



# **LE COEFFICIENT DE FORME DU BATIMENT**

**Jean-Louis IZARD**  
Laboratoire ABC, ENSA-Marseille

# Le COEFFICIENT DE FORME DU BATIMENT

Jean-Louis IZARD  
Laboratoire ABC  
ENSA-Marseille

## Introduction

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 cette question, et ce sont ces réponses qui font l'objet de cet article consacré à un indicateur d'état du bâtiment qui a trait à sa morphologie, où on verra que l'expression du coefficient de forme peut être affinée en évoquant un **facteur de compacité** indépendant de la taille du bâtiment.

## 1 - 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**. (voir l'annexe 1).

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

$$\text{Déperditions} = \sum (\text{Surfaces parois} * U \text{ parois})$$

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 S/V, V étant le volume du bâtiment, on obtient:

$$\text{Déperditions} = (S \text{ Enveloppe}/V) * U \text{ moyen Enveloppe} * V$$

Le rapport **S 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<sup>2</sup>/m<sup>3</sup>**.

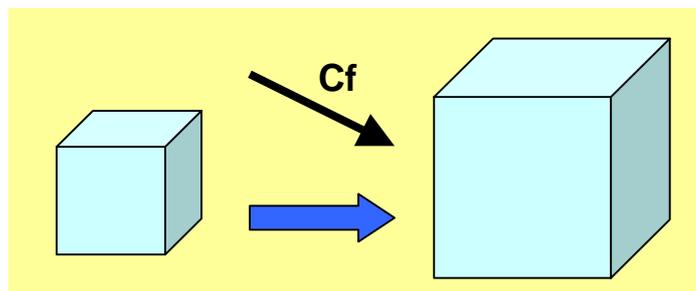
(Voir la démonstration complète en annexe 1).

## 2 - Morphologie et coefficient de forme

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

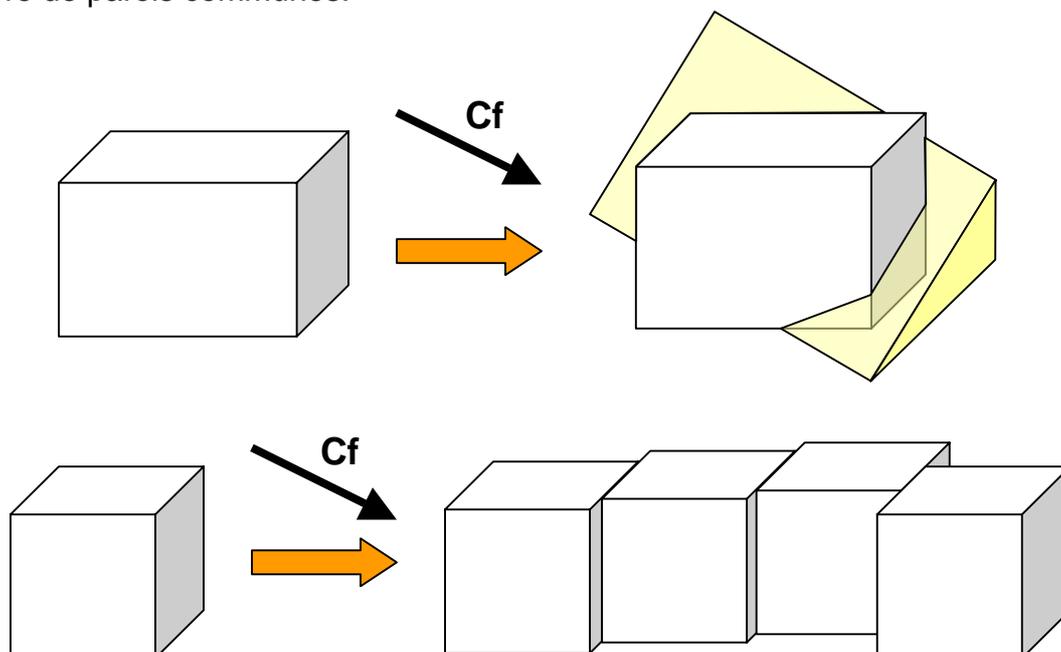
- Soit en augmentant le volume du bâtiment et, par conséquent, sa taille
- Soit, pour une forme donnée, en neutralisant une fraction de l'enveloppe
- Soit en choisissant une forme géométrique favorable

La **taille du bâtiment** intervient en premier lieu: plus un bâtiment est grand plus son coefficient de forme est favorable. Par exemple, pour une même forme de base parallélépipédique, le Centre Beaubourg de Renzo Piano et Richard Rodgers a un bien meilleur coefficient de forme que la maison de verre de Philip Johnson. (voir l'étude du cabinet Bernard en annexe 2)



Influence de la taille du bâtiment

On peut **neutraliser des fractions de parois d'enveloppe** en les enterrant au dessous d'une certaine profondeur et en posant le bâtiment au sol: ainsi la position sur pilotis constitue un facteur défavorable. On peut aussi obtenir cette neutralisation en soignant les groupements de plusieurs volumes de manière à définir un certain nombre de parois communes.



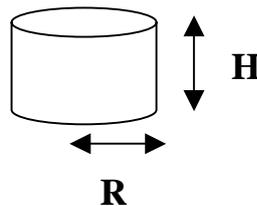
Différentes façons de diminuer le Coefficient de forme Cf

Enfin, il faut savoir qu'il y a des **formes géométriques** plus favorables que d'autres. Cette question a fait l'objet d'une investigation approfondie par J. Brau, P. Depecker et J.M. Pallier, de l'INSA de Lyon. Les auteurs de cette étude donnent les formules permettant de calculer la valeur de **Cf** en fonction des dimensions caractéristiques de la forme.

Ils ont également entrepris une étude d'optimisation pour trouver en fonction de ces dimensions la valeur minimale du coefficient de forme. L'étude ayant été faite pour un même volume, elle se conclut par une comparaison des géométries retenues dans leur version optimisée et sous deux conditions : posées au sol et sur pilotis. Pour la première catégorie, la forme la plus favorable est la **calotte sphérique** telle que la hauteur soit égale à 1,5 fois le rayon et pour la seconde, c'est la *sphère* qui s'avère la forme la plus efficace.

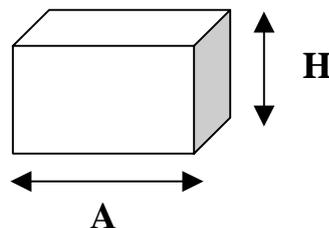
La *calotte sphérique* et surtout la *sphère* étant des formes peu usitées en architecture (sauf partiellement pour les dômes), le plus intéressant dans cette étude est la fourniture du rapport de dimensions correspondant à la valeur minimale du coefficient de forme; ainsi par exemple pour des formes plus répandues:

- Pour le **cylindre**, c'est la hauteur égale au rayon de la base



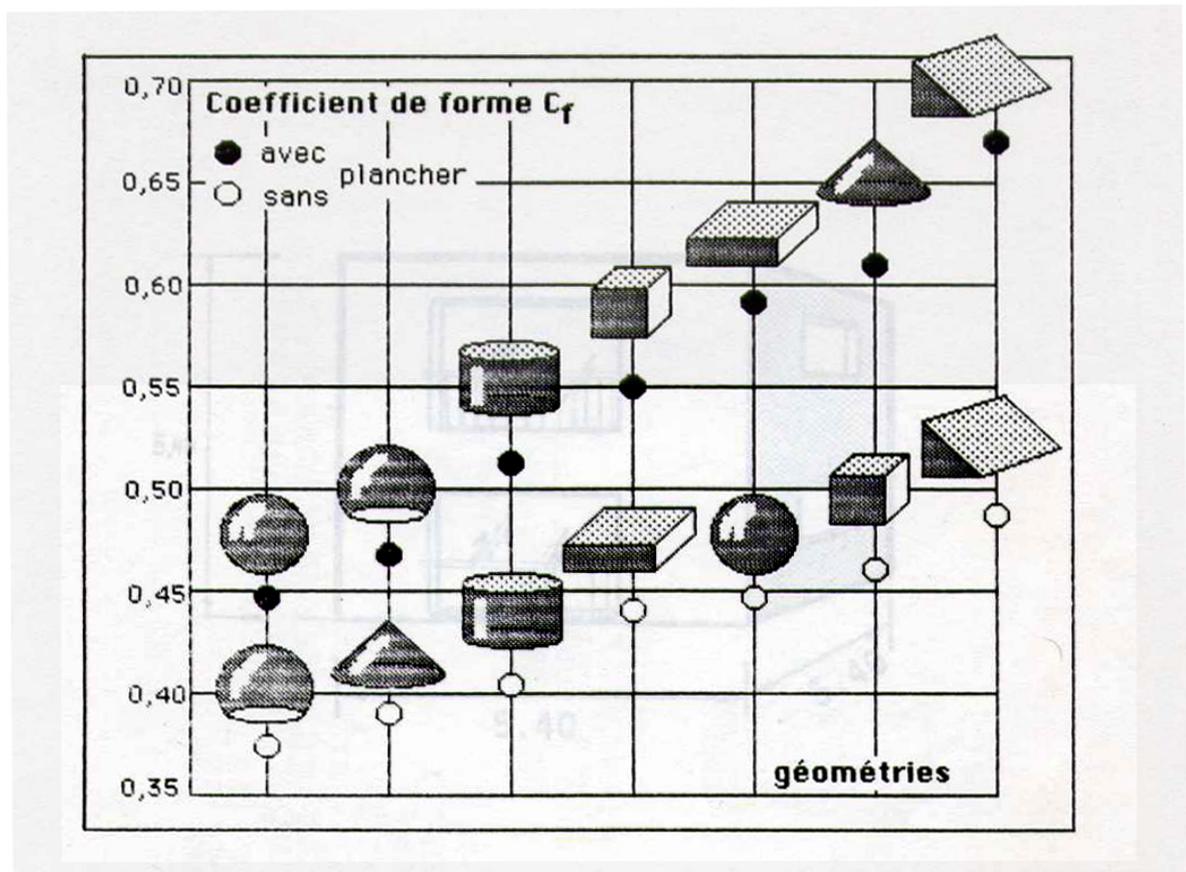
**Le cylindre optimal est obtenu pour  $H = R$**

- Pour le **parallélépipède de plan carré**, c'est la hauteur égale à la moitié du côté du carré.



**Le parallélépipède de plan carré optimal est obtenu pour  $A = 2H$**

L'étude montre enfin qu'entre la plus performante et la moins performante des formes sélectionnées, toujours dans leurs versions optimisées, la valeur du coefficient de forme varie quasiment dans une proportion de 1 à 2, confirmant l'enjeu du choix de la morphologie. Cette proportion s'agrandit encore si l'on intègre à la série des formes non optimisées ou, pire, des volumes présentant de nombreuses circonvolutions (bâtiments à ailettes).



Hierarchie des formes après optimisation de leur Coefficient de forme  $C_f$  à volume égal pour deux cas de contact avec le sol : posées au sol (série du haut) et sur pilotis (série du bas).  
D'après «Manuel d'énergétique du bâti ».

### 3 - Conclusion

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 **Cf 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 oeuvre du fait du linéaire de façade et de réduire la consommation foncière.

On peut aussi considérer que l'architecte tient là un motif très fort pour donner à son intervention dans la conception un sens à ses recherches morphologiques.

## 4 – Bibliographie

Quelques documents à consulter sur ce sujet :

Cabinet Bernard, « *Les enseignements de neuf bâtiments thermiquement remarquables* » ; (Pédagogie de l'énergie en architecture) ; AFME-Institut Français d'Architecture ; rapport Juillet 1985. (Voir résumé en annexe 2).

**Une étude restée confidentielle sur l'influence de la forme sur les consommations d'énergie de bâtiments remarquables.**

J. Brau, P. Depecker et J.M. Pallier, (INSA de Lyon) ; « *Economies d'énergie et forme des bâtiments. L'analyse morpho-énergétique* » ; Article publié dans la Revue CVC, Septembre 1981.

**Article poussant très loin l'analyse morphologique en recherchant l'expression du coefficient de forme et ses fonctions d'optimisation. Voir aussi le document "Morphologie" à télécharger.**

« *Manuel d'énergétique du bâti ; chapitre 4, Le facteur énergétique dans la conception des ouvrages, approche globale* » Rédaction collective sous la direction de Patrick Depecker. 1992 ?

**Rédaction d'articles à vocation pédagogique destinés aux architectes. .**

## ANNEXE 1

### 1 - Coefficient de forme et U moyen d'enveloppe

A l'époque où a été rédigé ce texte, la réglementation était basée sur le « **coefficient B** », coefficient de déperditions volumiques ( $W/°C.m^3$ ), division des déperditions totales par degré d'écart par le volume à chauffer. Depuis, la réglementation a changé, mais le message que contient ce texte est toujours d'actualité.

La décomposition la plus courante du "coefficient G", coefficient de déperditions volumiques du bâtiment consiste à faire apparaître le "**coefficient de forme Cf**". En éliminant le renouvellement d'air, on a :

$$G = \frac{\Sigma US + \Sigma kL}{V}$$

En multipliant cette expression par le facteur  $SE/SE$  où **SE** représente la **Surface totale de l'enveloppe** ( $m^2$ ), on obtient :

$$G = \frac{\Sigma US + \Sigma kL}{SE} \times \frac{SE}{V}$$

On voit donc apparaître deux indicateurs:

- $G = \frac{\Sigma US + \Sigma kL}{SE}$  qui représente le "coefficient de transmission thermique moyen de l'enveloppe", que l'on peut remplacer par **UE**. ( $W/°C.m^2$ )
- $\frac{SE}{V}$  qui représente le coefficient de forme **Cf** (unité :  $m^{-1}$ ). On a donc bien :

$$G = UE \times Cf$$

**Le coefficient de déperditions volumiques d'un bâtiment peut donc être présenté comme le produit d'un coefficient de transmission thermique moyen de l'enveloppe par un coefficient de forme.**

**Ces deux indicateurs couvrent parfaitement bien les échanges du bâtiment en régime permanent.**

## 2 - Coefficient de taille et facteur de compacité

Le coefficient de déperditions volumiques G peut encore se décomposer pour introduire une nouvelle dimension: le "coefficient de taille". Cela permet de tenir compte du fait qu'un bâtiment de grande taille, toutes choses égales par ailleurs, a des déperditions volumiques plus faibles.

**On peut introduire ce coefficient en multipliant l'expression décomposée de G par un facteur égal à 1, sous la forme du rapport R/R, R étant soit le rayon de la sphère équivalente au volume, soit le côté du cube équivalent (dont la valeur est alors  $V^{1/3}$ ) :**

$$G = UE * (SE/V) * (R/R)$$

$$G = UE * (1/R) * (R*SE/V)$$

Où:

- UE est le coefficient U moyen d'enveloppe,
- 1/R est le **coefficient de taille**, égal à  $V^{-1/3}$  ;
- R\*SE/V est le **coefficient de forme réduit**, égal en fait à  $SE/V^{2/3}$

Le coefficient B peut donc être décomposé en trois facteurs :

$$B = \text{U moyen enveloppe} \times \text{Coefficient de taille} \times \text{Coefficient de forme réduit}$$

Le **coefficient de forme réduit** (que l'on peut appeler aussi « **facteur de compacité** ») offre l'avantage d'être une grandeur sans dimension.

Si l'on prend la sphère comme forme de base, le facteur de compacité est égal à 3, valeur minimale que l'on puisse atteindre.

## ANNEXE 2

### 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 de 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 m<sup>2</sup> (hors chauffage)
- La consommation chauffage chiffrée en énergie primaire rapportée au volume chauffé hors œuvre (Mtep/m<sup>3</sup>).

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).

#### Indicateurs architecturaux

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

- **1/R** = coefficient de taille (m<sup>-1</sup>) : R = rayon de la sphère de même volume
- **C** = facteur de compacité (m/m : sans dimension) = R x S/V.
- **Gs** = Coefficient G (W/°C.m<sup>3</sup>) dû aux déperditions surfaciques

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

### Commentaires de ces tableaux

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 m<sup>3</sup>. Par exemple, le CNAC a un bilan énergie primaire de 2.5 Mtep/m<sup>3</sup> - meilleur de la série - parce qu'il a un coefficient de taille de 0,02 m<sup>-1</sup>, 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 Umoyen d'enveloppe, au CNAC (C = 7) par la grande taille, à l'IFA (C = 4,5 grâce aux mitoyennetés) par la petite taille.

