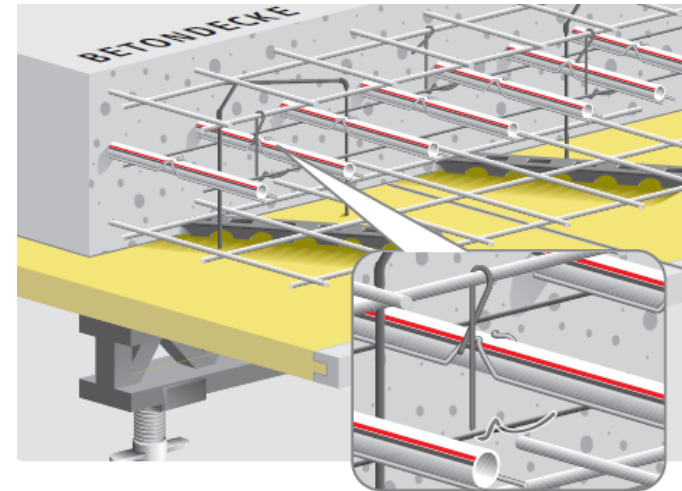


Les dalles actives

TABS (Thermally Activated Building System)

ASTECH Genève



Présenté par JM Billette (Tobler System)

Les dalles actives

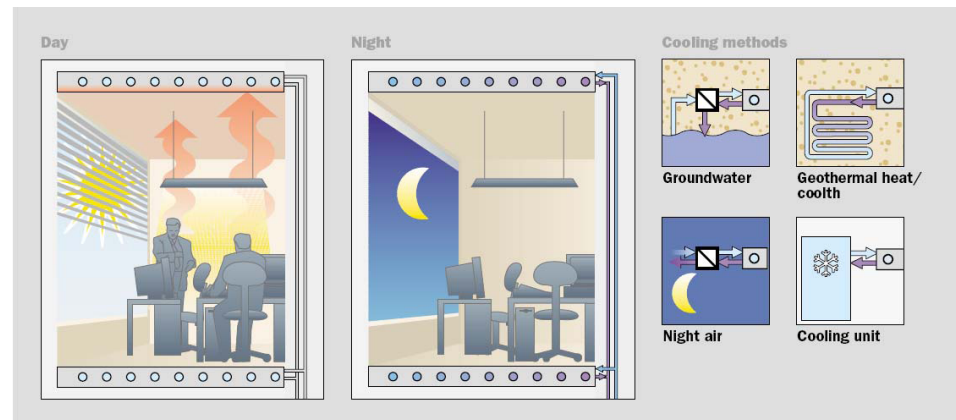
Présentation

- + **Introduction.**
- + **Conception et dimensionnement.**
- + **Mise en oeuvre.**
- + **Echanges thermiques - performances.**
- + **Régulation.**

Les dalles actives

Introduction

✚ Pourquoi les dalles actives ?



Les dalles actives

Introduction

- **Les nouveaux concepts énergétiques s'attachent à :**

- Réduire les émissions de rejets polluants
- Augmenter le rendement énergétique des systèmes

- Réduire les nuisances sonores
- Réduire les déplacements d'air
- Réduire les variations brusques de température

Les dalles actives

Introduction

- ✚ **Pour cela, les nouveaux concepts énergétiques privilégient :**
 - Des surfaces d'échange largement dimensionnées
 - Des producteurs de chaleur basse température
 - Du rafraîchissement en free-cooling

Les dalles actives

Introduction

- **Des surfaces d'échange largement dimensionnées :**

- Dalles actives
- Plafonds climatiques



Les dalles actives

Introduction

- **Des surfaces d'échange largement dimensionnées :**

En abaissant de 10°C la température de condensation d'une pompe à chaleur au R407c,

- Q_c / W **augmente de 38%**
- Q_0 / W **augmente de 46%**

En augmentant de 10°C la température d'évaporation d'une pompe à chaleur au R407c,

- Q_c / W **augmente de 14%**
- Q_0 / W **augmente de 17%**

Les dalles actives

Introduction

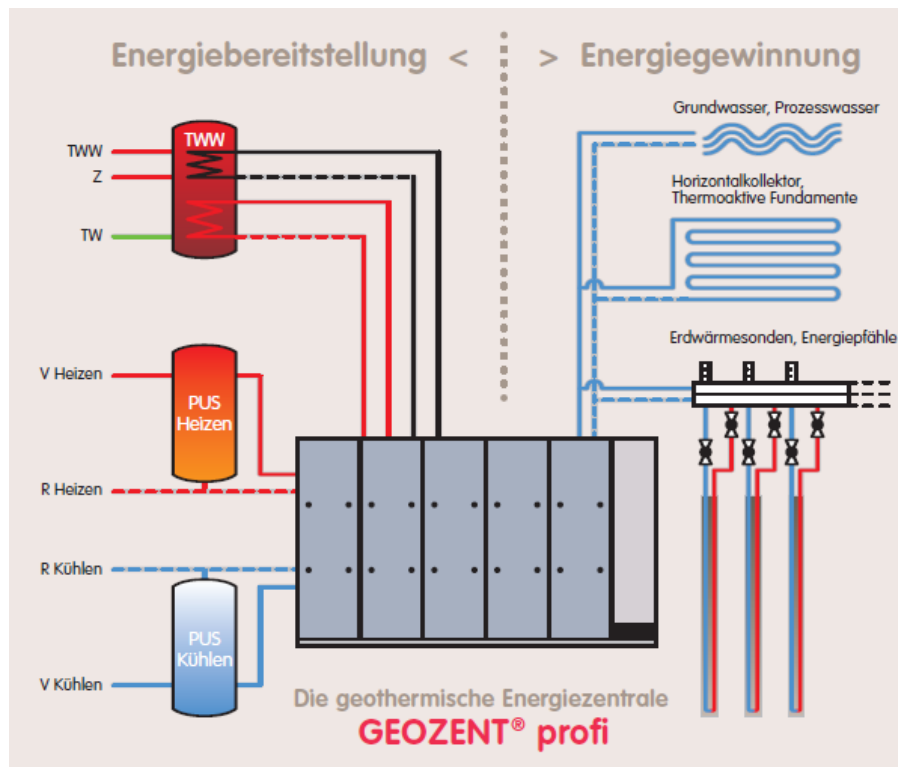
- **Des surfaces d'échange largement dimensionnées :**

En abaissant de 20°C la température de retour d'eau, sur une chaudière gaz à condensation, le rendement sur PCI **augmente de 5%**

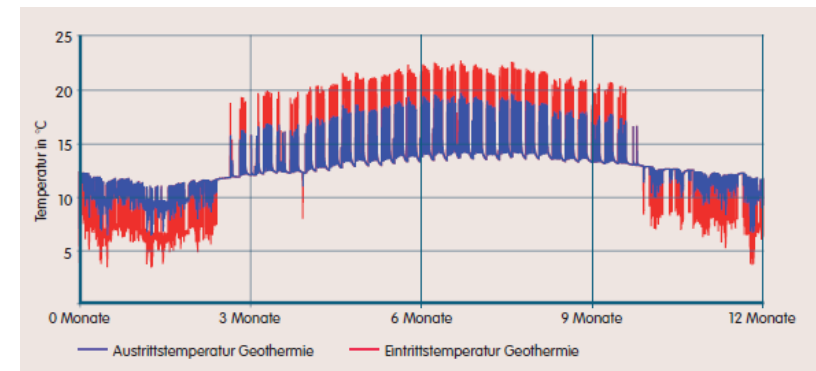
Les dalles actives

Introduction

Pompe à chaleur en géothermie



- COP moyen 4,62 – MEG 20%
- Le sol est utilisé comme accumulateur thermique
- La température du sol reste constante, entre 12 et 13°C



Les dalles actives

Introduction

- **Les dalles béton offrent un compromis favorables pour :**

- **Profiter au maximum du tarif d'électricité de nuit**
(stockage de nuit- restitution dans les périodes d'occupation)

- **Optimiser le COP des pompes à chaleur** (fonctionnement à pleine charge et à basse température)

- **Minimiser les puissances installées et les investissements**

- **Assurer le transfert direct de chaleur des zones chaudes vers les zones froides**

Les dalles actives

Introduction

✚ **Caractéristiques physiques :**

- Conductivité thermique acceptable ($\lambda = 1,70 \text{ W/m}^2.\text{K}$)
Transfert de la chaleur
- Chaleur spécifique élevée ($0,88 \text{ kJ/kg.K} - 2112 \text{ kJ/m}^3.\text{K}$)
Stockage de la chaleur
- Couleur et brillance favorable
Facteur d'émissivité du rayonnement 0.94 (régime chaud)
Facteur d'absorption du rayonnement 0.60 (régime froid)

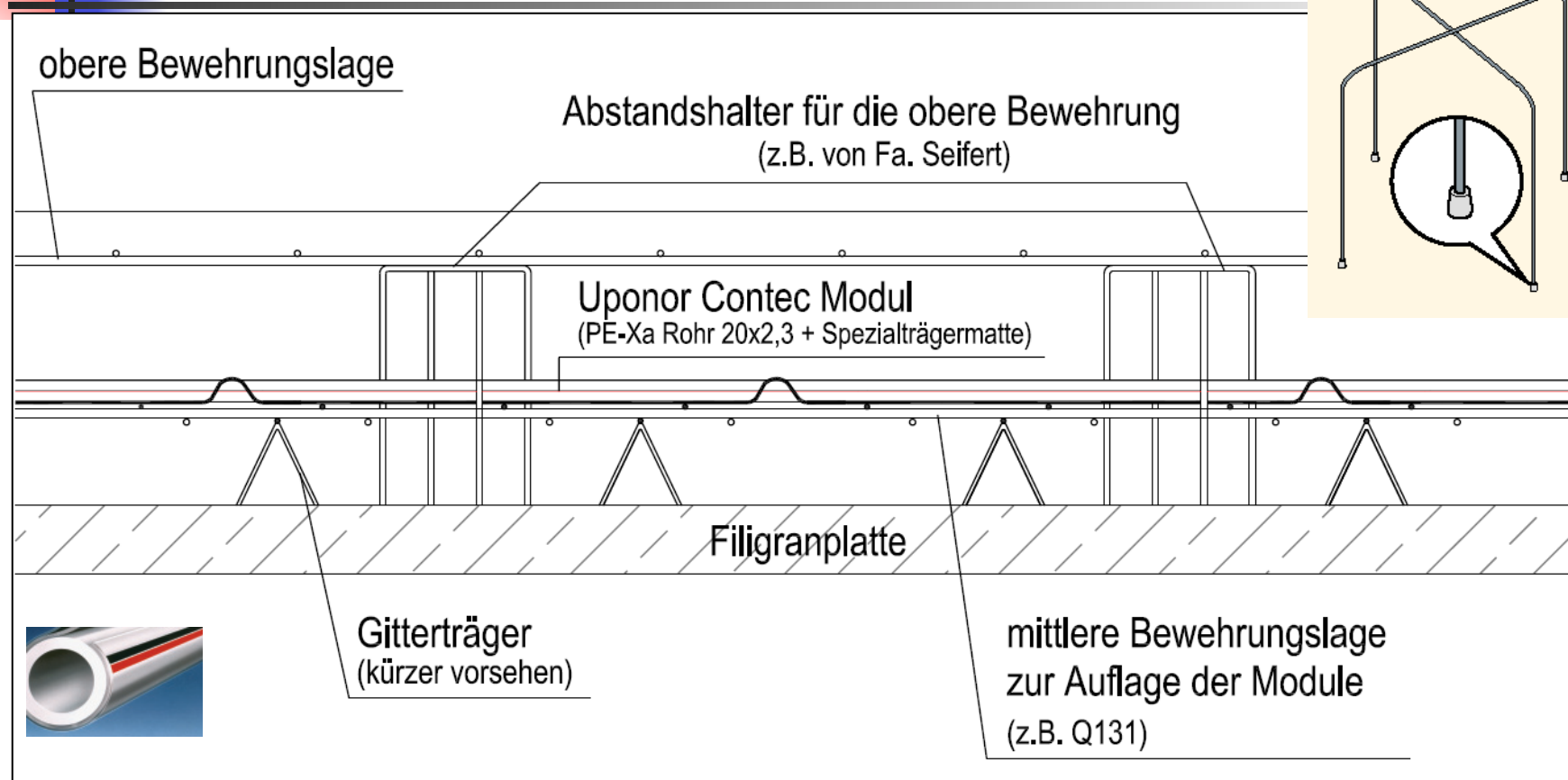
Les dalles actives



- ✚ Conception et Dimensionnement

Les dalles actives :

Conception et dimensionnement





Les dalles actives

Conception et dimensionnement

Liste des principaux composants :

- Tube renforcé diamètre 20
- Attaches nylon
- Distributeurs aller et retour

- *Treillis métalliques*
- *Espaceurs*
- *Ligatures métalliques*



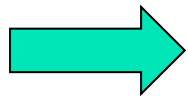
Les dalles actives

Conception et dimensionnement

Etape n°1 - Avant-projet :

Données nécessaires

- Température ambiante souhaitée
ex. 20 °C
- Éléments constitutifs de la dalle
ex. Dalle béton de 0.30 m / Moquette de 0.015 m
- Besoins de puissance chaud et froid par m²
ex. 40 W/ m² en mode chaud



- **Détermination de l'espace entre les tubes**
- **Détermination du régime de température**

Les dalles actives

Conception et dimensionnement

Données de base			
Températures		Chauffage	Raffraîchissement
Température ambiante du local	°C	20	26
Température ambiante du niveau inférieur	°C	20	26
Température entrée d'eau	°C	28	16
Température sortie d'eau	°C	27	18
Tube d'activation			
Type de tube	Velta	20 x 2.3	20 x 2.3
Diamètre extérieur du tube	m	0.02	0.02
Epaisseur du tube	m	0.0023	0.0023
Longueur de tube par m2	m	5	5
Nombre de tube en parallèle par m2	u	5	5
Pas du tube	m	0.20	0.20
Complexe de dalle		Epaisseur	Conductivité
Dalle de revêtement de sol		0.015	0.10
Dalle béton au dessus du tube		0.140	1.70
Tube d'activation		0.0023	0.35
Dalle béton au dessous du tube		0.140	1.70

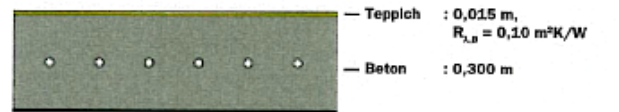
Les dalles actives

Conception et dimensionnement

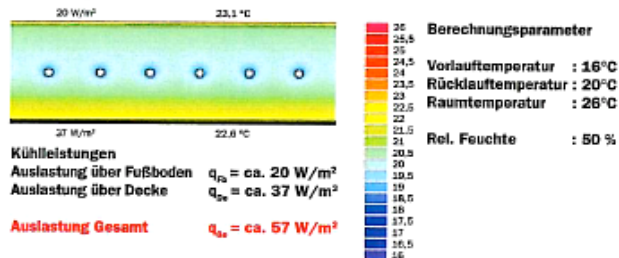
Résultats aux conditions du projet			
Thermique		Hiver	Été
Puissance émise vers le haut, par m2 de dalle	w / m ²	18.6	-19.1
Puissance émise vers le bas, par m2 de dalle	w / m ²	24.2	-41.4
Puissance totale émise, par m2 de dalle	w / m ²	42.7	-60.5
Hydraulique		Hiver	Été
Nombre de Reynolds minimum (début du régime turbulent lisse)		3174	3174
Nombre de Reynolds calculé		12157	9098
Masse volumique du fluide caloporteur	kg / m ³	818	850
Coefficient de pertes de charge relative	Pa / mL	335	375
Longueur de tube par boucle	mL	75	75
Vitesse d'eau dans le tube	m / s	0.65	0.65
Perte de charge par boucle	Pa	25148	28121
Puissance consécutive par boucle	W	641	-908
Surface de dalle par boucle	m2	15	15
Constante de la dalle			
Hauteur de béton sur le tube / Pas du tube	> 0.3		0.7
Hauteur de béton sous le tube / Pas du tube	> 0.3		0.7
Diamètre extérieur du tube / Pas du tube	< 0.2		0.10

Les dalles actives

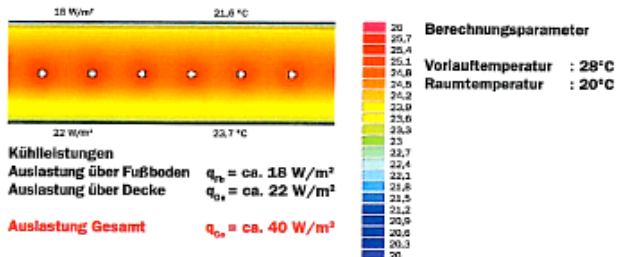
Conception et dimensionnement



Kühlfall



Heizfall



Régime été :

Régime d'eau : 16 °C / 17.9 °C

Température ambiante : 26 °C

Flux vers le bas : 41 W / m²

Flux total : 60 W / m²

Régime hiver :

Régime d'eau : 28 °C / 26.6 °C

Température ambiante : 20 °C

Flux vers le bas : 24 W / m²

Flux total : 42 W / m²

* Pas du tube 20 cm

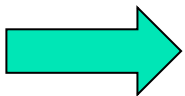
Les dalles actives

Conception et dimensionnement

Etape n°2 - Phase d'exécution :

Données nécessaires :

- Bilan thermique par local
- Plans architecte – Position des distributeurs
- Plans d'armatures



- **Calculs hydrauliques**
- **Tracé des plans d'exécution**

Les dalles actives

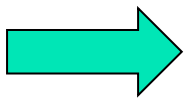
Conception et dimensionnement

✚ Etape n°2 - Phase d'exécution :

Détermination de la longueur des boucles

Données de base :

- Vitesse optimale
($> 0,5$ m/s pour favoriser la convection interne)
- Perte de charge maximale admise.
(< 30 kPa)
- Nombre de Reynolds minimum.
($R_e > 3200$ pour un écoulement turbulent)



La longueur des boucles doit être < 100 mL et un multiple de la longueur des couronnes

Les dalles actives

Mise en oeuvre

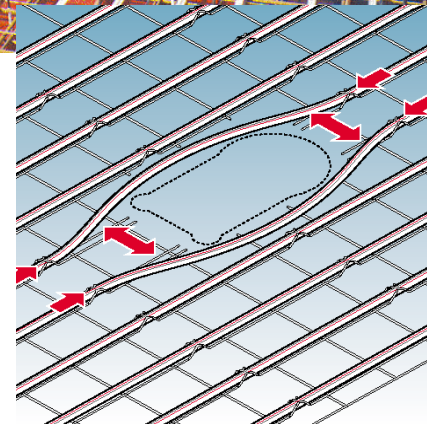


La dalle active :

Mise en oeuvre

Procédé traditionnel

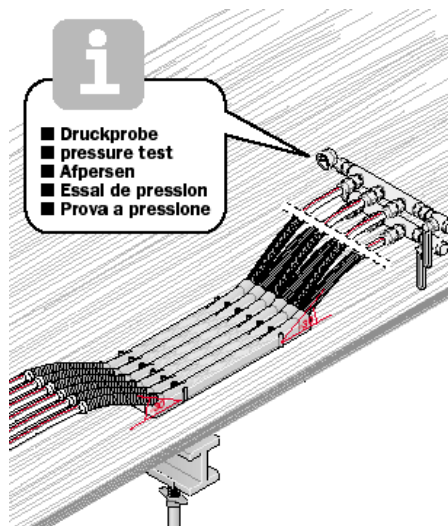
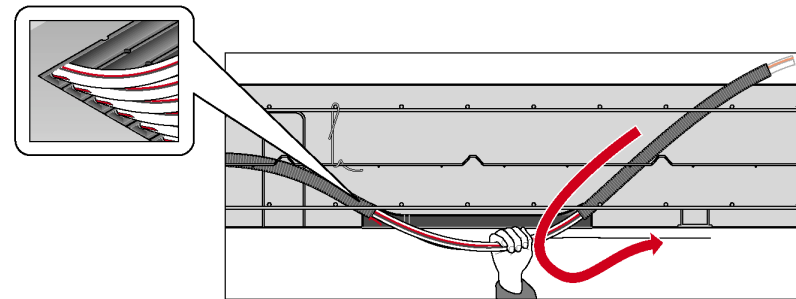
- Les couronnes de tubes (120 m – 240 m – 480 m) sont livrées sur le chantier.
- Le tube est déroulé, à l'aide du dévidoir, puis attaché sur le treillis intermédiaire à l'aide d'attaches nylon.



Les dalles actives :

Installation Mise en oeuvre

- Le distributeur est généralement installé en sous-face de la dalle



Les dalles actives :

Mise en oeuvre

Modules préfabriqués

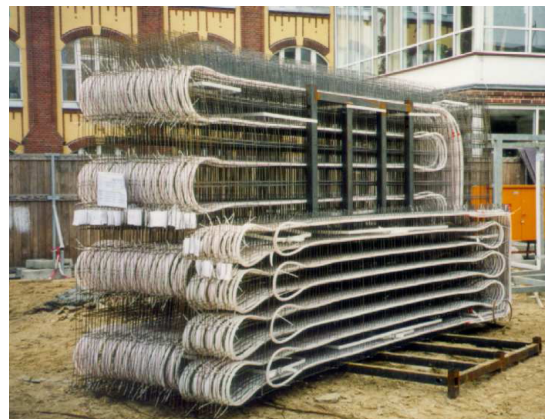
- Les modules sont préfabriqués en atelier puis livrés, sous pression d'air, sur le chantier



Les dalles actives :

Mise en oeuvre

- Les modules sont déchargés et stockés avant d'être acheminés au niveau souhaité



Les dalles actives :

Mise en oeuvre



- Les grands modules sont manutentionnés et mis en place à l'aide de la grue



Les dalles actives :

Installation Mise en oeuvre

- Les modules de dimensions réduites sont installés à la main, depuis l'aire de stockage, à proximité



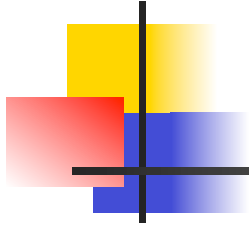
Les dalles actives :

Installation Mise en oeuvre

- Chaque module est équipé d'un manomètre
- L'étanchéité est contrôlée tout au long du processus



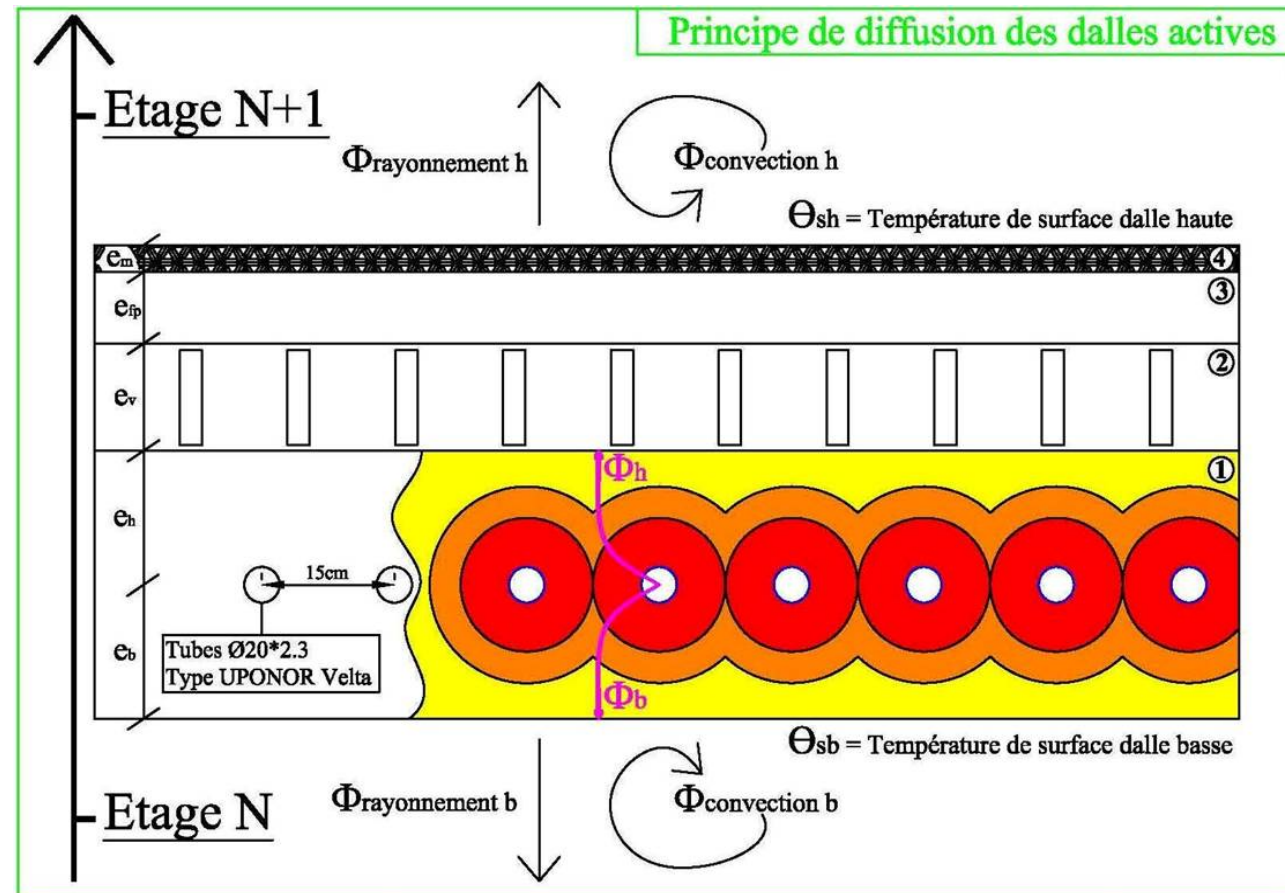
Les dalles actives



- Echanges thermiques et performances

Les dalles actives :

Echanges thermiques et performances





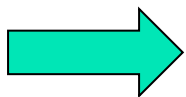
Les dalles actives :

Echanges thermiques et performances

1- Phase d'activation de la dalle béton

Dans un premier temps, l'énergie du fluide caloporteur est transmise au béton, à travers la paroi du tube.

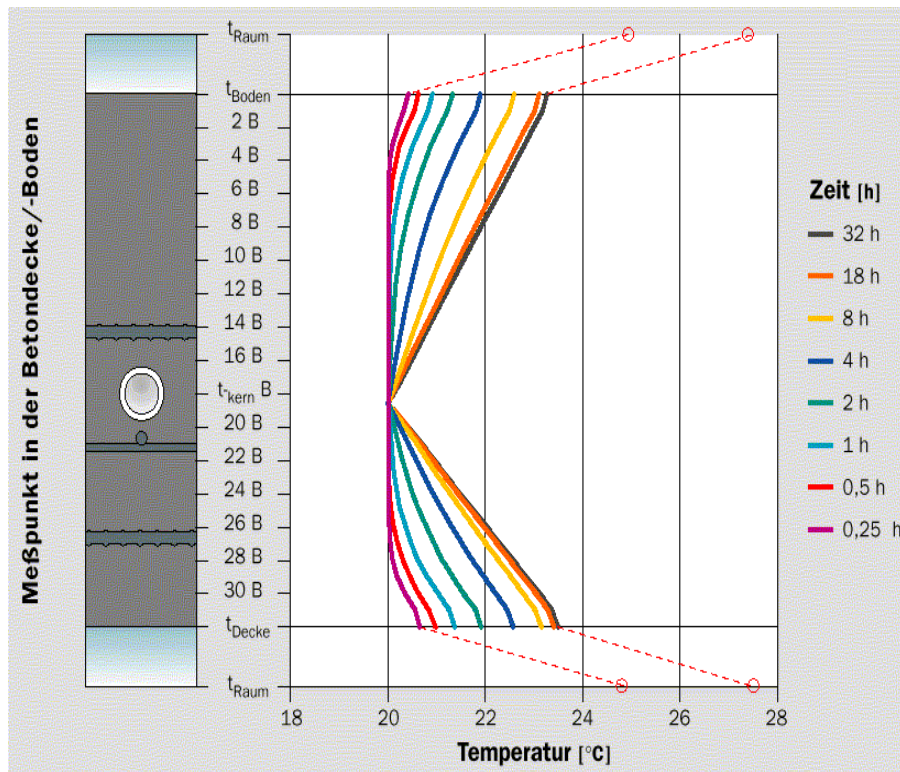
Progressivement, la température devient uniforme dans le plan des tubes



A ce stade, l'énergie échangée avec l'ambiance reste faible

Les dalles actives :

Echanges thermiques et performances



Le béton est progressivement activé

La quantité d'énergie stockée est importante

Epaisseur de la dalle : 0,30 m

Volume de béton : 0,30 m³

Chaleur massique : 2112 kJ/m³.K

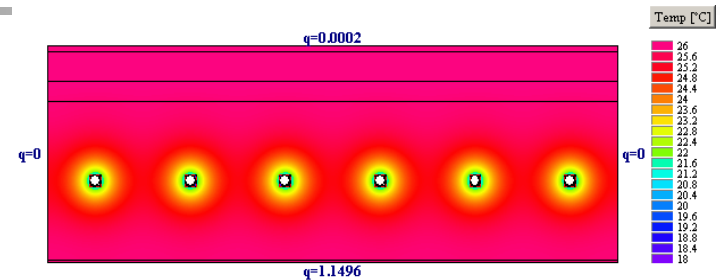
Energie stockée : 633,6 kJ/K

Les dalles actives :

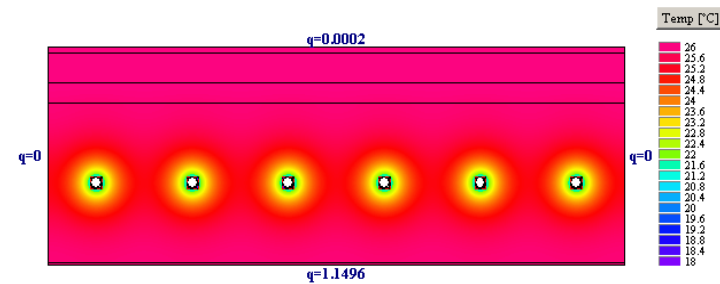
Echanges thermiques et performances

Activation du noyau central

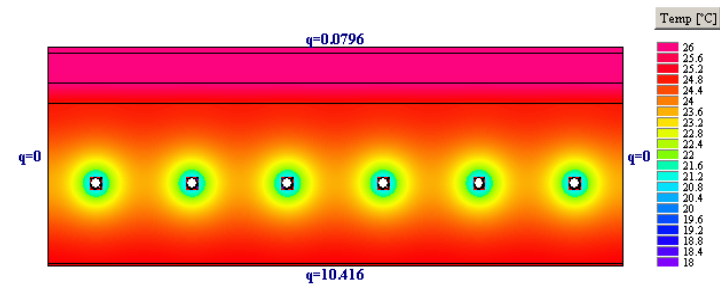
- Après 0.5 heure 1 W/m²



- Après 1 heure 5 W/m²



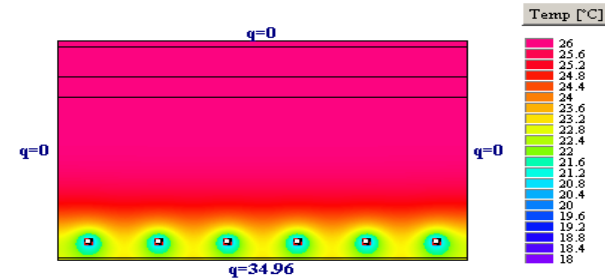
- Après 1.5 heure 10 W/m²



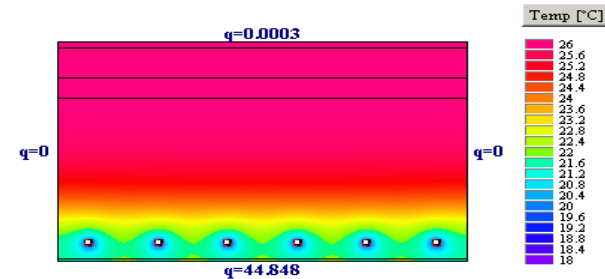
Les dalles actives : Echanges thermiques et performances

Activation de la zone inférieure

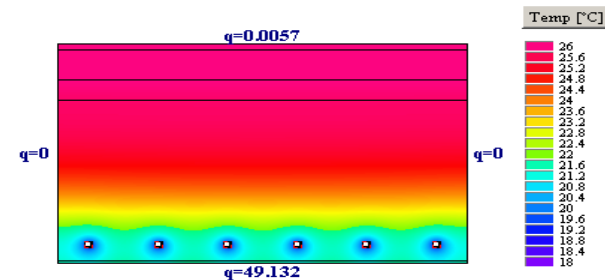
■ Après 0.5 heure **35 W/m²**



■ Après 1 heure **45 W/m²**



■ Après 1.5 heure **50 W/m²**





Les dalles actives :

Echanges thermiques et performances

La puissance d'activation dépend :

Du coefficient de convection interne au tube
(diffusivité, viscosité cinématique, nombre de Reynolds)

Des coefficients de conductivité thermique du fluide caloporteur,
du tube et du béton

De l'épaisseur du tube

De l'espacement des tubes



Les dalles actives :

Echanges thermiques et performances

2 - L'énergie est transmise aux couches constitutives du complexe de dalle

(par conduction, par convection et par rayonnement)

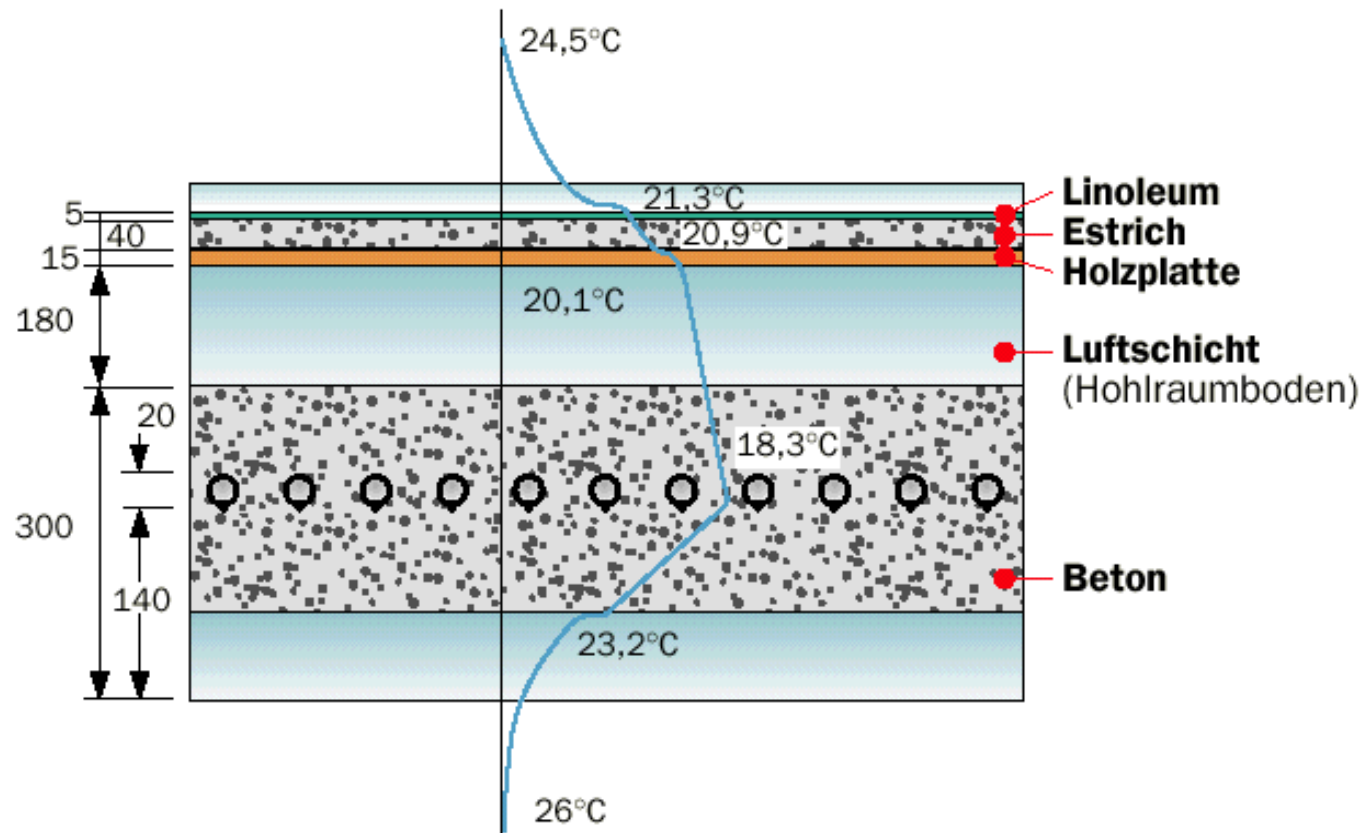
Vide d'air :	150 mm
Résistance thermique :	0,20 ou 0.60* m ² .K/W
Faux-plancher :	40 mm
Résistance thermique :	0.29 m ² .K/W
Moquette :	10 mm
Résistance thermique :	0.10m ² .K/W

* Plaques de faux-plancher avec face inférieure réfléchissante

Les dalles actives :

Echanges thermiques et performances

• Profil de températures avec médium à 16 °C





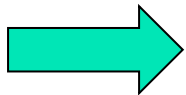
Les dalles actives :

Echanges thermiques et performances

- **La puissance fournit à l'ambiance est le cumul de :**

- l'énergie échangée par convection

- l'énergie échangée par rayonnement infrarouge



La puissance dépend directement de la température de surface de l'émetteur



Les dalles actives :

Echanges thermiques et performances

- **Echange thermique par convection avec l'ambiance :**

$$Q = (\theta_{\text{Surf.}} - \theta_{\text{Air}}) / (1/h_e)$$

La puissance est fonction :

- de l'écart de température entre la surface émettrice et l'ambiance
- du coefficient de convection
(convection naturelle ou forcée)



Les dalles actives :

Echanges thermiques et performances

Coefficients de convection naturelle avec l'ambiance :

(valeurs d'usage)

En chauffage :

- Plafond : 6 W/m²K
- Plancher : 11 W/m²K

En rafraîchissement:

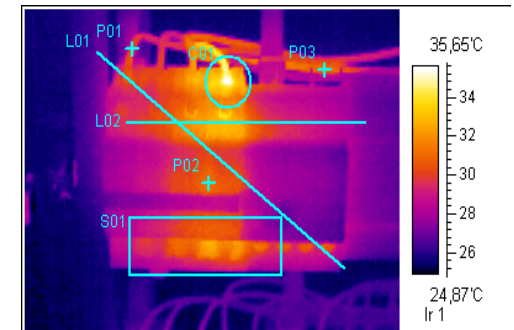
- Plafond : 11 W/m²K
- Plancher : 7 W/m²K

Les dalles actives :

Echanges thermiques et performances

- ✚ **Echanges thermiques par rayonnement infrarouge avec les surfaces du local :**

$$Q = \sigma \cdot S \cdot (\theta_1^4 - \theta_2^4) / (1/\varepsilon_1 - 1/\varepsilon_2 - 1)$$



La puissance échangée est fonction :

- de l'écart de température des surfaces en présence
(Plus la surface est chaude, plus le rayonnement est intense)
- de la couleur, de la brillance et de l'état de surface
(Plus la surface est sombre et mate, plus l'émissivité est élevée)

Emissivité: énergie rayonnée par un corps / énergie rayonnée par le corps noir, à la même température



Les dalles actives :

Echanges thermiques et performances

Corps noir :

(similaire à une surface recouverte de noir de fumée)

Le corps noir absorbe et renvoi toute l'énergie incidente - le flux réfléchi est nul

Facteur d'émissivité : $\varepsilon = 1$ - Facteur d'absorption : $a = 1$

Corps gris :

Facteur d'émission : $\varepsilon = 0 < \varepsilon < 1$

Ex : Dalle béton : $\varepsilon = 0.94$ - Facteur d'absorption : $a = 0.60$

Ex : Peinture blanche : $\varepsilon = 0.78$ - Facteur d'absorption : $a = 0.18$

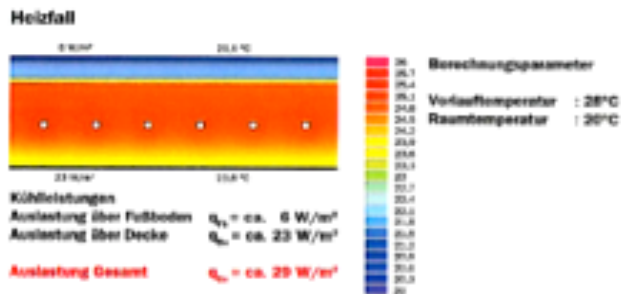
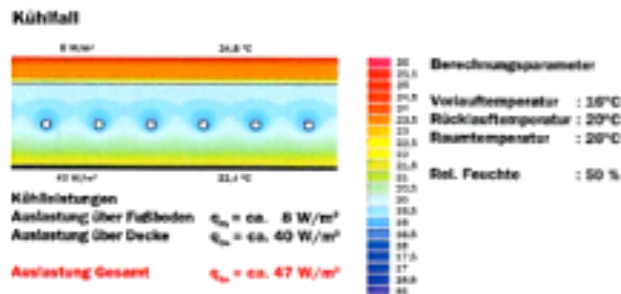
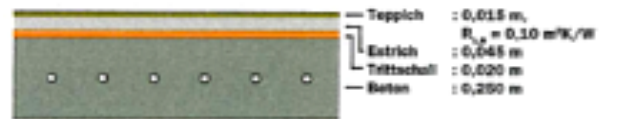
Ex : Peinture noire : $\varepsilon = 0.80$ - Facteur d'absorption : $a = 0.94$

Ex : Papier blanc : $\varepsilon = 0.68$

Ex : Plâtre : $\varepsilon = 0.86$

Les dalles actives :

Echanges thermiques et performances



Régime été :

Régime d'eau : 16 °C / 20 °C

Température ambiante : 26 °C

Flux vers le bas : 40 W / m²

Flux total : 47 W / m²

Régime hiver :

Régime d'eau : 28 °C / 24 °C

Température ambiante : 20 °C

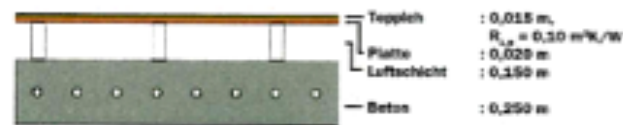
Flux vers le bas : 23 W / m²

Flux total : 29 W / m²

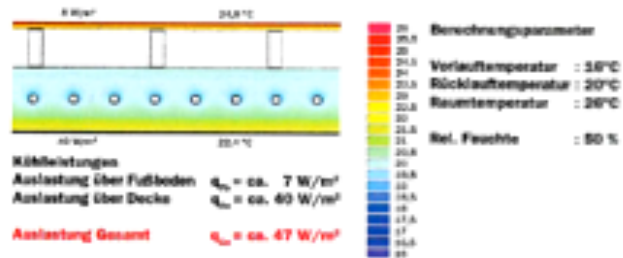
*Pas du tube 20 cm

Les dalles actives :

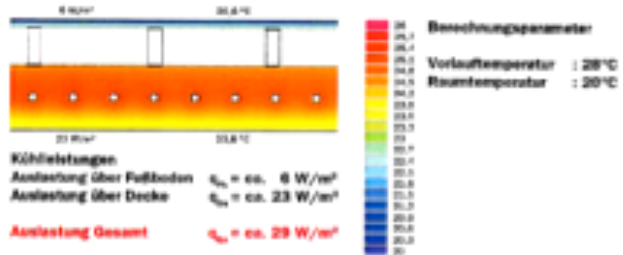
Echanges thermiques et performances



Kühlfall



Heizfall



Régime été :

Régime d'eau : 16 °C / 20 °C

Température ambiante : 26 °C

Flux vers le bas : 40 W / m²

Flux total : 47 W / m²

Régime hiver :

Régime d'eau : 28 °C / 24 °C

Température ambiante : 20 °C

Flux vers le bas : 23 W / m²

Flux total : 29 W / m²

*Pas du tube 20 cm

Les dalles actives :

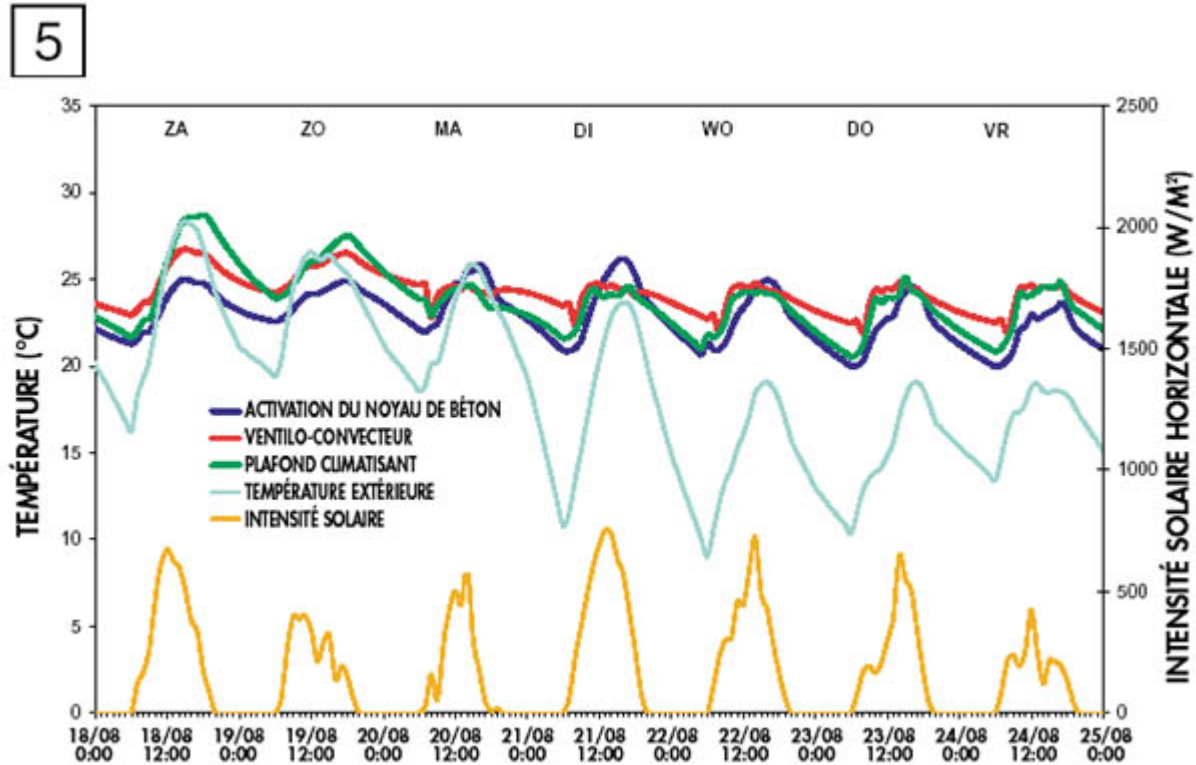
Echanges thermiques et performances

• Limites de performances

		Wärmeübergangskoeffizient W/m ² · K		Oberflächentemperatur °C		Maximale Leistung W/m ²	
		Heizung	Kühlung	Max. Heizung	Min. Kühlung	Heizung	Kühlung
Boden	Randzone	11	7	35	20	165	42
	Aufenthalt	11	7	29	20	99	42
Wand		8	8	~ 40	17	160	72
Decke		6	11	~ 27	17	42	99

Les dalles actives

➤ Régulation



Les dalles actives

Régulation

- **Le système de régulation ne corrigera pas les mauvais choix de conception**

- Surface d'échange inadaptée
- Vitesse dans les tubes insuffisante
- Zoning insuffisant
- ...

Les dalles actives

Régulation

- ✚ **Le concept de dalle active n'est pas approprié aux locaux dont les charges thermiques varient rapidement**
 - Salle de réunions
 - Salle de restaurant
 - Locaux sans occultation



Les dalles actives

Régulation

- ✚ **L'inertie d'une dalle béton est très importante**

Ex : 5h pour abaisser de 1°C la température du noyau, après interruption du débit d'eau

- ✚ **La régulation de chaque boucle hydraulique, en tout ou rien, à partir d'un thermostat d'ambiance est inadaptée**

Les dalles actives

Régulation

- ✚ **Pour un bâtiment dont les besoins en chaud et en froid sont faibles et sensiblement équivalents :**

- Activation nocturne du béton, jusqu'à la consigne de la sonde témoin (tubes placés à l'axe de la dalle)
- Restitution passive pendant la période d'occupation
- Température de départ d'eau presque constante tout au long de l'année

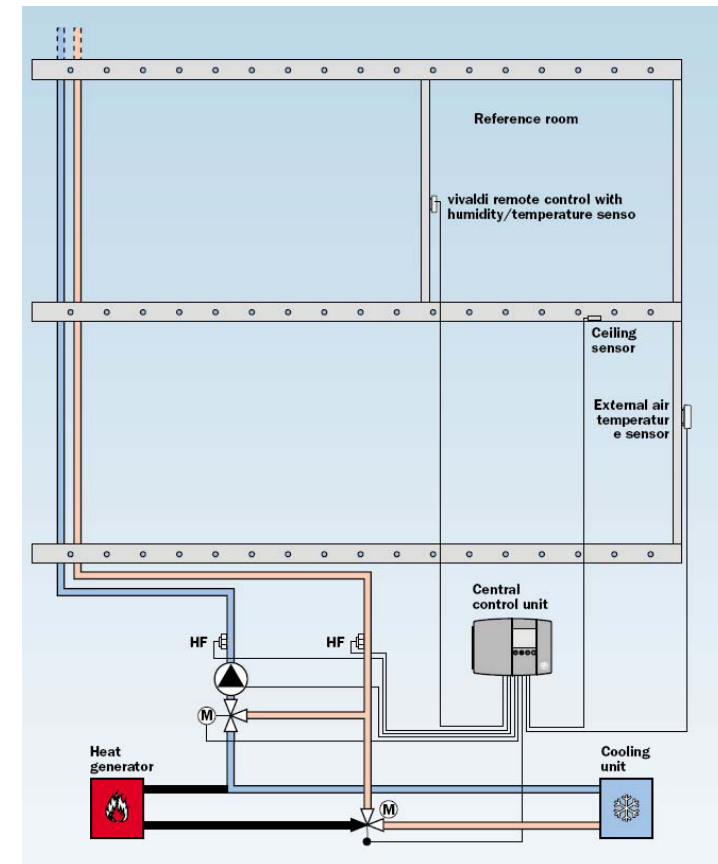
Les dalles actives

Régulation

Points de mesure

- Température extérieure
- Température d'ambiance*
- Point de rosée
- Température de départ
- Température de retour
- Température de surface

* ou Température opérative



Les dalles actives

Régulation

- ✚ **Pour un bâtiment dont les besoins en chaud et en froid sont plus importants et différents :**

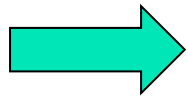
- Activation nocturne du béton, jusqu'à la consigne de la sonde témoin (tubes placés à l'axe de la dalle avec parfois une 2^{ème} nappe de tubes)
- Restitution pendant la période d'occupation – Relance de l'activation par séquence
- Température de départ d'eau fonction de plusieurs paramètres



Les dalles actives

Régulation

Modèle de régulation proposé



Préparation de la température de départ d'eau en fonction de la température extérieure et zoning par orientation



Correction de la température de départ en fonction

- Température de retour
- Température d'ambiance
- Température de surface de la dalle
- Température de rosée

Les dalles actives

Conclusion

- ✚ **Les dalles actives** présentent bien des avantages :
 - **Réduction des coûts d'investissement comparativement à une solution plafonds climatiques**
 - **Réduction des coûts d'exploitation, comparativement à toute autre solution**
 - **Amélioration du confort global (bruits, déplacements d'air, température ressentie, variation lente de température)**
 - **Gains de place**

Les dalles actives

Conclusion

- ✚ **Les dalles actives** présentent aussi des **inconconvénients** :

- **Limite la modularité des bâtiments**

- **Ne convient pas pour tous types de locaux**

(Fortes charges thermiques – Variations rapides de la charge thermique)

- **Accroît la réverbération des locaux**

- **Modèle de régulation en cours d'élaboration**