Cours CNAM ENF 111
Intégration des ENR dans un habitat économe

Sujet d'examen 2012, 1ère session, **durée 3h**
Vendredi 29 juin 2012
(les documents sont autorisés)

La communauté de communes de Forterre[1] souhaite construire un ensemble, constitué de bureaux et de salles de réunion, destiné à lui servir de siège. La totalité doit représenter 300m² de locaux. Le conseil communautaire a émis le souhait que le bâtiment soit économe en énergie et puisse produire de l'énergie solaire[2].

Le président de la communauté de communes préconise l'utilisation d'un terrain que lui met gratuitement à disposition l'une des communes, juste à côté de la déchetterie inter-communale.

Toujours pour des raisons d'économie d'investissement, il considère aussi que le recours à un architecte quoiqu'obligatoire, doit être limité et qu'on peut se contenter d'une construction simple et robuste. Il propose un ensemble en RdC seul, construit en parpaings (murs extérieurs), avec isolation par l'intérieur et chauffage électrique direct (convecteurs).

Certains conseillers font remarquer que le site, situé en pleins champs, à 300m du premier petit village, nécessitera beaucoup de déplacements en automobile, et qu'il est en outre au sommet d'une haute colline, soumis à de forts vents et à des températures plus rigoureuses que sur l'ensemble du canton. Eux préféreraient que le bâtiment soit installé dans le centre de la commune principale de la CC, de manière qu'au moins la partie correspondante de la population puisse y aller à pied.

1) Conseils en phase amont (2 points)

L'un d'eux vous consulte pour connaître votre avis et pour faciliter, espère-t-il, de bonnes décisions.

- Sur le lieu d'implantation, le mode d'isolation et le mode de chauffage : les options du président de la CC vous semblent-elles les bonnes ? Sinon quelles autres options leur préférer ?
- Comment réduire les ponts thermiques au niveau des planchers, des murs de refend et des fenêtres ? Et pour une toiture terrasse, comment traiter les ponts thermiques au niveau des acrotères (faire un dessin) ?
- Sur la forme du bâtiment et son orientation, quels conseils donnerez-vous ? Et pour les ouvertures ?
- Est-il préférable de prévoir un système solaire thermique pour l'eau chaude sanitaire, ou davantage de modules photovoltaïques pour compenser la consommation d'énergie sur ce poste ?

Donner un argumentaire pour ces différents conseils.

[1] Inspiré d'un cas réel !
[2] Ça malheureusement, c'est de la fiction dans le cas cité – cf. la suite.

2) Calcul des consommations de chauffage (6 points)

Finalement, le bâtiment sera construit sur le terrain en hauteur.
Le bâtiment retenu est un parallélépipède de 30 mètres de long, 10 mètres de large, sur un niveau, de hauteur sous plafond 2,5 m. Ses grandes façades donnent sur l'est et l'ouest.

Il est construit en parpaings de ciment de 20cm d'épaisseur (murs), avec plancher sur vide sanitaire et toiture terrasse en béton de 20 cm d'épaisseur. On y a placé 40% de baies vitrées sur chacune des 4 façades.

Le terrain est assez vaste tout autour du bâtiment, et il est bien exposé au soleil.

Les murs sont isolés par l'intérieur avec 10 cm de polystyrène, et sont couverts, à l'intérieur et à l'extérieur, par un enduit d'un cm d'épaisseur. Le plancher, sur vide sanitaire, est isolé par 10 cm de polystyrène en sous face de la dalle et le toit comporte 12 cm de polyuréthane au dessus du béton. Les baies sont munies de doubles vitrages à basse émissivité et lame d'argon (facteur solaire du vitrage égal à 0,62) comportant 90% de vitrage et 10% de cadre (U_{baie} = 1,3 $W.m^{-2}.K^{-1}$).

Les locaux sont chauffés à 20°C sur l'ensemble de la saison de chauffe, on considèrera 58 000 degrés-heures (à base 18). Les propriétés des matériaux sont les suivantes :

	Parpaings	béton	polystyrène	Polyuréthane	enduit
conductivité en $W.m^{-1}.K^{-1}$	1,0	1,7	0,04	0,03	0,5

Les ponts thermiques sont estimés au niveau suivant : un coefficient de pertes linéïques psi de 0,4 $W.m^{-1}.K^{-1}$ au niveau du plancher et 0,9 $W.m^{-1}.K^{-1}$ au niveau de la toiture.

Le renouvellement d'air est assuré par ventilation mécanique, à un débit correspondant à 0,5 vol/h, nécessaire pour assurer une qualité de l'air satisfaisante. On tiendra également compte des infiltrations d'air, correspondant à 0,1 vol/h (fuites et ouverture des portes et fenêtres). Une ventilation double flux est mise en œuvre avec un échangeur de 80% d'efficacité. La chaleur volumique de l'air est de 0,34 $Wh.m^{-3}.K^{-1}$.

Calculer les besoins de chauffage du bâtiment en utilisant une méthode de bilan annuel, cf. annexe, l'ensoleillement vertical sud étant de 410 kWh/m^2.

Les apports internes sont estimés à 21kWh/m².an.

3) Evaluation des consommations (4 points)

Calculer la consommation d'énergie primaire du bâtiment en supposant :

- une consommation d'eau chaude sanitaire (ballon ECS solaire à complément électrique) de 150 litres par jour d'eau chaude à 50°C, l'eau froide étant à

10°C. On considèrera une fraction solaire de 50% obtenue par la mise en œuvre du solaire thermique et la chaleur massique de l'eau à 1,16 kWh/t.K,
- un rendement du système de chauffage de 100%, et un rendement de 90% pour l'ECS (en raison des pertes de stockage et de distribution),
- une puissance de ventilateur de 0,1W pour faire circuler 1m³/h
- une consommation pour les autres usages (éclairage, bureautique, cuisine, etc.) égale à 24 kWh/m².an.
- l'absence de climatisation active,
- un facteur d'équivalence de 2,58 entre l'électricité et l'énergie primaire.

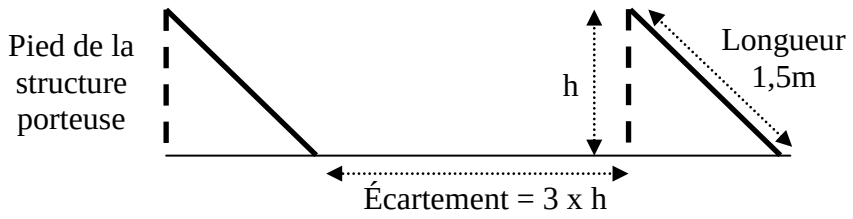
4) Production d'électricité

4.1 Dimensionnement (3 points)

La production sera assurée par des modules photovoltaïques inclinés à 45°, placés sur la toiture terrasse.
Quelle surface de modules photovoltaïques faudrait-il installer pour atteindre un bilan nul en énergie primaire, sachant que l'ensoleillement moyen annuel sur une surface sud inclinée à 45° est de 1300 kWh/m^2, que le rendement des modules est de 17% et le rendement de l 'onduleur de 95% ?
Quelle surface de capteurs solaires thermiques faut-il prévoir, la productivité annuelle des capteurs étant de 450 kWh/m^2 ?

4.2 Conception (5 points)

En ce qui concerne les rangées placées en toiture, on considèrera des modules de 1,5 m de long et d'un mètre de large. On espacera les rangées de manière à éviter de générer des ombres d'une rangée sur l'autre, soit un écartement d'au moins 3 fois la hauteur atteinte par le bout de chaque module (cf. le schéma ci-dessous). On inclura des capteurs solaires thermiques de même longueur et largeur. Un espace de 75 cm entre les quatre bords de la toiture et les panneaux est nécessaire pour des raisons de sécurité et d'accès pour maintenance.



En conclusion, ce bâtiment, ainsi conçu et équipé, a-t-il un bilan positif en énergie primaire ?

Quelles modifications simples du projet préconisez-vous pour améliorer son bilan énergétique ?

Annexe : exemple de méthode de bilan annuel

Résistances thermiques superficielles

	Paroi en contact avec : — l'extérieur, — un passage ouvert, — un local ouvert.			Paroi en contact avec : — un autre local, chauffé ou non chauffé, — un comble, — un vide sanitaire.		
	$\frac{1}{h_i}$	$\frac{1}{h_e}$	$\frac{1}{h_i}+\frac{1}{h_e}$	$\frac{1}{h_i}$	$\frac{1}{h'_i}$	$\frac{1}{h_i}+\frac{1}{h'_i}$
Paroi verticale ou faisant avec le plan horizontal un angle supérieur à 60°	0,11	0,06	**0,17**	0,11	0,11	**0,22**
Paroi horizontale ou faisant avec le plan horizontal un angle égal ou inférieur à 60°, flux ascendant (toiture)	0,09	0,05	**0,14**	0,09	0,09	**0,18**
flux descendant (plancher bas)	0,17	0,05	**0,22**	0,17	0,17	**0,34**

Surface sud équivalente d'un m^2 de vitrage selon son orientation et son inclinaison :

Inclinaison de la paroi sur l'horizontale, en degrés	Orientation de la paroi				
	SSE à SSO	SSE à ESE et SSO à OSO	ESE à ENE et OSO à ONO	ENE à NNE et ONO à NNO	NNE à NNO
De 85 à 90	1	0,85	0,55	0,30	0,20
De 70 à 84	1,15	0,95	0,60	0,35	0,20
De 55 à 69	1,20	1,05	0,65	0,35	0,25
De 40 à 54	1,20	1,05	0,75	0,40	0,30
De 25 à 39	1,15	1,00	0,75	0,50	0,40
De 10 à 24	1,00	0,95	0,80	0,65	0,55
De 0 à 9	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80

X = (apports solaires + apports internes) / déperditions
F = $(X - X^p) / (1 - X^p)$

Murs et planchers lourds : p = 3,6	Planchers lourds et murs légers : p = 2,9	Planchers légers et murs lourds : p=2,5	Planchers et murs légers : p=2,1

Besoins de chauffage = Déperditions x (1 – F)