

1.- DONNÉES DE BASE.....	2
1.1.- Description du bâtiment.....	2
1.2.- Conditions climatiques.....	3
1.3.- Conditions d'utilisation.....	3
2.- CALCUL ET DIMENSIONNEMENT.....	6
2.1.- Conception du système de captage.....	6
2.1.1.- Capteurs. Courbes de performance.....	6
2.1.2.- Ensemble de captage.....	6
2.1.3.- Détermination du rayonnement.....	6
2.1.4.- Dimensionnement de la surface de captage.....	7
2.1.5.- Calcul de la couverture solaire.....	8
2.1.6.- Calcul de la séparation entre les rangées de capteurs.....	8
2.2.- Conception du système d'échangeur de chaleur et de stockage.....	8
2.3.- Conception du circuit hydraulique.....	9
2.3.1.- Calcul du diamètre de la tuyauterie.....	9
2.3.2.- Calcul des pertes de charges de l'installation.....	9
2.3.3.- Pompe de circulation.....	11
2.3.4.- Vase d'expansion.....	13
2.3.5.- Fluide caloporteur.....	15



Installation d'E.C.S.par chauffage solaire thermique

Exemple multi-zone d'un logement collectif RT2012/NRA2000/Installation Ventilation

Date: 11/09/13

1.- DONNÉES DE BASE

1.1.- Description du bâtiment

Bâtiment situé en Paris.

Coordonnées géographiques:

Latitude	45° 45' 0" N
Longitude	2° 18' 0" E

Ci-dessous le détail du nombre de chambres pour chaque logement ainsi que le nombre d'individus affectés à chacune d'elle:

Ensemble de capteurs: 1			
Référence	Nombre de chambres	Nombre de personnes	Surface
bureau 1 - Rez-de-Chaussée			47.90
bureau 2 - Rez-de-Chaussée			9.97
T2 03/06 - Etage 1	1	1.5	
T2 04/07 - Etage 1	1	1.5	
T3 05/08 - Etage 1	2	3	
T2 03/06 - Etage 2	1	1.5	
T2 04/07 - Etage 2	1	1.5	
T3 05/08 - Etage 2	2	3	
T2 09 R+3 est - Etage 3	1	1.5	
T4D 11 - Etage 3	3	4	
T3 09 R+3 - Etage 3	2	3	

L'orientation des capteurs est décrite dans le tableau suivant.

Batterie	Orientation
1	SO(228°)
2	SO(228°)



Installation d'E.C.S. par chauffage solaire thermique

Exemple multi-zone d'un logement collectif RT2012/NRA2000/Installation Ventilation

Date: 11/09/13

1.2.- Conditions climatiques

Mois	Rayonnement global (MJ/m ²)	Température ambiante quotidienne (°C)	Température du réseau (°C)
Janvier	5.40	10	15
Février	8.30	11	15
Mars	11.60	13	15
Avril	16.00	16	15
Mai	20.60	19	15
Juin	23.50	24	15
Juillet	24.20	27	15
Août	22.20	27	15
Septembre	16.00	24	15
Octobre	10.30	20	15
Novembre	6.60	16	15
Décembre	5.20	12	15

1.3.- Conditions d'utilisation

Compte tenu de l'occupation la valeur moyenne obtenue est de 22.0 l par personne et par jour, avec une température de consommation de référence de 60 °C. Comme la température d'utilisation est de 55 °C, différente de 60 °C, il faut corriger cette consommation moyenne pour que la demande énergétique finale du système pour chaque mois soit équivalente à celle obtenue avec la consommation définie pour la température de référence.

Pour la correction, l'expression suivante a été utilisée:

$$C_i(T) = C_i(60^\circ\text{C}) \times \left(\frac{60 - T_i}{T - T_i} \right)$$

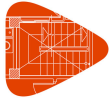
où

$C_i(T)$: La consommation d'eau chaude pour le mois de i à la température choisie de T;

$C_i(60^\circ\text{C})$: Consommation d'eau chaude pour le mois de i à la température de 60 °C;

T: Température de stockage finale;

T_i : Température moyenne de l'eau froide au mois de i;



Installation d'E.C.S.par chauffage solaire thermique

Exemple multi-zone d'un logement collectif RT2012/NRA2000/Installation Ventilation

Date: 11/09/13

Ensemble de capteurs: 1				
Référence	Nombre de chambres	Nombre de personnes	Surface	Consommation de référence litres/jour
bureau 1 - Rez-de-Chaussée			47.90	48
bureau 2 - Rez-de-Chaussée			9.97	10
T2 03/06 - Etage 1	1	1.5		33
T2 04/07 - Etage 1	1	1.5		33
T3 05/08 - Etage 1	2	3		66
T2 03/06 - Etage 2	1	1.5		33
T2 04/07 - Etage 2	1	1.5		33
T3 05/08 - Etage 2	2	3		66
T2 09 R+3 - Etage 3	1	1.5		33
T4D 11 - Etage 3	3	4		88
T3 09 R+3 - Etage 3	2	3		66
Total				509

A partir des données ci-dessus, il est possible de calculer la demande énergétique pour chaque mois. Les valeurs obtenues sont mises dans le tableau suivant:

Mois	Occupation (%)	Consommation (m ³)	Température du réseau (°C)	Saut thermique (°C)	Demande (MJ)
Janvier	100	16.9	15	40	2782.81
Février	100	15.2	15	40	2513.51
Mars	100	16.9	15	40	2782.81
Avril	100	16.3	15	40	2693.04
Mai	100	16.9	15	40	2782.81
Juin	100	16.3	15	40	2693.04
Juillet	100	16.9	15	40	2782.81
Août	100	16.9	15	40	2782.81
Septembre	100	16.3	15	40	2693.04
Octobre	100	16.9	15	40	2782.81
Novembre	100	16.3	15	40	2693.04
Décembre	100	16.9	15	40	2782.81



Installation d'E.C.S. par chauffage solaire thermique

Exemple multi-zone d'un logement collectif RT2012/NRA2000/Installation Ventilation

Date: 11/09/13

La description des valeurs affichées pour chaque colonne est la suivante:

- Occupation: Estimation du pourcentage mensuel d'occupation.
- Consommation: Il est calculé selon la formule suivante:

$$C = \frac{\%Ocup}{100} \cdot N_{mes} (dias) \cdot Q_{acs} (m^3 / dia)$$

Température du réseau: Température d'approvisionnement de l'eau (valeur en mensuel en °C)

Demande thermique: Exprime la demande en énergie nécessaire pour couvrir la consommation d'eau chaude nécessaire. Elle est calculée selon la formule suivante:

$$Q_{acs} = \rho \cdot C \cdot C_p \cdot \Delta T$$

où

Q_{ECS} : Demande d'eau chaude (MJ).

ρ : Densité volumétrique de l'eau (Kg/m³).

C : Consommation (m³).

C_p : Chaleur spécifique de l'eau (MJ/kg°C).

ΔT : Saut thermique (°C).



Installation d'E.C.S. par chauffage solaire thermique

Exemple multi-zone d'un logement collectif RT2012/NRA2000/Installation Ventilation

Date: 11/09/13

2.- CALCUL ET DIMENSIONNEMENT

2.1.- Conception du système de captage

2.1.1.- Capteurs. Courbes de performance

Le système de rétroaction sera composé d'éléments dont la courbe des performances INTA est:

$$\eta = \eta_0 - a_1 \left(\frac{t^e - t^a}{I} \right)$$

où

η_0 : Facteur optique (0.75).

a_1 : Coefficient de perte (3.99).

t^e : Température moyenne (°C).

t^a : Température ambiante (°C).

I : Irradiation solaire (W/m²).

Le type et la disposition des capteurs sélectionnés sont décrits comme suit:

Modèle	Disposition	Nombre total de capteurs	Nombres total de batteries
	En parallèle	4	2 de 2 d'unités

2.1.2.- Ensemble de captage

Le tableau suivant permet de consulter les volumes d'accumulation et les zones d'échange totales pour chaque ensemble de captage:

Ensemble de capteurs	Vol. accumulation (l)	Sup. captage (m ²)
1	1000	8.40

2.1.3.- Détermination du rayonnement

Pour obtenir le rayonnement solaire effectif incident sur les capteurs les paramètres suivants doivent être pris en compte:



Installation d'E.C.S.par chauffage solaire thermique

Exemple multi-zone d'un logement collectif RT2012/NRA2000/Installation Ventilation

Date: 11/09/13

Orientation	SO(228°)
Inclinaison	35°

Les ombres projetés sur les capteurs ne sont pas prises en compte.

2.1.4.- Dimensionnement de la surface de captage

Le dimensionnement de la surface de captage a été réalisé avec la méthode des courbes 'f' (F-Chart), qui permet de réaliser le calcul de la couverture solaire et du rendement moyen pour des périodes de calcul mensuelles et annuelles.

Le volume d'accumulation équivalent, est pris approximativement égal, à la charge d'une consommation quotidienne moyenne. La surface de captage est dimensionnée pour atteindre une fraction solaire annuelle supérieure à 50%.

La valeur obtenue pour la surface de captage est de 8.40 m², et pour le volume de captage de 1000 l.

Les résultats obtenus sont résumés dans le tableau suivant:

Mois	Rayonnement global (MJ/m ²)	Température ambiante quotidienne (°C)	Demande (MJ)	Energie auxiliaire (MJ)	Fraction solaire (%)
Janvier	5.40	10	2782.81	2093.80	25
Février	8.30	11	2513.51	1507.16	40
Mars	11.60	13	2782.81	1312.67	53
Avril	16.00	16	2693.04	914.99	66
Mai	20.60	19	2782.81	617.44	78
Juin	23.50	24	2693.04	384.16	86
Juillet	24.20	27	2782.81	249.85	91
Août	22.20	27	2782.81	229.06	92
Septembre	16.00	24	2693.04	569.83	79
Octobre	10.30	20	2782.81	1130.70	59
Novembre	6.60	16	2693.04	1642.92	39
Décembre	5.20	12	2782.81	2039.29	27



Installation d'E.C.S.par chauffage solaire thermique

Exemple multi-zone d'un logement collectif RT2012/NRA2000/Installation Ventilation

Date: 11/09/13

2.1.5.- Calcul de la couverture solaire

L'énergie produite ne dépasse pas, dans un mois, le 110% de la demande de consommations, et il n'y a pas de demande supérieur à 100% pour pendant trois mois consécutifs.

La couverture solaire annuelle obtenue par le système est égale à 61%.

2.1.6.- Calcul de la séparation entre les rangées de capteurs

La séparation entre les rangées de capteurs doit être égale ou supérieure à la valeur obtenue par l'expression suivante:

$$d = k \cdot h$$

où

d: Séparation entre les rangées de capteurs.

h: Hauteur du capteur.

(Les deux grandeurs sont exprimées dans la même unité)

k': Coefficient sans dimension dont la valeur dépend de la latitude de l'emplacement et de l'orientation des capteurs et qui garantit 4 heures sans ombres sur le capteur autour de midi au solstice d'hiver.

Ci-dessous la valeur du coefficient 'k' pour différentes latitudes avec une orientation optimale:

Valeur de coefficient de séparation entre les rangées de capteurs (k)									
Latitude (°)	10	15	20	25	30	35	40	45	50
Coefficient k	0.74	0.89	1.06	1.26	1.52	1.85	2.31	3.01	4.2

Par conséquent, la distance minimale entre les batteries des capteurs sera de 5.05 m (pour un coefficient 'k' de 3.37).

2.2.- Conception du système d'échangeur de chaleur et de stockage

L'installation se compose d'un circuit principal fermé (Circulation forcée) doté d'un système de captage avec une surface total de capteurs de 8 m² et d'un ballon d'eau chaude sanitaire avec échangeur collective. Il est prévu,d'installer également un système d'alimentation auxiliaire.

Le volume de stockage est sélectionné en conformité avec:



Installation d'E.C.S. par chauffage solaire thermique

Exemple multi-zone d'un logement collectif RT2012/NRA2000/Installation Ventilation

Date: 11/09/13

$$50 < (V/A) < 180$$

où

A: Somme des aires des capteurs.

V: Volume d'accumulation exprimé en litres.

Le ballon d'eau chaude sanitaire avec échangeur suivant est utilisé:

ballon accumulateur en acier vitrifié, avec échangeur à un serpentin, de sol, 1000 l, hauteur 2280 mm, diamètre 1050 mm, isolation de 50 mm d'épaisseur avec polyuréthane à haute densité, sans CFC, protection contre la corrosion via une anode de magnésium, protection externe avec gaine en PVC

La relation entre la surface utile d'échange de l'échangeur de chaleur inclus et la surface totale de captage est supérieure à 0.15 et inférieure ou égale à 1.

2.3.- Conception du circuit hydraulique

2.3.1.- Calcul du diamètre de la tuyauterie

Pour le circuit primaire de l'installation, une tuyauterie en cuivre est utilisée.

Pour le circuit d'E.C.S. une tuyauterie de cuivre est utilisée.

Le diamètre de la tuyauterie est choisi de telle sorte que la vitesse de l'écoulement du fluide sera inférieure à 2 m/s. Le dimensionnement de la tuyauterie est effectué pour que la perte de charges unitaire dans celle-ci ne soit jamais supérieure à 40.00 mm.c.a/m.

2.3.2.- Calcul des pertes de charges de l'installation

Les pertes de charges doivent être déterminées dans les éléments suivants de l'installation:

- Capteurs
- Tuyauterie (colonne montante et dérivation aux batteries des capteurs du circuit primaire)
- Echangeur de chaleur

FORMULES UTILISÉES



Installation d'E.C.S. par chauffage solaire thermique

Exemple multi-zone d'un logement collectif RT2012/NRA2000/Installation Ventilation

Date: 11/09/13

Pour le calcul de la perte de charge, ΔP , de la tuyauterie, la formule utilisée est celle de Darcy-Weisbach décrite ci-dessous:

$$\Delta P = \lambda \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{v^2}{29,81}$$

où

ΔP : Perte de charge (m.c.a).

λ : Coefficient de frottement

L : Longueur de la tuyauterie (m).

D : Diamètre de la tuyauterie (m).

v : Vitesse du fluide (m/s).

Pour calculer les pertes de charge, la longueur équivalente correspondant aux singularités du circuit (coudes, tés, vannes, etc.) est ajouté à la longueur réelle de la conduite. Cette longueur équivalente correspond à la longueur de tuyauterie qui provoquerait une perte de charges égale à celle produite par les singularités.

D'une forme approximative, la longueur équivalente est calculée comme un pourcentage de de la longueur réelle de la tuyauterie. Dans ce cas, un pourcentage égal est appliqué à 15%.

Le coefficient de frottement, λ , dépend du nombre de Reynolds.

Calcul du nombre de Reynolds: (R_e)

$$R_e = \frac{(\rho \cdot v \cdot D)}{\mu}$$

où

R_e : Valeur du nombre de Reynolds (sans dimension).

ρ : 1000 Kg/m³

v : Vitesse du fluide (m/s).

D : Diamètre de la tuyauterie (m).

μ : Viscosité de l'eau (0.001 poises à 20°C).



Installation d'E.C.S. par chauffage solaire thermique

Exemple multi-zone d'un logement collectif RT2012/NRA2000/Installation Ventilation

Date: 11/09/13

Le calcul du coefficient de frottement (λ) pour une valeur de R_e comprise entre 3000 et 10^5 (ce qui est généralement le cas pour les installations de capteurs solaires):

$$\lambda = \frac{0,32}{R_e^{0,25}}$$

Comme les calculs ont été fait en supposant que le fluide circulant est de l'eau à une température de 55°C et avec une viscosité de 2.990000 mPa s, les valeurs de perte de charges sont multipliées par le facteur de correction qui suit:

$$factor = \sqrt[4]{\frac{\mu_{FC}}{\mu_{eau}}}$$

2.3.3.- Pompe de circulation

La pompe nécessaire pour le circuit primaire doit avoir le point de fonctionnement suivant:

Débit (l/h)	Pression (Pa)
500.0	16775.1

Les matériaux constitutifs de la pompe dans le circuit primaire sont compatibles avec un mélange antigél.

La pompe nécessaire pour le circuit d'ECS doit avoir le point de fonctionnement suivant:

Débit (l/h)	Pression (Pa)
280.0	17658.0

La pompe de circulation nécessaire dans le circuit primaire doit être dimensionnée pour une pression disponible égale aux pertes totales du circuit (tuyauterie, capteurs et échangeurs de chaleur). Le débit de circulation a une valeur de 500.00 l/h.

La perte de pression dans l'ensemble de captage est calculée par la formule suivante:

$$\Delta P_t = \frac{\Delta P \cdot N \cdot (N+1)}{4}$$

Produit par une version de démonstration de CYPE



Installation d'E.C.S. par chauffage solaire thermique

Exemple multi-zone d'un logement collectif RT2012/NRA2000/Installation Ventilation

Date: 11/09/13

où

ΔP_T : Perte de pression pour l'ensemble de captage

ΔP : Perte de pression pour un capteur

N: Nombre total de capteurs

Par conséquent, les valeurs pour la perte de pression totale dans le circuit primaire et pour la puissance de la pompe de circulation, de chaque ensemble de captage, sont les suivantes:

Ensemble de capteurs	Perte de pression total (Pa)	Puissance de la pompe de circulation (kW)
1	16793	0.07

La puissance de chaque pompe de circulation est calculée par l'expression suivante:

$$P = C \cdot \Delta p$$

où

P: Puissance électrique (kW)

C: Débit (l/s)

Δp : La perte totale de pression du système (Pa).

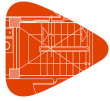
La pompe de circulation nécessaire dans le circuit d'ECS doit être dimensionnée pour une pression disponible égale aux pertes totales du circuit (tuyauterie et échangeurs de chaleur). Le débit de circulation a une valeur de 280.00 l/h.

Par conséquent, les valeurs pour la perte de pression totale dans le circuit primaire et pour la puissance de la pompe de circulation, de chaque ensemble de captage, sont les suivantes:

Ensemble de capteurs	Perte de pression total (Pa)	Puissance de la pompe de circulation (kW)
1	17680	0.07

La puissance de chaque pompe de circulation est calculée par l'expression suivante:

Produit par une version de démonstration de CYPE



Installation d'E.C.S. par chauffage solaire thermique

Exemple multi-zone d'un logement collectif RT2012/NRA2000/Installation Ventilation

Date: 11/09/13

$$P = C \cdot \Delta p$$

où

P: Puissance électrique (kW)

C: Débit (l/s)

Δp : La perte totale de pression du système (Pa).

2.3.4.- Vase d'expansion

La valeur théorique du coefficient de dilatation thermique, calculée selon la norme UNE 100.155 est de 0.085. Le vase d'expansion choisi a une capacité de 12 l.

Pour calculer le volume nécessaire, la formule suivante est utilisée:

$$V_t = V \cdot C_e \cdot C_p$$

où

V_t : Volume utile nécessaire (l).

V: Volume total de fluide présent dans le circuit (l).

C_e : Coefficient de dilatation du fluide.

C_p : Coefficient de pression

Le calcul du volume total de fluide dans le circuit primaire de chaque ensemble de captage est détaillé ci-dessous:

Ensemble de capteurs	Vol.tuyauterie (l)	Vol. capteurs (l)	Vol. échangeurs (l)	Total (l)
1	18.74	4.60	30.00	53.34

Avec les valeurs de température minimale (-10°C) et maximale (140°C), et la valeur du pourcentage d'éthylène glycol dans l'eau (30%), on obtient une valeur de 'Ce' égale à 0.085. Pour calculer ce paramètre, les expressions suivantes sont utilisées:

$$C_e = fc \cdot (-95 + 1.2 \cdot t) \cdot 10^{-3}$$



Installation d'E.C.S. par chauffage solaire thermique

Exemple multi-zone d'un logement collectif RT2012/NRA2000/Installation Ventilation

Date: 11/09/13

où

fc: Facteur de corrélation due à la proportion d'éthylène glycol.

t: Température maximale dans le circuit.

Le facteur 'fc' se calcule selon l'expression suivante:

$$fc = a \cdot (1.8 \cdot t + 32)^b$$

où

$$a = -0.0134 \cdot (G^2 - 143.8 \cdot G + 1918.2) = 20.04$$

$$b = 0.00035 \cdot (G^2 - 94.57 \cdot G + 500.) = -0.50$$

G: Pourcentage d'éthylène glycol dans l'eau (30%).

Le coefficient de pression (Cp) se calcule selon l'expression suivante:

$$C_p = \frac{P_{\max}}{P_{\max} - P_{\min}}$$

où

Pmax: Pression maximale du vase d'expansion

Pmin: Pression minimale du vase d'expansion

Le point de pression minimum de l'installation correspondant aux capteurs solaire, puisqu'ils se trouvent à la hauteur maximale. Pour empêcher l'entrée d'air, on considère une pression minimale acceptable de 1.5 bar.

La pression minimale du vase doit être légèrement inférieure à la pression de consigne de la vanne de sécurité (environ 0,9 fois). En outre, le composant critique face à la pression est le capteur solaire, dont la pression maximale est de 3 bar (sans incorporer kit de fixation spécial).

A partir des pressions maximale et minimale, le coefficient de pression (Cp) peut être calculé. Dans ce cas, la valeur obtenue est 2.0.



Installation d'E.C.S. par chauffage solaire thermique

Exemple multi-zone d'un logement collectif RT2012/NRA2000/Installation Ventilation

Date: 11/09/13

2.3.5.- Fluide caloporteur

Pour éviter les risques de congélation dans le circuit primaire, le fluide caloporteur contiendra un antigel.

Dans ce cas, un mélange commercial a été choisi comme fluide caloporteur de 30% d'eau et de propylène glycol, pour que la protection des capteurs soit garantie contre une rupture par congélation jusqu'à une température de -15°C , ainsi que contre les corrosions et les incrustations, puisque le mélange n'est pas dégradé à haute températures. Dans le cas d'une fuite dans le circuit primaire, il présente une composition non toxique et des additifs stabilisants.

Les principales caractéristiques de ce fluide caloporteur sont les suivantes:

- Densité: 1050.00 Kg/m^3 .
- Chaleur spécifique: 3.642 KJ/kgK .
- Viscosité (55°C): 2.99 mPa s .

La température historique dans la région est -10°C . Le système doit être prêt à supporter sans congeler une température de -15°C (5° de moins que la température minimale historique). Pour cela, le pourcentage en poids de l'antigel sera de 30% avec une chaleur spécifique de 3.642 KJ/kgK et une viscosité de 2.990000 mPa s à une température de 55°C .