

Université 8 mai 1945 Guelma - Faculté des sciences et de la technologie
Département d'architecture - Doctorat 2019/2020
Option : Architecture Ecologique et Durabilité



THEME DE RECHERCHE

L'impact de la forme architecturale sur l'efficacité énergétique des bâtiments.

Matière : **analyse thématique**

Doctorant : **Bilal ZOUAOUI**

Enseignant : **Pr. Djamel ALKAMA**

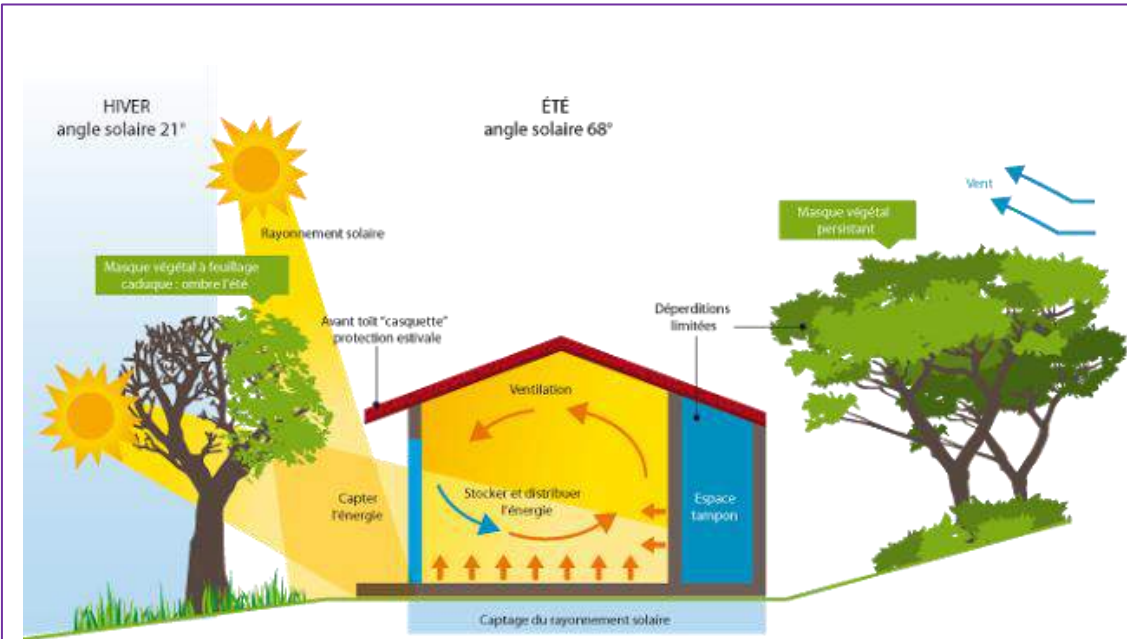


« Je ne pense pas que l'architecture soit seulement une question de refuge, encore moins seulement un boîtier très simple. Il devrait être en mesure de vous exciter, de vous calmer, de vous faire réfléchir »

Zaha Hadid

L'architecture bioclimatique :

- L'architecture bioclimatique est une manière de construire avec l'environnement. Le concept global est également appelé « architecture climatique » ou « architecture naturelle ». Lorsque la prise en compte de l'environnement se fait aussi dans l'utilisation des matériaux, les émissions de gaz à effet de serre, la gestion de l'eau ou des déchets, ce type d'architecture est appelé « architecture écologique », « architecture durable », ou « architecture verte ». Si l'intégration dans l'environnement est plus sphériquement axée sur l'utilisation des ressources énergétiques, et plus particulièrement du soleil, on parle de « architecture solaire », ou de « architecture passive », ces deux termes pouvant d'ailleurs être combinés.



L'architecture bioclimatique,

Source: <https://www.e-rt2012.fr/explications/conception/explication-architecture-bioclimatique/>

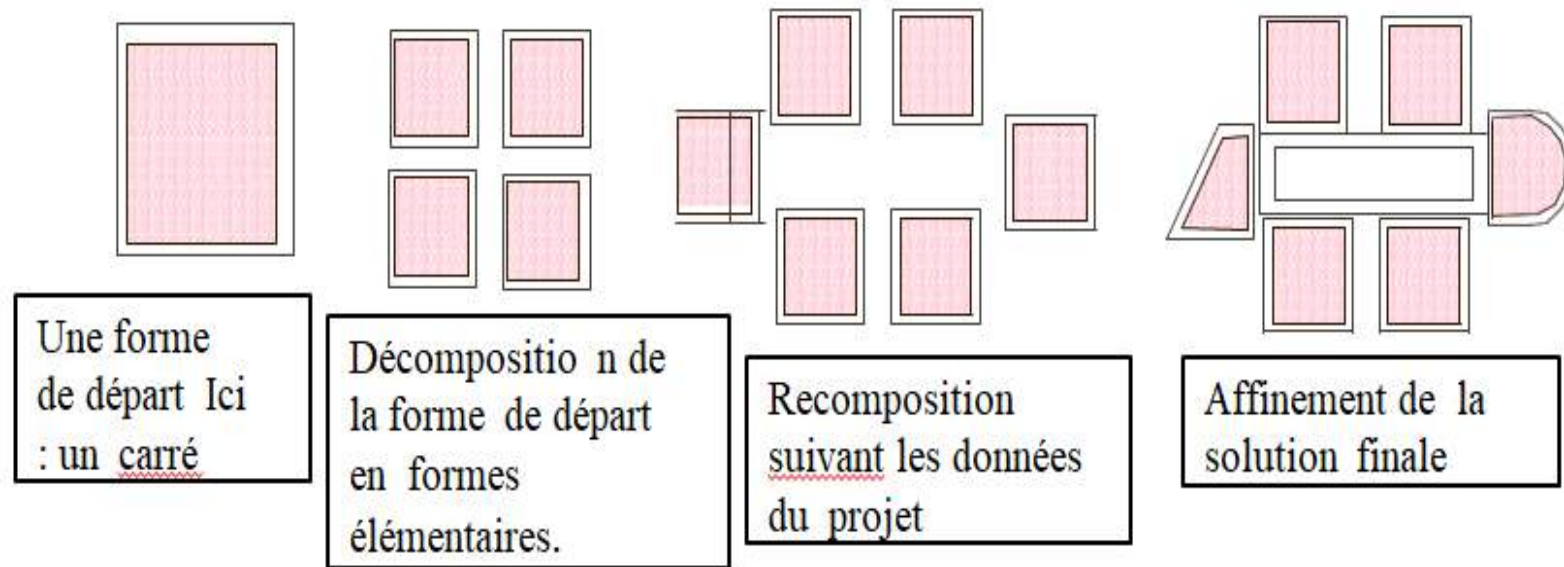
QUELQUES DÉFINITIONS

La Forme architecturale :

- Dans le domaine de l'architecture, ce concept est largement traité et étudié. Une variété de définitions, parfois convergentes ou contradictoires, lui est attribuée. Cette contradiction est résultante des doctrines et théories différentes et parfois opposées (Boussora, 2009).
- Issue du projet, la forme architecturale représente en premier lieu, à partir d'un dessin, une réalité future pour être enfin mêlée avec cette réalité qui est la construction. La forme est, donc, l'évolution et l'aboutissement du projet. Ainsi, elle se définit par un rapport indissociable entre un concept, une pensée d'être et l'expression architecturale dictée par cette pensée (Mastelan, 2005).
- La forme architecturale ne se résume pas à un volume défini par sa configuration géométrique selon les trois dimensions euclidiennes de la volumétrie spatiale, mais elle est plutôt le résultat d'assemblage et de combinaison, obéis à certaines règles de composition, de plusieurs éléments architecturaux. Elle se caractérise aussi par des propriétés visuelles telles que la couleur, les proportions, la texture, le rapport à l'environnement, etc.

QUELQUES DÉFINITIONS

La Forme architecturale :



La Forme architecturale et la transformation:

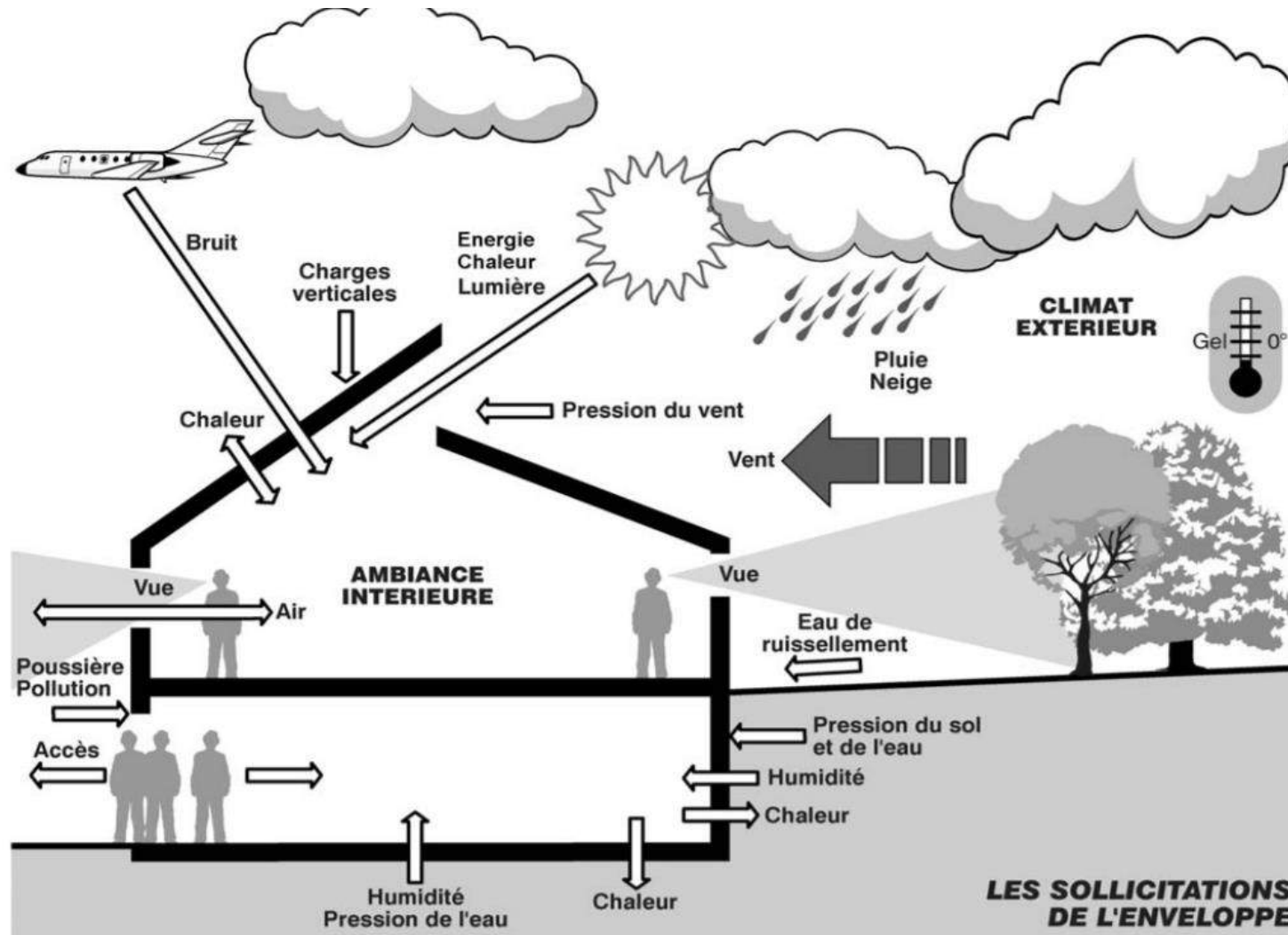
source : (Mazouz.s, Cours N° 7 : De l'usage des autres canaux de la créativité, OEB, 2016)

QUELQUES DÉFINITIONS

l'enveloppe architecturale :

- L'enveloppe architecturale d'un bâtiment constitue la partie qu'on peut voir de ce dernier, si on est à l'intérieur ou à l'extérieur de la construction. En ce sens, l'enveloppe joue un rôle de séparation avec l'extérieur. Mais c'est avant tout une protection, un élément qui permet de se protéger. Ce rôle peut se vérifier à tous les niveaux, c'est-à-dire, c'est l'enveloppant de tout habitat désigné comme l'enveloppé. Appelée aussi peau par analogie à la peau d'un corps qui enrobe le squelette humaine comme l'enveloppe enrobe l'ossature et toute la construction d'un bâtiment. (Kouici, 1999).

QUELQUES DÉFINITIONS



L'enveloppe architecturale.
Source: HAUGLUSTAINE, (2006).

QUELQUES DÉFINITIONS

l'enveloppe architecturale :

- L'enveloppe du bâtiment est donc l'interface entre l'intérieur du bâtiment et de l'environnement extérieur, y compris les murs, le toit, et les fondations. Qui agit comme une barrière thermique, l'enveloppe du bâtiment joue un rôle très important dans la régulation de la température intérieure et permet de déterminer la quantité d'énergie nécessaire pour maintenir le confort exigé. Une enveloppe de bâtiment c'est tout ce qui fait le tour de l'habitat créé par l'Homme. Ceci veut dire que la dalle de plancher, les fondations, les murs extérieurs, les ouvertures, les toitures, font partie de l'enveloppe de bâtiment. (Elmouez, 2015).

QUELQUES DÉFINITIONS

L'efficacité énergétique :

- C'est le rapport entre l'énergie directement utilisée (dite énergie utile) et l'énergie consommée (en général supérieure du fait des pertes).
- L'efficacité énergétique se définit comme une consommation en énergie moindre pour le même service rendu. La notion d'efficacité énergétique est à distinguer de celle de l'intensité énergétique, qui représente la quantité d'énergie consommée pour produire une quantité de PIB (produit intérieur brut). Il ne faut pas la confondre avec la sobriété énergétique. Cette dernière est consensuelle si elle vise à éviter le gaspillage.
- Donc, l'efficacité énergétique vise à réduire le rapport entre l'énergie utile et la consommation énergétique. (Amin, 2014).

QUELQUES DÉFINITIONS

La consommation énergétique:

- Cette nomination de consommation énergétique est polysémique selon les domaines de son utilisation. Elle dépend la qualité d'énergie utilisée par un appareil (on parle d'un rendement d'une chaudière, le cas d'un climatiseur on parle du COP). En domaine des logements, on converse sur son isolation ou on peut comparer la consommation d'énergie entre différents bâtiments, à la base d'une unité de (kW/m²/an). Notons bien qu'un bâtiment ne consomme beaucoup d'énergie c'est un bâtiment bien isolé.
- La consommation énergétique dans un logement est déterminée par des normes : adaptées aux réglementations thermiques. Ces lois sont de but de réduire considérablement l'impact environnemental des bâtiments sur l'émission de CO₂. La consommation énergétique est valorisée à partir d'un bilan sur une échelle nationale nommée le bilan de la consommation énergétique. (Houda, 2016).

QUELQUES DÉFINITIONS

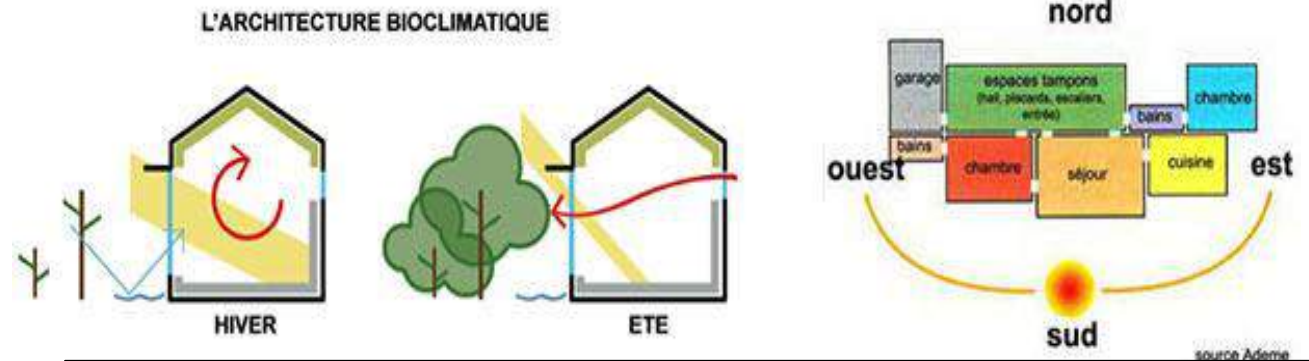
La performance énergétique:

- C'est la quantité d'énergie consommée ou estimée comme une utilisation normale du bâtiment. Elle inclut l'énergie utilisée pour le chauffage, l'eau chaude pour les sanitaires, le refroidissement, la ventilation, l'éclairage. La performance énergétique est liée à l'efficacité énergétique des équipements aussi à ses usagers et leurs usages quotidiens. À l'échelle des anciens logements, on parle de bâtiments énergivores, ou leurs performances énergétiques s'assurent qu'après la rénovation énergétique. À l'échelle des logements neufs, on l'assure par l'intégration des énergies renouvelables sachant que le bâtiment a été placé au cœur de la lutte contre le changement climatique par le Grenelle de l'Environnement où la performance énergétique est le pilier principal.

QUELQUES DÉFINITIONS

Les bâtiments bioclimatiques :

- L'architecture bioclimatique cherche de la meilleure adéquation entre le bâtiment, le climat et ses occupants pour réduire au maximum les besoins énergétique non renouvelable. Le bâtiment bioclimatique tire parti du climat afin de rapprocher au maximum ses occupants des conditions de confort avec des températures agréables, une humidité contrôlée, un éclairage naturel, et permet de réduire les besoins énergétique (chauffage ou climatisation).



Architecture bioclimatique,

source : https://lumièresdelaville.net/paroles_urbs/canicule-larchitecture-bioclimatique-peut-elle-senvisager-a-lechelle-de-toute-une-ville/.

QUELQUES DÉFINITIONS

Bâtiment performant, basse consommation (BBC) :

- Il est nommé aussi un bâtiment à basse consommation d'énergie (BBC) lorsque la consommation d'énergie primaire ne dépasse pas les 50 KWh/m²/an pour le chauffage, l'eau chaude sanitaire, la ventilation, l'éclairage et le refroidissement.
- Selon l'association Effinergie, ce type des bâtiments est obtenu par l'amélioration de l'isolation, la réduction des ponts thermiques et l'augmentation des apports passifs.

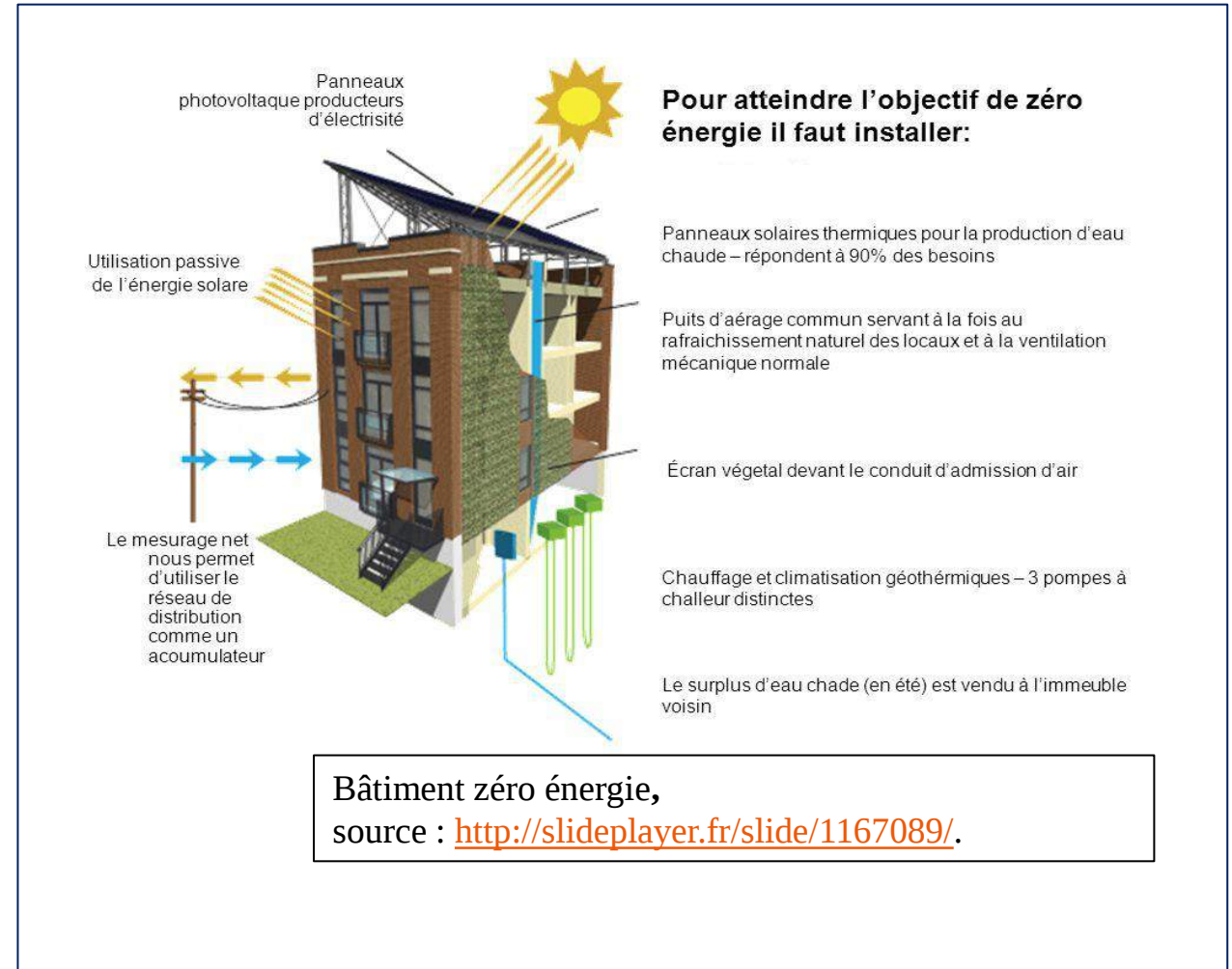
Bâtiment très performant :

- Il s'agit d'un bâtiment passif avec très faible consommation énergétique sans chauffage ou refroidissement par des systèmes actifs. Ce concept du bâtiment passif était développé par le Pr Adamson de l'université de Lund (Suède) et le Dr Wolfgang Feist de l'institut du logement et de l'environnement IWU de Darmstadt (Allemagne).
- Pour ce type des bâtiments, les apports solaires passifs et ceux internes avec une ventilation adéquate permet d'avoir un climat intérieur confortable en été comme en hiver.

QUELQUES DÉFINITIONS

Bâtiment zéro énergie :

- Ce type des bâtiments produit l'énergie pour sa consommation. Il est autonome en énergie sur l'année par un des sources renouvelable avec une sur-isolation. Son bilan énergétique net annuel est nul.
- Les maisons zéro énergie se chauffent en général par des panneaux solaires thermiques, avec l'appoint fourni par une pompe à chaleur alimentée en électricité. Les panneaux photovoltaïques sont donc dimensionnés par les besoins en électricité de la pompe à chaleur, additionnés par les autres besoins électriques. Le principe de la maison à énergie zéro est donc complètement différent de celui de la maison passive, puisqu'il consiste en une compensation de la consommation totale, et non en une optimisation des conditions favorisant la sobriété énergétique de la maison.



QUELQUES DÉFINITIONS

Le bâtiment à énergie positive (BEPOS) :

- Le bâtiment à énergie positive est un bâtiment dont le bilan énergétique global est positif (il dépasse le niveau zéro énergie), c'est-à-dire qu'il produit plus d'énergie (thermique ou électrique) qu'il n'en consomme. L'énergie complémentaire peut être soit stockée afin d'être consommée ultérieurement, soit réinjectée au réseau de distribution d'électricité pour être revendue.
- Ce type des bâtiments est très utile dans les sites isolés ou le coût de raccordement au réseau public est trop cher.



logements collectif à énergie positive à Freiburg. Allemagne, source : <https://visit.freiburg.de/fr/ressentir-fribourg/l-architecture-de-demain>.

MORPHOLOGIE DU BÂTIMENT

- **Le COEFFICIENT DE FORME DU BATIMENT**

- Les architectes et les concepteurs de bâtiments à faibles besoins énergétiques doivent savoir que les moyens de diminuer les consommations d'énergie pour compenser les pertes thermiques ne reposent uniquement sur le choix de matériaux isolants permettant d'abaisser les coefficients U des parois de l'enveloppe et encore moins sur le recours direct aux énergies renouvelables.
- La forme même du bâtiment a une forte influence sur ces consommations, à travers le « coefficient de forme », rapport de la surface totale d'enveloppe et du volume habitable du bâtiment. La principale question en jeu est « Comment concevoir un bâtiment dont le volume entraîne une surface d'enveloppe minimale ? » ou bien « Quelle forme construite abrite le volume le plus grand sous une surface d'enveloppe la plus petite ? ».

- Il y a plusieurs manières de répondre à ces questions, et ce sont ces réponses qui font l'objet de cette recherche consacrée au comportement énergétique du bâtiment traité à sa morphologie, où l'expression du coefficient de forme peut être affinée en évoquant un facteur de compacité indépendant de la taille du bâtiment

Pourquoi utiliser Le coefficient de forme du bâtiment ?

Lorsqu'on analyse la structure des déperditions d'un bâtiment en régime permanent, il est facile de démontrer que les déperditions par degré d'écart sont proportionnelles au produit Coefficient de forme du bâtiment * U moyen d'enveloppe.

En effet, ces déperditions par degré d'écart dues à la conduction thermique des parois d'enveloppe peuvent s'écrire sous la forme:

$$\text{Déperditions} = \Sigma (\text{Surfaces parois} * U_{\text{parois}})$$

Si l'on considère que la somme des déperditions surfaciques de l'enveloppe peut s'écrire sous la forme Surface totale d'enveloppe * U moyen d'enveloppe et que l'on divise le tout par V, sous la forme du rapport V/V, V étant le volume du bâtiment, on obtient:

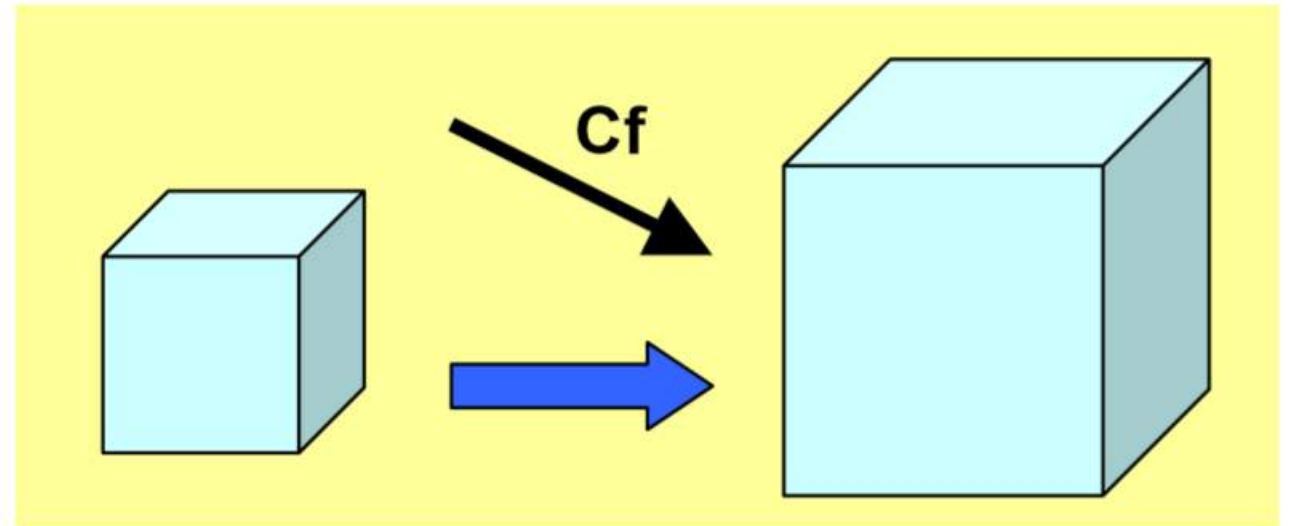
$$\text{Déperditions} = (S_{\text{Enveloppe}}/V) * U_{\text{moyen Enveloppe}} * V$$

Le rapport $S_{\text{Enveloppe}}/V$ est appelé coefficient de forme du bâtiment, noté Cf. Son unité est le mètre affecté d'un exposant (-1) : c'est donc l'inverse d'une longueur. On peut aussi la noter m^2/m^3 .

Il y a trois manières d'agir sur le coefficient de forme:

- Soit en augmentant le volume du bâtiment et, par conséquent, sa taille
- Soit, pour une forme donnée, en neutralisant une fraction de l'enveloppe
- Soit en choisissant une forme géométrique favorable

La taille du bâtiment intervient en premier lieu: plus un bâtiment est grand plus son coefficient de forme est favorable.



Influence de la taille du bâtiment

MORPHOLOGIE DU BÂTIMENT

- **La compacité :**

- La compacité d'un bâtiment est définie comme rapport de la surface exposée au volume protégé de ce bâtiment, d'une autre manière; elle est calculée comme le rapport entre le volume protégé et la surface de déperdition, l'enveloppe extérieure du bâtiment. (Oliva, 2007)
- Le rapport S/V est appelé coefficient de forme du bâtiment, noté Cf. L'unité est le m²/m³.

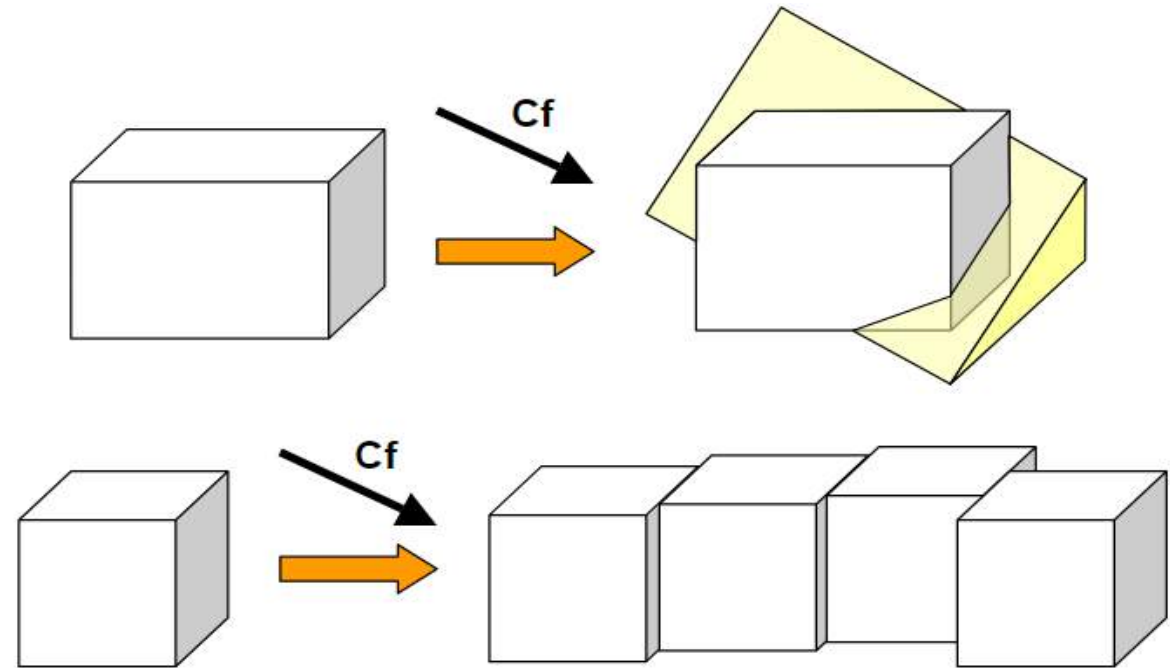
$$\text{Ainsi } c = \frac{\text{Surface enveloppe déperditive}}{\text{Volume habitable}}$$

MORPHOLOGIE DU BÂTIMENT

- Plusieurs études ont montrés que la perte ou la conservation de la chaleur à partir de l'enveloppe du bâtiment est liée à ce rapport. Donc, les formes compactes économisent de l'énergie mieux que d'autres formes. La compacité dépend directement de l'architecture du bâtiment.
- Il est difficile de lui donner des limites chiffrées. Pour tous types de bâtiment, la compacité maximale est recherchée. Les trois objectifs ci-dessous doivent être considérés comme des pistes de réflexion lors de l'élaboration du projet d'architecture :
 - Privilégier une forme simple.
 - Privilégier les mitoyennetés.
 - Privilégier les bâtiments de grande taille. (IBGE, 2007).

MORPHOLOGIE DU BÂTIMENT

- Privilégier une forme simple.
- Privilégier les mitoyennetés.
- Privilégier les bâtiments de grande taille

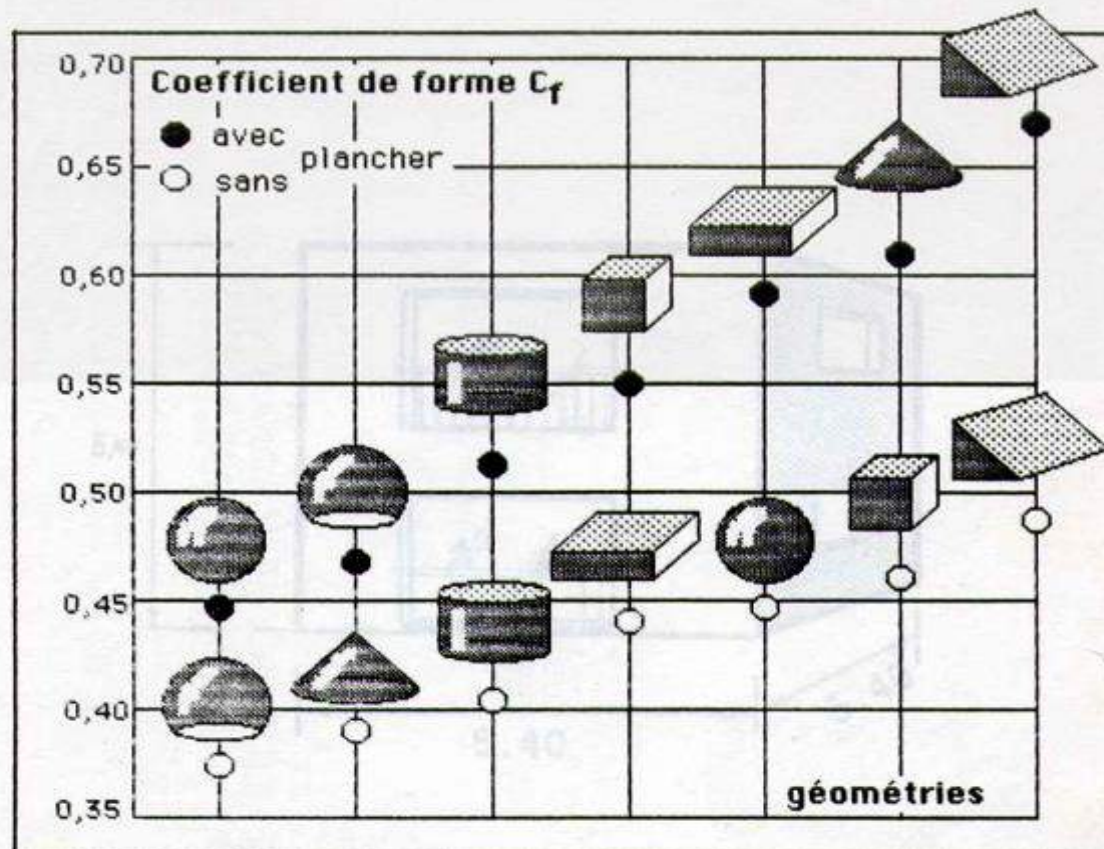


Différentes façons de diminuer le Coefficient de forme Cf
source: (IZARD, 2006)

MORPHOLOGIE DU BÂTIMENT

Hiérarchie des formes après optimisation de leur coefficient de forme C_f à volume égal pour deux cas de contact avec le sol (série du bas).

Source : "Manual d'énergétique du bâti ".

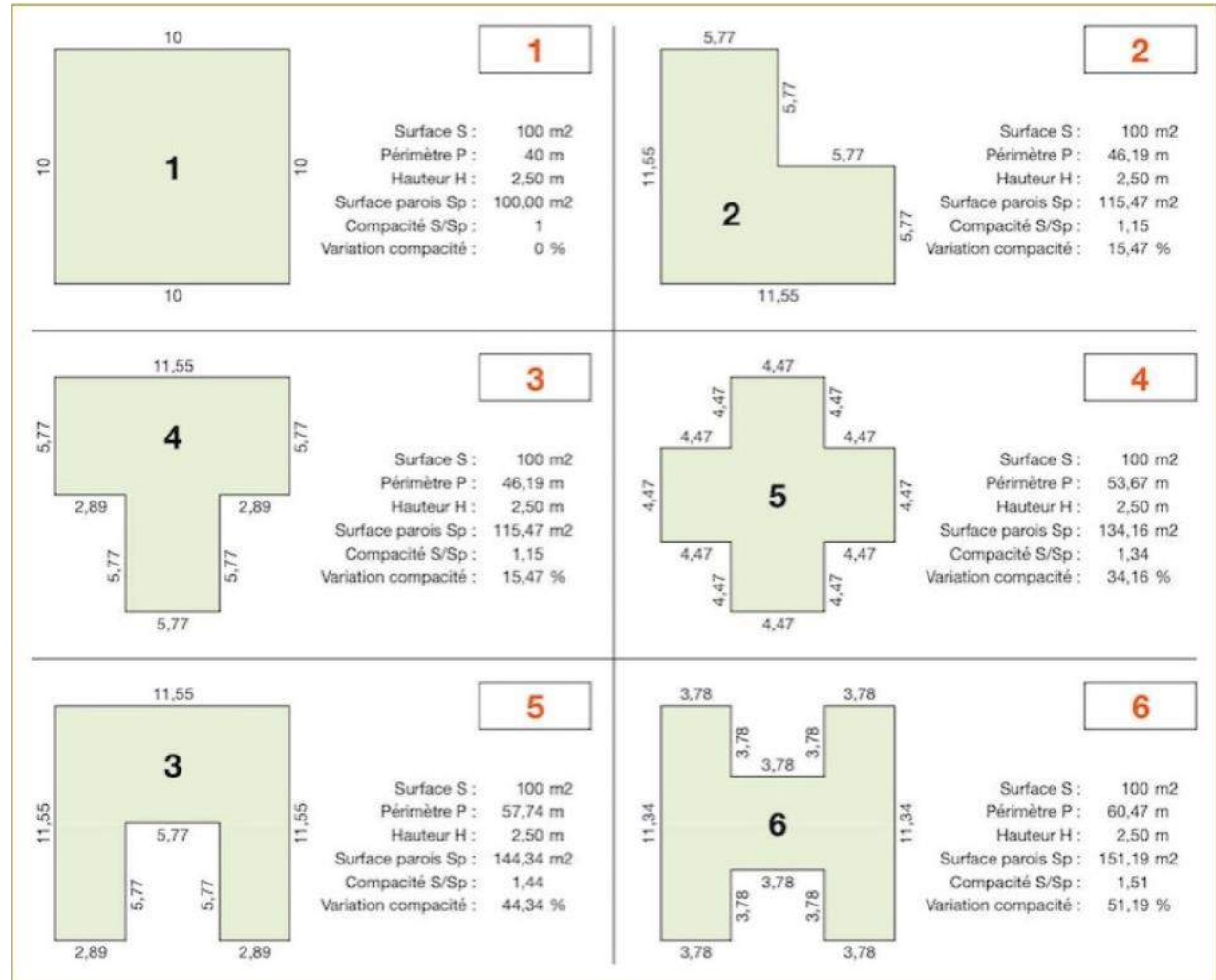


MORPHOLOGIE DU BÂTIMENT

- Détermination du coefficient de compacité en fonction de la forme:

- Les calculs du coefficient de compacité $S_p/Shab$, ont permis de classer les formes suivantes de la meilleure compacité à la plus mauvaise;

- Il faut savoir qu'il y a des formes géométriques plus favorables que d'autres.



source: (Pupille, 2017)

MORPHOLOGIE DU BÂTIMENT

Exemple de calcul de coefficient de forme sur des bâtiments de référence

En 1985, le cabinet BERNARD avait été chargé par l'AFME et l'Institut Français d'Architecture (IFA) d'une étude visant à sensibiliser les architectes au problème de l'énergie. L'étude porte sur deux types de bâtiments, des musées et des écoles, choisis pour leur représentativité de manières de construire et par leurs dates de construction.

Les indicateurs utilisés sont :

- Le U moyen d'enveloppe,
- Le coefficient de taille
- Le facteur de compacité
- Le pourcentage de parois pleines, de vitrages et de toiture
- Le pourcentage d'occupation dans le temps.

Les ratios énergétiques retenus sont :

- Les consommations d'énergie (kWh utiles) rapportés au volume chauffé hors œuvre et aux utilisateurs (les visiteurs pour les musées, les occupants des classes pour les écoles) ;
- La consommation électrique par m² (hors chauffage)
- La consommation chauffage chiffrée en énergie primaire rapportée au volume chauffé hors œuvre (Mtep/m³).

Les musées retenus :

- Le Musée de Rennes (construction avant 1900)
- L'IFA à Paris, profitant d'une protection des bâtiments mitoyens
- Le Musée MALRAUX du Havre, représentatif de la période euphorique énergétique,
- Le Centre National d'Art et de Culture (Centre Pompidou) à Paris, choisi pour sa grande taille,
- Le Musée de la Préhistoire de Nemours de conception plus récente (en 1985).

MORPHOLOGIE DU BÂTIMENT

Indicateurs architecturaux

	RENNES	IFA	CNAC	LE HAVRE	NEMOURS
Volume (10^3)	37,5	7,6	500	21,5	13,2
1/R	0,05	0,08	0,02	0,06	0,07
C	5,4	4,5	7,0	5,3	7,9
Gs	0,7	0,8	0,33	0,8	0,7
U moyen	2,6	1,6	2,1	2,6	1,3

- **1/R** = coefficient de taille (m^{-1}) : R = rayon de la sphère de même volume
- **C** = facteur de compacité (m/m : sans dimension) = $R \times S/V$.
- **Gs** = Coefficient G ($W/^\circ C.m^3$) dû aux déperditions surfaciques

MORPHOLOGIE DU BÂTIMENT

	RENNES	IFA	CNAC	LE HAVRE	NEMOURS
Entrées (10^3)	23	24	8000	30	22
Mtep/m ³	1.7	3,9	2,5	4,4	5,9
Mtep/entrée	2,5	1,2	0,16	3,7	3,6
TC 5000h	30%	59%	118%	70%	53%
TC programme	30%	21%	283%	70%	53%

- **TC 5000h** = Taux de couverture = rapport entre consommation effective et consommation théorique calculée sur la base de 5000h.
- **TC programme** = Taux de couverture = rapport entre consommation effective et consommation théorique calculée sur la base des heures réelles d'utilisation (égales à 5000 heures pour 3 des 5 musées).

MORPHOLOGIE DU BÂTIMENT

Commentaires de ces tableaux de l'exemple de calcul de coefficient de forme des bâtiments:

A la lecture des deux tableaux ci-dessus, on peut voir que la taille prime sur la compacité lorsqu'on manipule des ratios de consommation basés sur le m³. Par exemple, le CNAC a un bilan énergie primaire de 2.5 Mtep/m³ - meilleur de la série - parce qu'il a un coefficient de taille de 0,02 m⁻¹, alors que son facteur de compacité est loin d'être le meilleur ($C = 7$). Evidemment, si l'on ramène à l'unité « entrée », le bilan apparaît encore plus favorable.

La compacité est un paramètre important, mais dans les cas traités ici, elle est toujours compensée par autre chose : à Nemours ($C = 7,9$) par un meilleur U moyen d'enveloppe, au CNAC ($C = 7$) par la grande taille, à l'IFA ($C = 4,5$ grâce aux mitoyennetés) par la petite taille.



Dans sa démarche vers la Qualité Environnementale, le concepteur ne doit pas penser uniquement à épaissir les couches de matériaux isolants (améliorer le U moyen d'enveloppe) ou maîtriser les ponts thermiques, mais il doit aussi soigner la forme du bâtiment ainsi que les possibilités de groupement avec d'autres bâtiments pour diminuer le coefficient de forme C_f ou, pour une taille donnée, le facteur de compacité. Ce geste ne coûte rien en conception et permet d'économiser non seulement de l'énergie d'exploitation mais aussi des quantités de matériaux mis en œuvre du fait du linéaire de façade et de réduire la consommation foncière.



La maîtrise de l'énergie est un enjeu majeur du développement économique qui va de pair avec le développement durable. L'Algérie est confrontée au problème de l'abaissement des ressources énergétiques, cette rareté débouche vers un grand défi, celui de savoir gérer efficacement et surtout raisonnablement ces mêmes ressources afin de répondre de la façon la plus adéquate à la soif croissante en énergie.

Il s'agit maintenant de prendre les mesures indispensables pour réduire cet impact à l'image des pays pionniers dans ce domaine, un autre chemin est possible pour se développer, tout en évitant de passer par les mêmes erreurs des pays industrialisés.

FOR MORE

- Victor O, Olgyay A, (1963). *Design With Climate: Bioclimatic Approach to Architectural Regionalism*, Princeton University Press; Édition : Revised edition (2015).
- Givoni B, (1978). *L'homme, l'architecture et le climat*.
- Oliva, S. C.-P. (2007). *La conception bioclimatique*.
- LABRECHE, S. (2014). *Forme architecturale et confort hygrothermique dans les bâtiments éducatifs, cas des infrastructures d'enseignement supérieur en régions arides*.
- BOURSAS A, (2013). *Etude de l'efficacité énergétique d'un bâtiment d'habitation à l'aide d'un logiciel de simulation*.
- KHADRAOUI, M. (2019). *Étude et optimisation de la façade pour un confort thermique et une efficacité énergétique (Cas des bâtiments tertiaires dans un climat et aride)*.
- LATRECHE, S. (2019), *Études et amélioration des performances climatiques de l'enveloppe architecturale en milieux chauds et arides. Cas de l'architecture domestique autoproduite à Biskra*.
- Shakila P, Asanka R, Rangika H, (2019). *Effect of building shape, orientation, window to wall ratios and zones on energy efficiency and thermal comfort of naturally ventilated houses in tropical climate*. Springer, International Journal of Energy and Environmental Engineering.
- Fatiha M, Djaffar S, Mourad C, Nachida K, Soumia O, (2020). *Investigation Of The Improvement Building Envelope Impact On Energy Consumption Using Energy Audit*. MATEC Web of Conferences, by EDP Sciences.
- Shaosen W, Feng S, Benbin Z & Jianghui Z, (2016), *The Passive Design Strategies and Energy Performance of a Zero-energy Solar House: Sunny Inside in Solar Decathlon China*. Journal of Asian Architecture and Building Engineering, Taylor & Francis.
-
- Teguh P, Mohamed B, (2018), *Investigation on thermal performance of diverse innovative prismatic building models and establishment of the form indicator*. Sciencedirect. ELSEVIER.