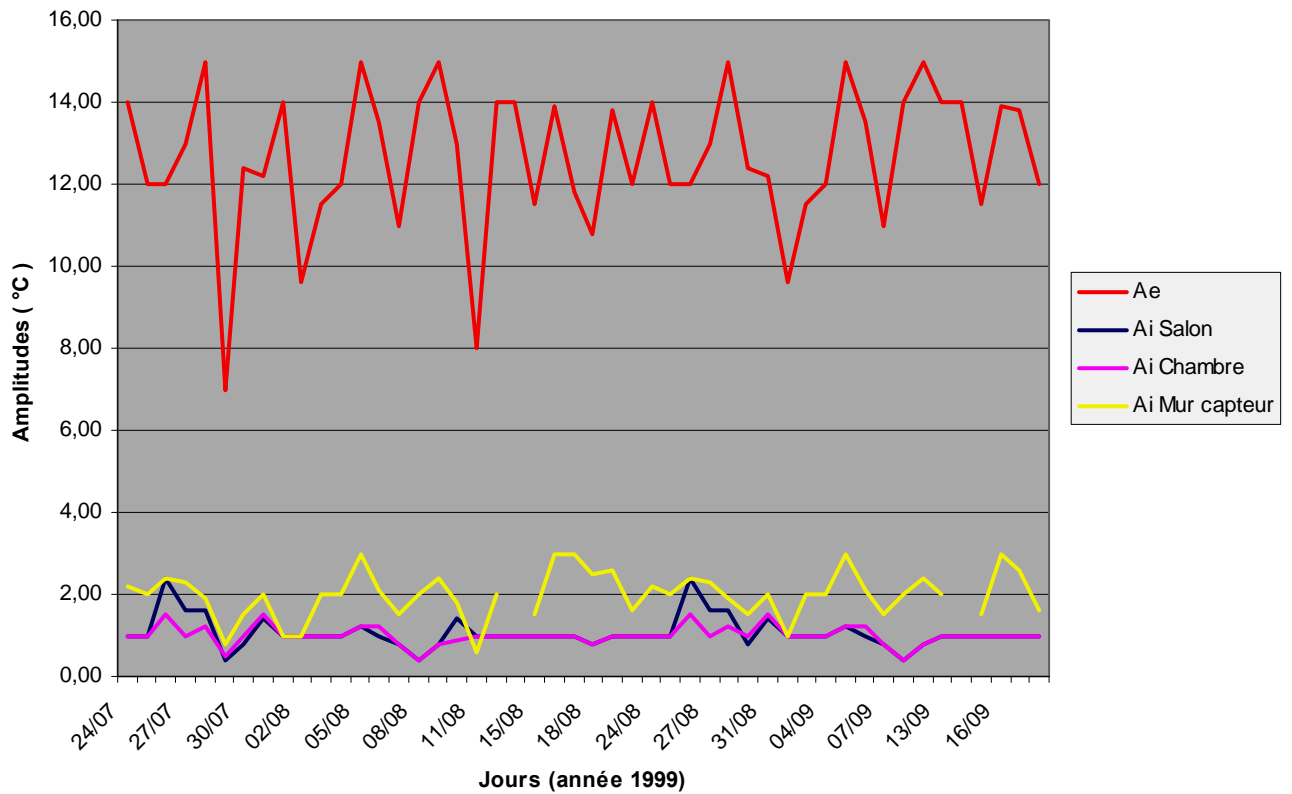


Fig. 5 : Evolutions des amplitudes de la température d'air journalière dans différentes pièces pendant les mois d'été.

Les amplitudes de températures mesurées dans les différentes pièces de la maison sont nettement inférieures à celle de l'extérieur, particulièrement dans la chambre. Cela traduit les effets d'une **inertie thermique par absorption** très forte couplée à un contrôle de l'ensoleillement très efficace.

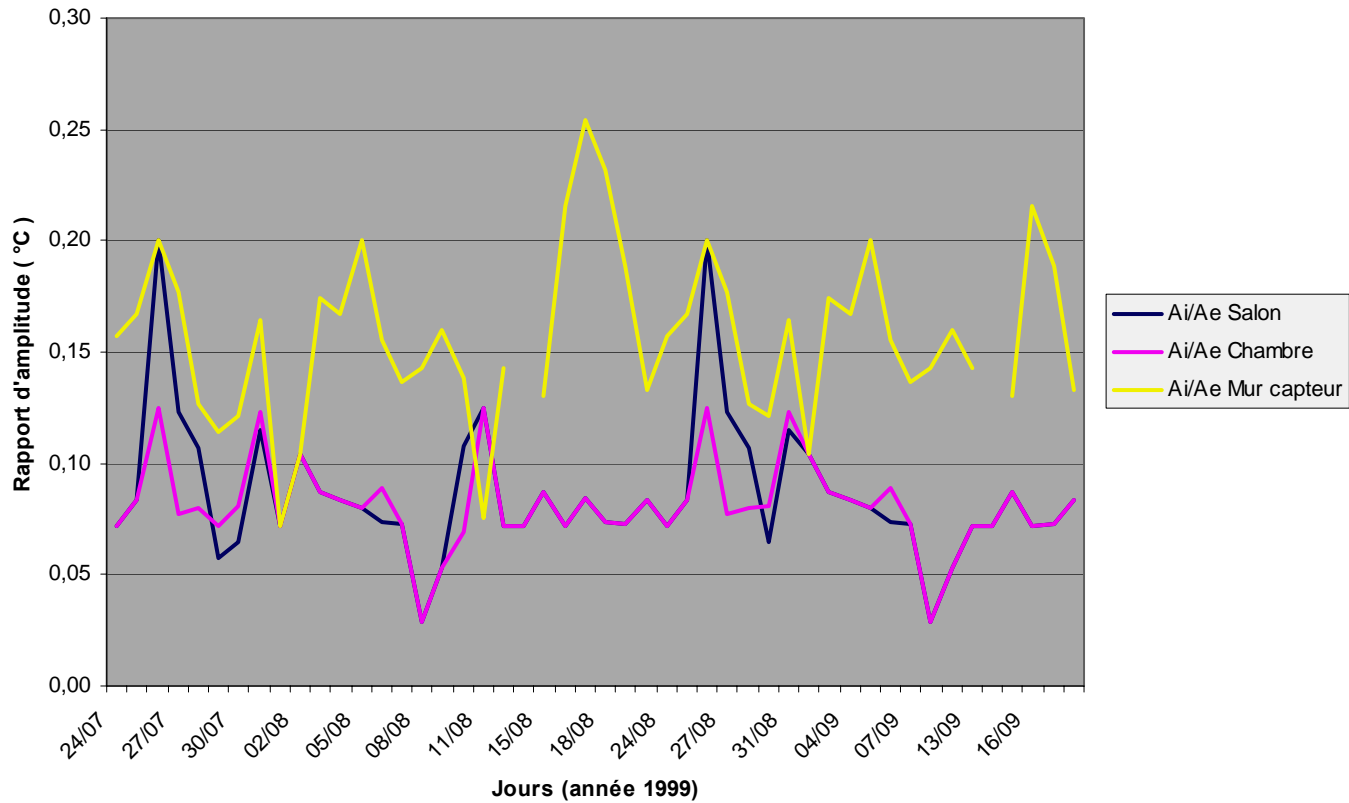


Fig. 6 : Evolutions des rapports d'amplitudes de la température d'air journalière dans les différentes pièces pendant les mois d'été.

Le rapports d'amplitudes connaît sa valeur la plus faible dans la chambre où les volets restent fermés le jour. La température du mur capteur est plus fluctuante.

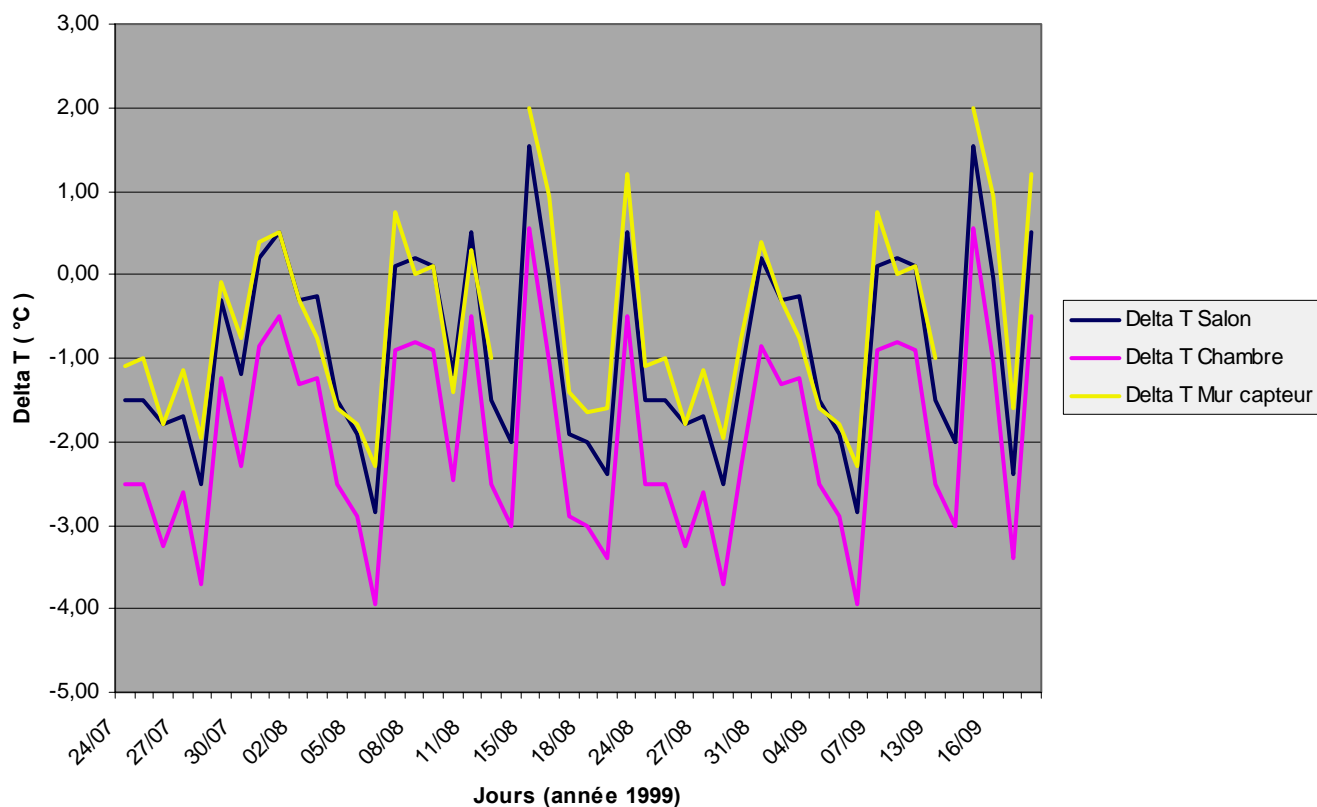


Fig. 7 : Evolutions des suppléments de température moyenne journalière dans les différentes pièces pendant les mois d'été.

	Séjour	Chambre	Mur capteur
Moyenne Ai/Ae	0,09	0,08	0,16
Moyenne STimoy (°C)	-0,94	-1,98	-0,59

Cette maison est un bon exemple de l'impact positif de l'architecture bioclimatique sur la régulation des températures intérieures. Pendant la période d'été, le relevé des températures intérieures montre que le « Supplément de température intérieure **Stimoy** varie selon les pièces de $-0,9^{\circ}\text{C}$ à $-2,0^{\circ}\text{C}$ par rapport à l'extérieur. C'est à dire qu'en moyenne, la température intérieure est plus basse que celle de l'extérieur. Cela constitue une performance très intéressante attribuable à une très **faible perméabilité solaire** et à l'usage systématique de **la ventilation nocturne**.

La construction présente une **forte inertie thermique** et les températures intérieures oscillent très peu : l'amplitude intérieure évolue entre 0,08 et 0,09 fois l'amplitude extérieure.

Il faut noter en conclusion sur ce cas qu'en hiver la maison est également très performante puisque la consommation annuelle de chauffage, mesurée au compteur électrique, est de **7kWh/m²**.