

## Examen Médian UE ER42

Bases des connaissances pour la thermique des bâtiments

*Durée : 2h      Documents et appareils électroniques interdits      Calculatrice autorisée*

L'examen se compose de 2 parties ; la première porte sur la thermique du bâtiment et la seconde sur la CVC.

**Merci d'utiliser des copies différentes pour chaque partie de l'examen.**

**Attention, chaque calcul devra être détaillé (expression littérale + application numérique). Un résultat seul, même juste n'accordera pas tous les points.**

## Composition du sujet :

### Partie I : Thermique du bâtiment (/30 points)

Exercice 1 : Isolation d'un appartement (/11,5 points)

Exercice 2 : Étude d'un système de chauffage par le sol (/8 points)

Exercice 3 : Comparaison de 2 vitrages (/10,5 points)

### Partie II : CVC ( / 20 points)

Exercice 1 : QCM (/8 points)

*Merci de détacher la feuille du QCM du reste du sujet et de la rendre à l'intérieur de votre copie CVC*

Exercice 2 : Problème (/12 points)

## ANNEXES

*Barème à titre indicatif*

## Partie I : Thermique du bâtiment (/30 points)

### **Exercice 1 : Isolation d'un appartement (/11,5 points)**

Un jeune couple, sensible aux enjeux environnementaux, a acheté un appartement au deuxième étage d'un petit immeuble dans le but de le rénover. Il est important pour eux que le choix des matériaux, de l'isolation jusqu'à l'éclairage, en passant par le chauffage et les peintures, se fasse dans le respect des normes environnementales en vigueur, tout en respectant leur budget. Afin de réduire les frais liés à la rénovation, le couple entreprendra lui-même les travaux, mais il a besoin de la validation d'un.e ingénieur.e en thermique du bâtiment. L'appartement du couple est situé entre deux appartements voisins et possède une façade donnant sur la rue, l'autre donne sur un couloir comme le montre le schéma ci-dessous :

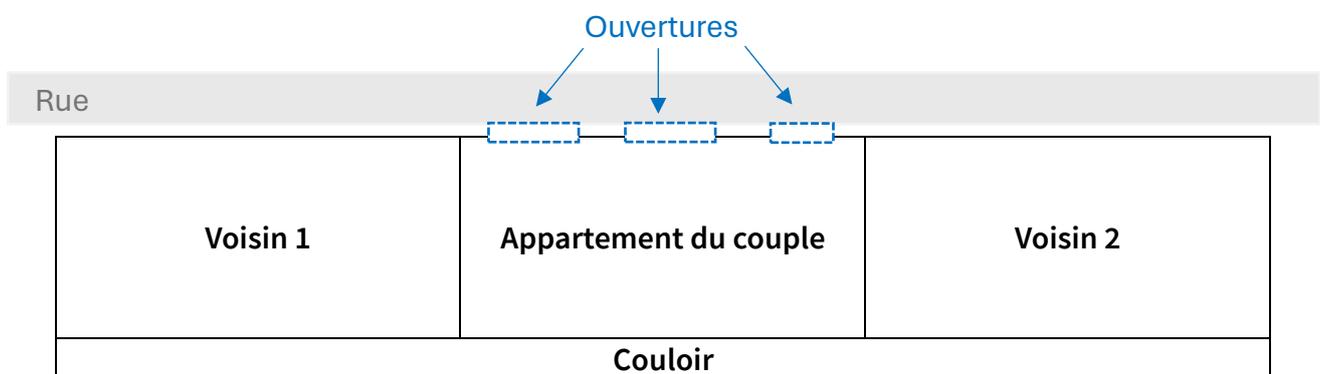


Figure 1 : Schéma simplifié de l'appartement et son environnement

#### **Données numériques :**

- Hauteur sous plafond :  $h = 2,50 \text{ m}$
- Longueur des murs intérieurs à isoler :  $L_m = 10,0 \text{ m}$
- 2 ouvertures en façade, de dimensions :  $l_{F1} = 1,50 \text{ m}$  et  $h_{F1} = 1,10 \text{ m}$
- 1 ouverture en façade, de dimensions :  $l_{F2} = 1,20 \text{ m}$  et  $h_{F2} = 1,10 \text{ m}$
- Conductivité thermique du placo-plâtre :  $\lambda_p = 0,33 \text{ W/mK}$

#### **Questions :**

1. Présentez brièvement les 3 différents modes possibles de transfert thermique
2. Parmi les 3 modes de transferts cités à la question précédente, préciser quel est celui qui a la plus grande importance en termes de pertes thermiques pour la façade donnant sur la rue.

Le bâtiment qui abrite leur appartement n'est pas performant énergétiquement, les murs qui donnent sur la rue ont une résistance thermique surfacique de  $r_{murs} = 2,2 \text{ m}^2\text{K/W}$ . Le couple voulant obtenir un logement très performant, il décide de choisir des valeurs d'isolation prévues initialement<sup>1</sup> pour respecter la RE2020 :

Parois opaques	Résistance thermique surfacique $r \text{ (m}^2\text{K/W)}$
Isolation des sols	$R \geq 4$
Isolation des murs	$R \geq 5$
Isolation de la toiture	$R \geq 10$

Tableau 1 : Résistances thermiques surfaciques générales à atteindre

<sup>1</sup> nota : le respect de la RE2020 est obligatoire uniquement pour les bâtiments neufs

- Préciser la valeur  $r_{min}$  de la résistance thermique surfacique minimale à atteindre pour le mur de la façade sur la rue.  
En déduire la valeur  $r_{murs}'$  de la résistance thermique surfacique à ajouter pour rénover le mur de cet appartement donnant sur la rue.

La copropriété de l'immeuble ne souhaite pas rénover l'ensemble du bâtiment, ainsi le couple est contraint d'isoler son appartement par l'intérieur. Pour cela il a présélectionné 4 types d'isolants :

Isolant	Épaisseur (placo+isolant) e (mm)	Conductivité thermique $\lambda$ ( $W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$ )	Résistance thermique surfacique r ( $m^2 \cdot K \cdot W^{-1}$ )	Dimensions (m)	Masse (kg)	COV	Prix/m <sup>2</sup> (€)
Panneau roulé en laine de verre	0 + 75	0,032	2,35	8,1 × 1,2		xxx	7,72
Doublage en polystyrène	10 + 100	0,038	2,65	2,5 × 1,2	24,99	A <sup>+</sup>	10,95
Doublage en polyuréthane	10 + 80	0,022	3,7	2,5 × 1,2	33,15	A <sup>+</sup>	28,2
Doublage en laine de roche	10 + 90	0,035	2,4	2,5 × 1,2	38,2	A	15,47

(COV : classe d'émission des composés organiques volatils)

Tableau 2 : Description des 4 isolants

- Quels sont les avantages et les inconvénients d'une isolation par l'intérieur ?
- Parmi les quatre matériaux présélectionnés par le couple, lequel permettrait de répondre à leur volonté d'atteindre des seuils équivalents à ceux de la RE2020 ? Justifier.  
Quel est l'inconvénient, selon les considérations couple en termes de rénovation, de choisir cet isolant ?

Pour valider son choix, le couple souhaiterait se rendre compte de l'impact de chacun des isolants sur les déperditions thermiques de leur appartement. Pour faire cela, ils ont trouvé un tableau (cf. Tableau 3 à la page suivante) dans un livre de physique du bâtiment, mais il est incomplet. Ainsi, ils font appel à vous pour calculer les valeurs manquantes dans le tableau, sachant que le chauffage est estimé à 150 jours par an, et l'écart moyen de température entre l'intérieur et l'extérieur est de 18°C.

Type d'isolant	Résistance thermique surfacique $r_{totale}$ ( $m^2 K/W$ )	Flux th. surfacique $\phi$ ( $W/m^2$ )	Déperditions thermiques $\phi$ (W)
Panneau roulé en laine de verre	4,6	3,9	80
Doublage en polystyrène	4,9	3,7	76
Doublage en polyuréthane	?	?	?
Doublage en laine de roche	4,6	3,9	80

Tableau 3 : Caractéristiques thermiques des différents matériaux sélectionnés

6. Déterminer la valeur de la résistance thermique surfacique  $r_{totale}$  du doublage en polyuréthane, qui manque dans le tableau. Les valeurs des coefficients de convection sont déjà prises en compte dans  $r_{murs}$ . *(Répondre sur votre copie et non sur l'énoncé !)*
7. Déterminer les valeurs du flux thermique surfacique et des déperditions thermiques totales qui manquent dans le tableau précédent. *(Répondre sur votre copie et non sur l'énoncé !)*
8. Si le couple avait en réalité un projet de construction neuve répondant à la RE2020, quel autre aspect que l'impact thermique aurait-il dû prendre en compte dans le choix de leurs matériaux ?

**Exercice 2 : Étude d'un système de chauffage par le sol (/8 points)**

Le plancher chauffant s'est démocratisé en France à partir des années 1960, il était alors appelé « chauffage au sol ». Il se composait de tubes en acier dans laquelle circulait une température d'eau élevée, qu'on ne pouvait pas réguler, ce qui était source d'inconfort pour les occupants. Depuis, le système de plancher chauffant a bien évolué, et fonctionne à basse température. Il est devenu très populaire ces dernières années, on le retrouve dans beaucoup de construction neuves selon la RE2012 et la RE2020.

Un constructeur a fait le choix du plancher chauffant pour le rez-de-chaussée d'un chalet, d'une surface de  $30 \text{ m}^2$ , mais il a besoin de votre confirmation pour valider l'étude qu'il a effectué : votre travail consiste à vérifier les résultats obtenus.

Le plancher chauffant sélectionné par le constructeur est composé d'un tube dans lequel circule de l'eau à une température moyenne constante de  $\theta_{eau} = 31^\circ\text{C}$ . Ce système de chauffage doit permettre de maintenir une température ambiante de  $\theta_{amb} = 19^\circ\text{C}$  à l'intérieur du chalet. La température du sol des fondations est supposée uniforme et égale à  $\theta_f = 12^\circ\text{C}$ . Le coefficient d'échange par convection  $h$  entre la surface du revêtement du plancher et le local a pour valeur  $h = 11 \text{ W/m}^2\text{K}$ .

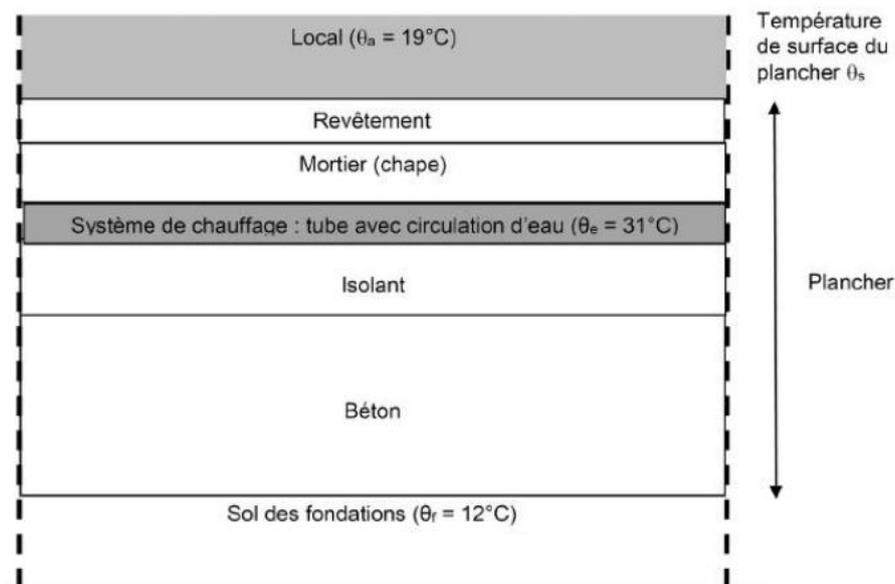


Figure 2 : Composition du plancher bas du chalet

**Données numériques :**

	Mortier	Revêtement	Isolant	Béton
Épaisseur (cm)	$e_1 = 5,5$	$e_2 = 1,2$	$e_3 = 2,5$	$e_4 = 15$
Conductivité thermique (W/mK)	$\lambda_1 = 1,1$	$\lambda_2 = 2,5$	$\lambda_3 = 0,040$	$\lambda_3 = 1,4$

Tableau 4 : Épaisseur et conductivité des différents matériaux du plancher chauffant

1. Calculer la résistance thermique surfacique  $r_{sup}$  des matériaux compris entre le système de chauffage et le local, en tenant compte du coefficient de convection.
2. Vérifier que la densité de flux thermique émis vers le haut par le système de chauffage vaut environ  $\varphi_{sup} = 80 \text{ W/m}^2$ .

La résistance thermique surfacique  $r_{inf}$  des matériaux compris entre le système de chauffage et le sol des fondations vaut  $0,73 \text{ m}^2\text{K/W}$  et le flux thermique surfacique vaut  $\varphi_{inf} = 26 \text{ W/m}^2$ .

3. Calculer la puissance thermique reçue par le local et la puissance thermique perdue vers les fondations. Vérifier que la puissance thermique fournie par le système de chauffage vaut  $3,2 \text{ kW}$ .
4. Calculer l'énergie perdue vers les fondations par an, en considérant une période de chauffe de 150 jours, 8h/jour.
5. Calculer la température de surface du plancher  $\theta_{ps}$ . Cette température vous semble-t-elle acceptable ? Argumentez à l'aide de vos connaissances.
6. Au vu des résultats de l'étude, quels conseils pourriez-vous donner au constructeur pour améliorer son système de plancher chauffant ?

**Exercice 3 : Comparaison de 2 vitrages (/10,5 points)**

Le but de cet exercice est de comparer 2 types de vitrages ; un double vitrage à lame d'air et un double vitrage à lame d'argon.

Vitrage A : Double vitrage : 4mm + 20 mm d'air + 4mm

Vitrage B : Double vitrage : 4mm + 16 mm d'argon + 4mm

**Données numériques :**

Conductivités thermiques :

$$\lambda_{\text{vitrage}} = 1,15 \text{ W/mK}$$

$$\lambda_{\text{air}} = 0,022 \text{ W/mK}$$

$$\lambda_{\text{argon}} = 0,017 \text{ W/mK}$$

Résistances thermiques superficielles :

$$r_i, \text{ résistance thermique interne : } r_i = 0,12 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$$

$$r_e, \text{ résistance thermique externe : } r_e = 0,06 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$$

$$\text{Température intérieure : } \theta_i = 18^\circ\text{C}$$

$$\text{Température extérieure : } \theta_e = -5^\circ\text{C}$$

1. Calculer la résistance thermique surfacique  $r_A$  du vitrage A. Faire de même avec  $r_B$  pour le vitrage B.
2. Calculer, pour le vitrage B, la densité de flux thermique perdue  $\varphi_B$ . On donne  $\varphi_A = 22,77 \text{ W/m}^2$
3. Calculer, pour le vitrage B, les températures entre chaque surface des différentes couches le composant.
4. Tracer les diagrammes des températures pour chacun des vitrages. (cf. Tableau 5 ci-dessous pour le vitrage A)
5. Lequel des 2 vitrages conseilleriez-vous à un client pour une construction neuve ? Justifier.

On donne pour le vitrage A, le tableau suivant comportant les différentes températures au sein du vitrage :

<b>Vitrage A</b>	
$\theta_{A-si}$ (T° vitrage côté intérieur)	15,50 °C
$\theta_{A-1}$ (T° entre la vitre intérieure et la lame d'air)	15,42 °C
$\theta_{A-2}$ (T° entre la vitre extérieure et la lame d'air)	-3,55 °C
$\theta_{A-se}$ (T° vitrage côté extérieur)	-3,63 °C

Tableau 5 : Températures au sein du vitrage A

**Partie II : CVC (/20 points)**

<b>NOM</b>		<b>Prénom(s)</b>		<b>Signature</b>	
------------	--	------------------	--	------------------	--

**Exercice 1 : QCM (/8 points)**

**Merci d'indiquer vos réponses sur cette feuille, de la détacher, et de la rendre à l'intérieur de votre copie CVC**

1. Quel type de ventilation consomme le moins d'électricité :

- Simple flux autoréglable       Simple flux hygroréglable B       Double flux

2. Quel type de ventilation est thermiquement la plus efficace :

- Simple flux autoréglable       Simple flux hygroréglable B       Double flux

3. Qu'impose l'arrêté du 24 mars 1982 modifié :

- Le débit de soufflage       le débit d'extraction minimum       Le rendement de l'échangeur

4. Dans le cas d'une VMC simple flux hygroréglable A – les entrées d'air sont :

- autoréglables       hygroréglables       naturelles

5. Dans le cas d'une VMC simple flux hygroréglable B – les bouches d'extraction sont :

- autoréglables       hygroréglables       naturelles

6. Quel type de pompe à chaleur est la plus performante :

- Air / Air       Air / Eau       Eau / Eau

7. Quel équipement est obligatoire, sur une installation de chauffage, par pompe à chaleur air / eau, avec plancher chauffant :

- ballon tampon
- soupape de sécurité
- vase d'expansion
- radiateur d'appoint
- thermostat de sécurité
- vanne d'isolement
- échangeur air / air
- mitigeur

8. Pour un plancher chauffant : Quelle est la température du sol maximale ?

- 18°C
- 22°C
- 28°C

**Exercice 2 : Problème (/12 points)**

Dans un pavillon, le séjour, d'une surface de  $35 \text{ m}^2$ , nécessite une puissance de  $1\,750 \text{ W}$ , par  $-13^\circ\text{C}$  extérieur.

- Déterminer le PAS du plancher chauffant à prévoir, ainsi que la température de départ maximum de la PAC.

Ce même pavillon comporte, une salle de bain, d'une surface de  $7 \text{ m}^2$ , nécessitant une puissance de  $455 \text{ W}$ , par  $-13^\circ\text{C}$  extérieur.

- Déterminer le PAS du plancher chauffant à prévoir, ainsi que la température de départ maximum de la PAC pour l'installation.

Ce pavillon à une surface totale de  $89 \text{ m}^2$ , avec une déperdition surfacique de  $58 \text{ W/m}^2$ .

- Quelle est la puissance totale à couvrir par la pompe à chaleur ?
- Quelle est de débit d'alimentation du plancher chauffant, avec une température de départ à  $35^\circ\text{C}$  et un retour à  $30^\circ\text{C}$  ?
- Quelle serait le diamètre de raccordement en sortie de PAC ?

Avec des radiateurs, ayant un régime d'eau,  $55/40^\circ\text{C}$ .

- Quelle serait le débit et le diamètre de raccordement, en sortie de PAC ?

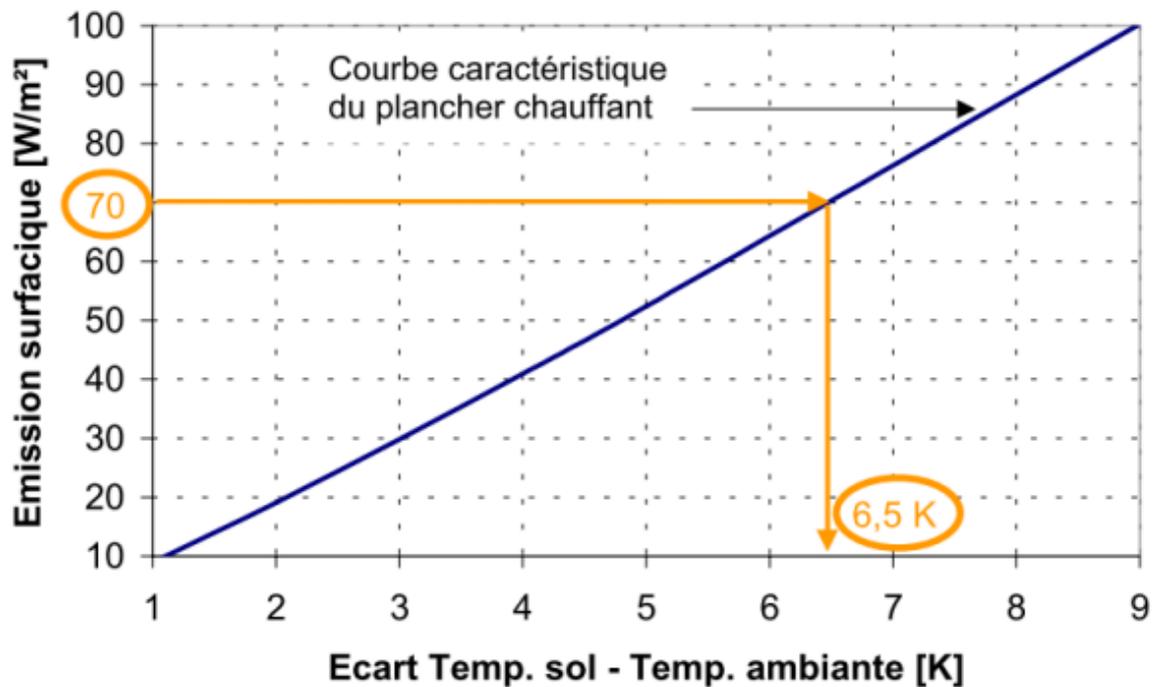
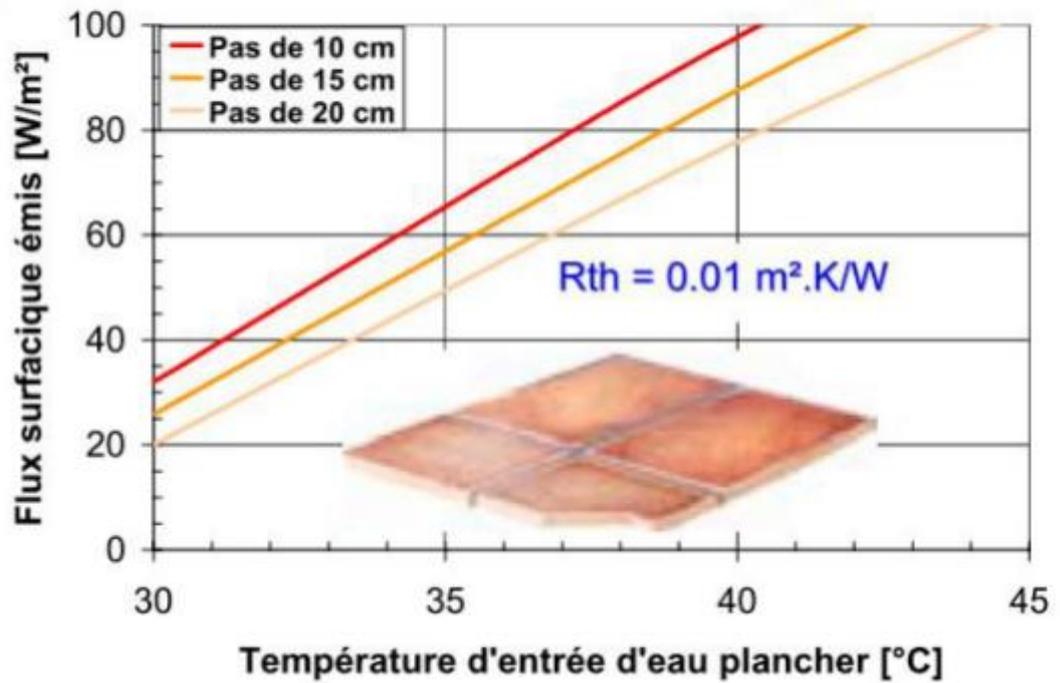
Le pavillon est pourvu d'une ventilation double flux, à la place de la VMC hygroréglable initialement prévu. La puissance de chauffage à prévoir passe à  $3\,380 \text{ W}$ .

- Quelle est la puissance surfacique moyenne ?
- Quelle est le débit du plancher chauffant, avec un  $\Delta T = 10\text{K}$  ?
- Quelle est la perte de charge linéique d'un tronçon de  $3 \text{ m}$ , de canalisation cuivre de  $\varnothing 20/22$ , pour le débit considéré ?
- Quelle est la perte de charge singulière d'un coude à  $90^\circ$  ?
- Quelle est le débit maximal, pour une vitesse de  $0.8 \text{ m/s}$ , pour une conduite  $\varnothing 32/35$  ?
- Quelle est la puissance véhiculée par ce débit, avec un régime d'eau de  $50/40^\circ\text{C}$  ?



[ANNEXES \(p. 13 à 15\)](#)

**Exemple de revêtement : 10 mm de carrelage**



$$\text{Temp. sol} = 18 \text{ °C} + 6.5 \text{ K} = 24,5 \text{ °C}$$

Plancher Chauffant

Dimensionnement : débit hydraulique

La longueur de tubes à installer par pièce est définies à partir du pas retenu, lors de l'étude de dimensionnement et à partir de la surface de la pièce.

$$\text{Longueur de tube} = \text{Surface de la pièce [m}^2\text{]} / \text{pas de tubes [m]}$$

A cette longueur théorique calculée, il est important de rajouter les longueurs de raccords aux collecteurs.

Le débit de chaque boucle est calculé, en fonction de l'émission surfacique  $\phi_s$  [W.m<sup>-2</sup>], selon NF EN 1264, de la surface recouverte par la boucle S [m<sup>2</sup>], et de l'écart de température d'eau départ / retour, du circuit plancher,  $\Delta t_{eau}$  [K].

$$q = \frac{\Phi_s \cdot S}{\Delta T_{eau} \cdot 1,163} \quad [kg / h]$$

Plancher Chauffant

Dimensionnement : pertes de charge

Les pertes de charge d'un circuit sont constituées de :  
- Perte de charge linéique (cf. nomogramme),  
- Perte de charge singulière,

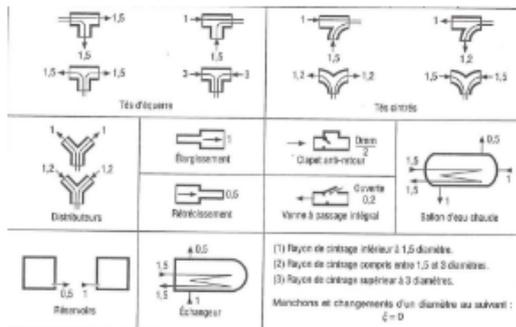
$$\Delta P = \zeta \cdot \frac{\rho}{2} \cdot w^2$$

$\Delta P$  : perte de charge, en Pa

$\zeta$  : coefficient de perte de charge singulière

$\rho$  : masse volumique du fluide (1 000 kg/m<sup>3</sup>)

$w$  : vitesse de circulation, en m/s



Diamètres (en mm)	Cuivre	8	10	12	14	16	20	25	30	32	36	40	50	≥ 60
	Acier		8	12		15	21	26	33	40	50	60	≥ 60	
Coudes arrondis (2)	90°	1,5	1,5	1,5	1	1	1	1	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,3
	45°	1	1	1	0,7	0,7	0,7	0,7	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,2
Coudes d'angles (3)	90°	2	2	1,5	1,5	1	1	1	0,8	0,8	0,8	0,8	0,5	0,5
	45°	1,3	1,3	1	1	0,7	0,7	0,7	0,5	0,5	0,5	0,5	0,3	0,3
Vanne papillon	ouverte	1	1	1	0,5	0,5	0,5	0,5	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
Robinet vanne	ouvert	1,5	1	1	1	0,5	0,5	0,5	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,2
Robinet à coupe (ouvert)	→	18	18	15	14	14	12	10	8	8	8	8	8	8
	←	10	10	9	8	8	7	6	6	6	6	6	6	6

