

BUREAUX	EQUIPEMENTS SPORTIFS	LOCAUX D'ENSEIGNEMENT	RESIDENTIEL	SANTE	AUTRES
CHAUFFAGE	RAFRAÎCHISSEMENT	CLIMATISATION	ECS	ELECTRICITE	
GENERATION		DISTRIBUTION	EMISSION	REGULATION	
FAISABILITE	PROGRAMMATION	CONCEPTION	REALISATION	EXPLOITATION	
CONSTRUCTION NEUVE		BATIMENT EXISTANT		REHABILITATION	

# LE Puits CLIMATIQUE

## PREAMBULE

Par souci de simplification et d'harmonisation avec les dernières publications sur ce thème, les termes de "puits canadien", "puits provençal" et "échangeur thermique enterré" ("buried pipes") ont été regroupés sous l'appellation "puits climatique".

Ce document a pour objectif de présenter :

- le principe général du puits climatique,
- les applications possibles,
- les indicateurs énergétiques relatifs à leur fonctionnement,
- les principes de dimensionnement utilisables,
- les matériels disponibles sur le marché pour réaliser ce type d'équipement et quelques recommandations de mise en œuvre,
- quelques résultats de simulations obtenues, directement ou indirectement, avec la feuille de calcul "Buried pipes" mise à disposition d'Envirobat-Méditerranée par Pierre HOLLMÜLLER (<http://cdr.envirobat-med.net/spip.php?article386>),
- quelques exemples d'opérations et coûts d'équipements,
- les sources d'informations utiles pour en savoir plus sur ces systèmes et quelques coordonnées de fournisseurs.



## SOMMAIRE

<b>1</b>	<b>QU'APPELLE-T-ON Puits CLIMATIQUE ?</b>	<b>3</b>
1.1	Principe	3
1.2	Schéma fonctionnel du puits climatique	5
1.3	Quelles sont les applications possibles ?	6
<b>2</b>	<b>INDICATEURS ENERGETIQUES DE FONCTIONNEMENT DU SYSTEME</b>	<b>8</b>
2.1	Température en sortie de tube(s)	8
2.2	Puissance fournie par le système au local ventilé	9
2.3	Contribution du système au chauffage ou au refroidissement d'un bâtiment	9
2.4	Puissance absorbée par le ventilateur	10
2.5	Coefficients d'efficacité énergétique du système (EER et SEER)	10
2.6	Rendement d'échange du puits climatique et de la ventilation double flux	11
<b>3</b>	<b>CONCEPTION</b>	<b>12</b>
3.1	Pré faisabilité	12
3.2	Eléments de conception	12
3.3	Précautions pour l'entretien	15
<b>4</b>	<b>ELEMENTS COMPLEMENTAIRES</b>	<b>16</b>
4.1	Aide à la conception des opérations	16
4.2	Quelques exemples et coûts d'équipements	17
4.3	Matériels et équipements	19
4.4	Bibliothèque	20
<b>5</b>	<b>BIBLIOGRAPHIE ET REFERENCES UTILISEES POUR ETABLIR LA FICHE</b>	<b>20</b>
<b>6</b>	<b>ANNEXE: ETUDE DE CAS</b>	<b>21</b>

## 1 QU'APPELLE-T-ON Puits CLIMATIQUE ?

### 1.1 Principe

C'est un système de ventilation de bâtiment par de l'air ayant transité au préalable à travers un ou plusieurs tubes enterrés horizontalement à faible profondeur dans le sol à proximité du bâtiment ou sous ce bâtiment. Le ou les tubes servent d'échangeur de chaleur entre l'air et le sol.

Le système part d'un constat simple : sous nos climats la température de l'air extérieur peut varier de -10°C ou -15°C en hiver à +35°C ou + 38°C en été, alors que celle du sol est constante toute l'année (environ 14°C) à -10m; elle varie entre +10°C et +18°C à -2,5m et entre +7°C et +21°C à -1,5m.

L'objectif est d'utiliser l'inertie thermique du sol, et donc une température relativement stable en sortie de tube, pour apporter soit de la chaleur soit de la fraîcheur au bâtiment.

Si le système a pour fonction principale le réchauffage d'air neuf venant de l'extérieur en période de chauffage on parle plutôt de puits canadien.

Si le système a pour fonction principale de rafraîchir l'air neuf venant de l'extérieur en période où le rafraîchissement est nécessaire on parle plutôt de puits provençal.

Le vocable "puits climatique" s'impose au niveau européen afin de nommer le système dans son utilisation globale, hiver et été<sup>1</sup>.

Il existe d'autres systèmes apparentés utilisant l'inertie thermique du sol :

- système intégré au bâtiment avec ventilation interne, depuis une cave enterrée existante, vers les autres locaux,
- échangeurs enterrés à circulation d'eau raccordés à des installations de traitement d'air.

<sup>1</sup> L'expression "puits climatique" a été présentée lors de la conférence organisée par RAEE (Rhône-Alpes Energie Environnement) le 24-01-08 à Lyon.

→ **Captage journalier ou saisonnier**

La profondeur d'enfouissement des tubes et l'épaisseur de terre qui les entoure déterminent la fonction principale que peut assurer le système :

- préchauffage d'air neuf en période froide et rafraîchissement en période chaude si les tubes sont écartés et entourés d'une épaisseur de terre importante,
- rafraîchissement si les tubes sont serrés.

- La première configuration permet d'amortir l'**onde annuelle** de température extérieure par sa propagation dans une importante couche de terre autour des tubes (**2 à 3 m**). Elle délivre en toutes saisons une température en sortie de tubes proche de la température annuelle moyenne du lieu (à condition de dimensionner correctement le système c'est à dire de choisir la bonne surface d'échange, pour un débit et un type de terre donnés, tout en minimisant les pertes de charges).

Sa fonction est d'apporter du confort en été et des économies d'énergie en hiver (par préchauffage d'air neuf). Cette catégorie de puits climatique n'est pas facile à intégrer du fait des distances à respecter entre les tubes.

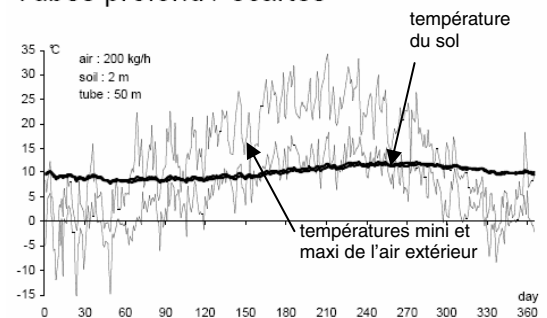
*Source : "Puits canadiens et techniques apparentées - Principe de fonctionnement, enjeux, dimensionnement" - Pierre Hollmuller, Université de Genève, Centre Universitaire d'Etude des Problèmes de l'Energie (CUEPE) - Université de Lisbonne - décembre 2005*

- La deuxième configuration permet d'amortir l'**onde quotidienne** de température extérieure par sa propagation dans une couche de terre limitée autour des tubes (**environ 20 cm**). Elle délivre une température en sortie de tube proche de la température quotidienne moyenne (à condition de dimensionner correctement le système).

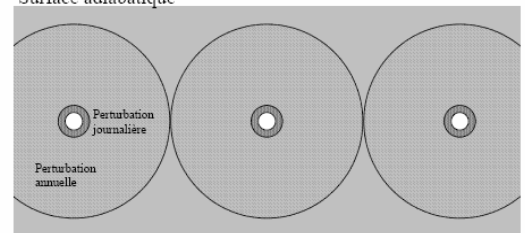
Sa fonction est d'apporter du confort en été en créant, si l'on peut dire, une ventilation nocturne en plein jour ! Elle a d'autant plus d'intérêt que la ventilation nocturne classique est peu utilisable, par exemple par manque d'inertie thermique du bâtiment équipé. Elle est plus facile à disposer dans le terrain, autour ou sous les bâtiments, du fait des distances limitées entre les tubes. Elle peut également être utilisée en hiver avec certaines précautions si l'on ne veut pas refroidir le bâtiment à certaines périodes de la journée !

### Amortissement annuel

Tubes profond / écartés

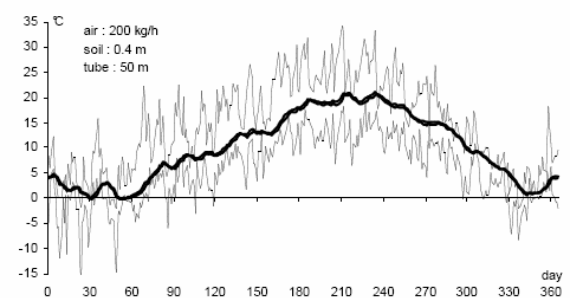


Surface adiabatique

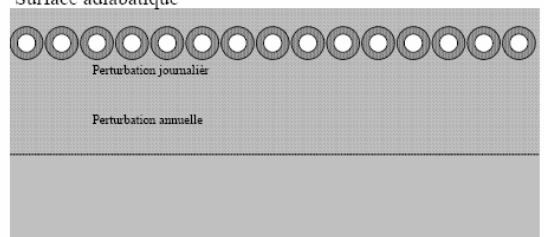


### Amortissement journalier

Tubes superficiels / serrés

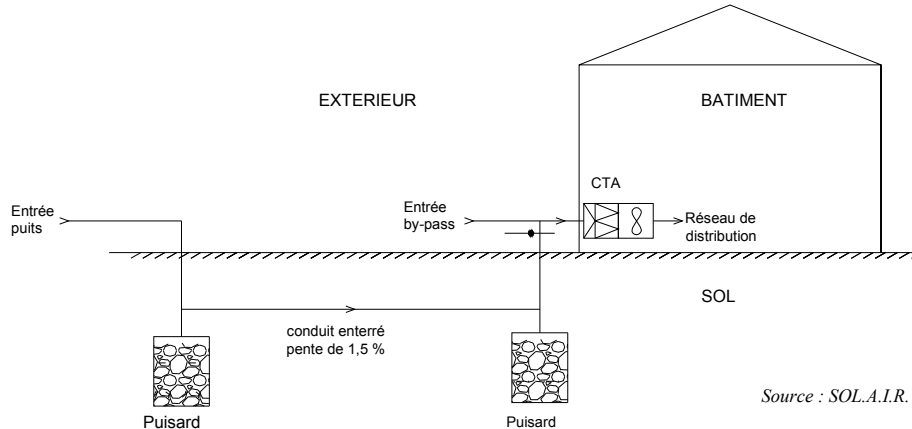


Surface adiabatique



## 1.2 Schéma fonctionnel du puits climatique

Le synoptique du puits climatique que l'on retrouve le plus souvent (du moins pour une maison individuelle) est le suivant :

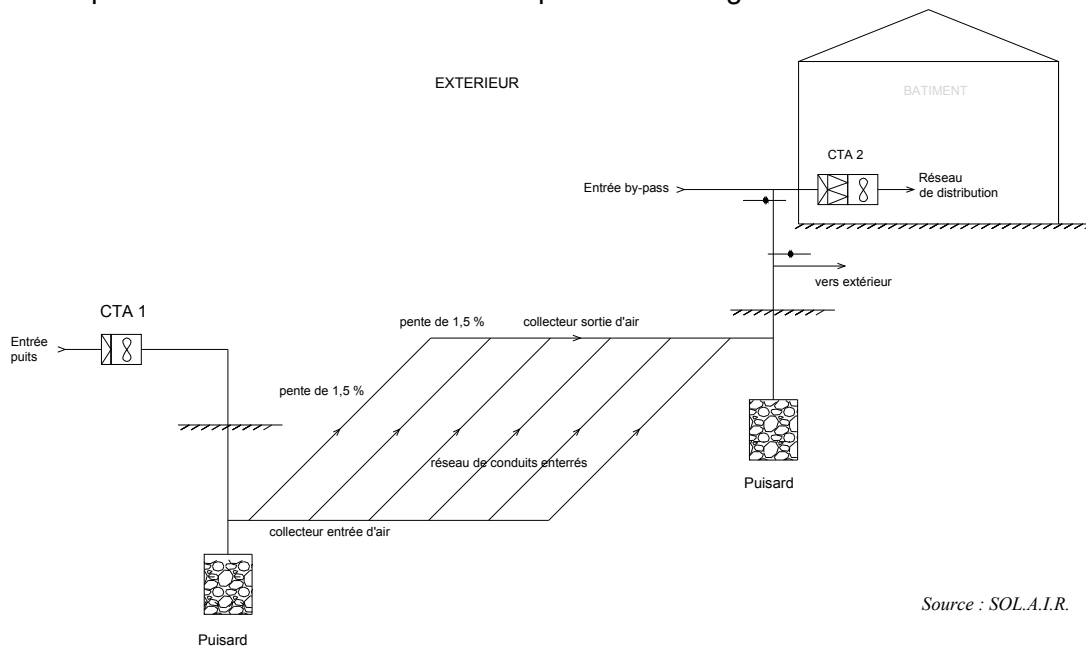


Il est constitué d' :

- une entrée d'air dans le puits,
- un conduit enterré,
- un ou deux puisards,
- un entrée d'air de by-pass du puits,
- une Centrale de Traitement d'Air (CTA) avec filtres et ventilateur,
- un réseau de distribution d'air neuf dans le bâtiment.

### → Variantes

Différentes configurations d'installation peuvent exister. Par exemple, lorsque les débits d'air sont importants (>500 m<sup>3</sup>/h), il est nécessaire de réaliser une nappe de conduits enterrés qui permet de répartir les débits et de diminuer les pertes de charge.



Dans la variante ci-dessus, des éléments nouveaux sont introduits :

- une première CTA qui permet de combattre les pertes de charge du réseau enterré et de réaliser une pré-filtration de l'air,
- un réseau de conduits enterrés (nappe) dans lequel se produit l'échange thermique,
- un conduit de rejet vers l'extérieur permettant, la nuit en été, de "charger" le puits en "frigories" tout en réalisant une surventilation nocturne du bâtiment par l'entrée d'air de by-pass.

### 1.3 Quelles sont les applications possibles ?

#### → **Mise hors gel ou mise hors chaud de locaux**

Cette application est possible à condition que la température de sortie du système soit toujours supérieure de plusieurs degrés à 0°C et toujours inférieure de plusieurs degrés à la température maximale admissible en été dans les locaux.

La configuration généralement utilisée est alors à tubes écartés. Le calcul de la puissance maximale à fournir ou à extraire et les températures qu'il est possible d'obtenir en sortie de tubes déterminent le débit d'air à faire circuler dans les locaux.

Cette utilisation peut être adaptée au traitement de locaux techniques en sites isolés pour lesquels on souhaite limiter, à la valeur la plus basse possible, la puissance électrique des installations et les coûts de maintenance. Le puits climatique est alors le seul système de traitement d'ambiance utilisé.

#### → **Rafraîchissement d'été et préchauffage d'air neuf**

Cette utilisation concerne des bâtiments à basse consommation d'énergie et bâtiments passifs, pour lesquels tous les efforts ont été faits par ailleurs pour minimiser les besoins de chauffage et rafraîchissement.

La double utilisation été/hiver nécessite que la température de sortie du système soit supérieure de plusieurs degrés à la température extérieure en période de chauffage et inférieure de plusieurs degrés à la température intérieure maximale admissible en période de rafraîchissement.

Une configuration à tubes écartés est donc nécessaire pour cette application.

Pour enterrer les tubes, il faut disposer d'une surface de terrain relativement importante par rapport à la surface du bâtiment.

Cette utilisation est donc plutôt adaptée aux maisons individuelles pour lesquelles il existe des systèmes en kit prêt à poser.

Dans cette application le puits climatique permet :

- une diminution des besoins de chauffage et donc des consommations d'énergie en hiver,
- d'éviter, en totalité ou en partie, la climatisation des bâtiments par machines thermodynamiques.

→ **Rafraîchissement d'été**

En 2000, 19 % des surfaces de locaux tertiaires en France étaient climatisés<sup>2</sup>.

Toute réduction du besoin de climatisation entraîne une diminution :

- des puissances électriques souscrites et des appels de puissance de pointe sur le réseau,
- des consommations électriques et des coûts de fonctionnement,
- des rejets, dans le milieu extérieur, de polluants liés aux consommations d'électricité et de fluides frigorigènes liés au fonctionnement des machines frigorifiques.

Cette utilisation concerne des bâtiments à basse consommation d'énergie et bâtiments passifs, pour lesquels tous les efforts ont été faits pour minimiser les besoins de rafraîchissement. Elle peut être intéressante pour des locaux occupés la journée qu'il est difficile de refroidir par ventilation nocturne du fait de la faible inertie thermique ou pour des raisons de sécurité ou encore de bruit.

Les deux configurations, à tubes écartés ou à tubes rapprochés et éventuellement à plusieurs couches, peuvent être utilisées pour cette application. L'avantage de la deuxième configuration est sa moindre consommation de surface de terrain par rapport à la surface de bâtiment.

Elle permet de faire de la "ventilation nocturne" en plein jour !

La puissance de refroidissement est d'autant plus importante que le débit d'air introduit dans le bâtiment est élevé.

Mais plus le débit d'air est important, plus la puissance absorbée par le ventilateur est forte.

Il faut donc veiller tout particulièrement au coefficient d'efficacité énergétique du système (EER : energy efficiency ratio). Si l'on n'y prend garde, celui-ci peut devenir inférieur à celui d'un système de refroidissement par machine thermodynamique (climatiseur).

Dans cette application le puits climatique permet :

- en premier lieu d'éviter, en totalité ou en partie, la climatisation des bâtiments par machines thermodynamiques,
- en second lieu la mise hors gel des échangeurs éventuels des systèmes de ventilation à double flux,
- et dans une moindre mesure une réduction des besoins de chauffage et des consommations d'énergie en hiver.

<sup>2</sup> Commission européenne, 2003. "Energy Efficiency and Certification of Central Air Conditioners (EECCAC)" (rapport final coordonné par Adnot J. et ARMINES, pour le compte de la DG Transport-Energie de la Commission européenne). 3 tomes, 67 + 67 + 89 p.

## 2 INDICATEURS ENERGETIQUES DE FONCTIONNEMENT DU SYSTEME

### 2.1 Température en sortie de tube(s)

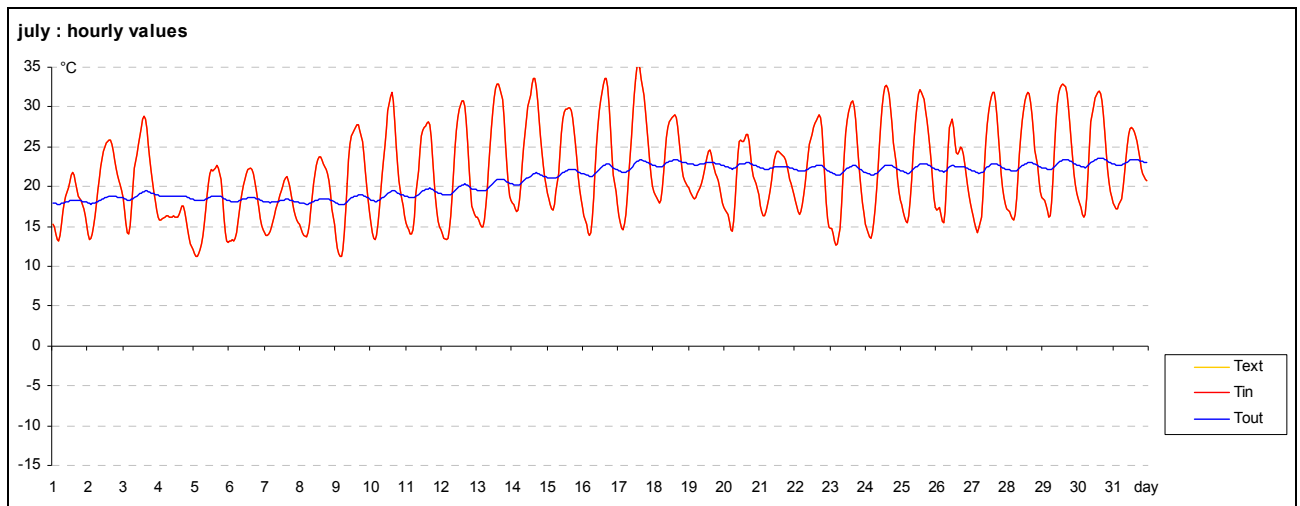
L'échange thermique entre l'air et le sol permet d'amortir les variations de température d'air extérieur, du fait de l'inertie du sol, et conduit à une température en sortie proche de la température extérieure moyenne du lieu d'implantation.

Si chaque tube enterré est entouré d'une épaisseur de terre importante, comprise entre 2 et 3 m selon la nature du sol, c'est l'amplitude de température annuelle qui peut être amortie. La température de sortie peut alors être proche de la température extérieure moyenne *annuelle* du site d'implantation.

Si chaque tube enterré n'est entouré que d'une épaisseur limitée de terre, comprise entre 20 et 30 cm selon la nature du sol, seule l'amplitude quotidienne peut être amortie. La température de sortie peut alors être proche de la température extérieure moyenne *quotidienne* du site.

Le dimensionnement du système (écartement entre les tubes, diamètre et longueur de tube, débit d'air par tube) détermine la température de sortie pour un site donné. Celle-ci peut être obtenue par simulation thermique dynamique.

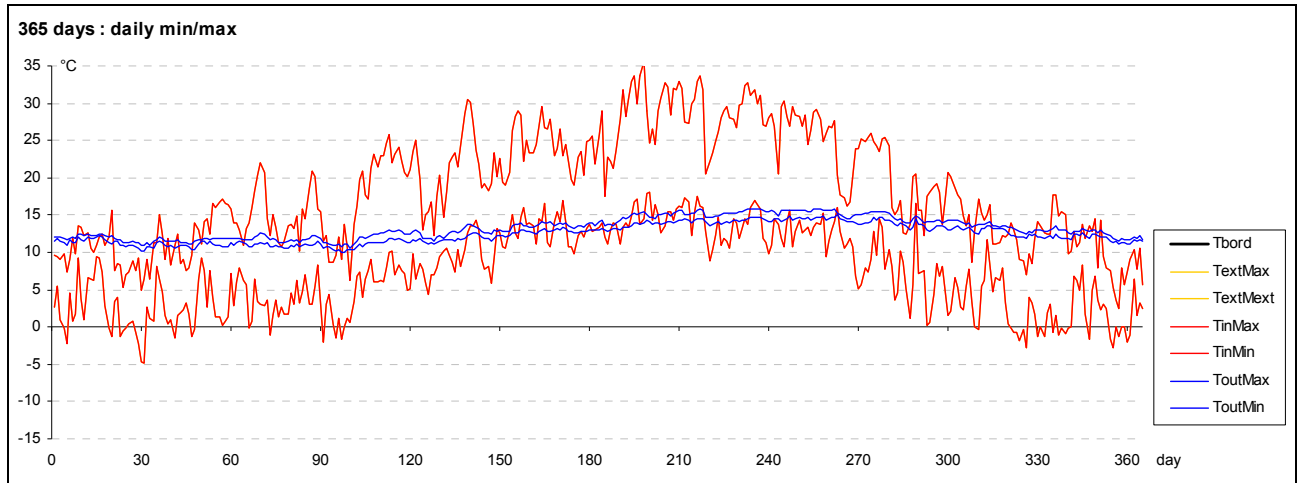
#### Exemple 1: tubes serrés



Simulation pour **le mois de juillet** de la température en sortie de tube ( $T_{out}$  en bleu), comparée à la température d'entrée ( $T_{in}$  en rouge), pour un diamètre de 200 mm, une épaisseur de terre de 20 cm autour du tube, une conductivité thermique de la terre de 1,9 W/m.K, une capacité thermique volumique de la terre de 1,9 MJ/m<sup>3</sup>.K, une longueur de 50 m, un débit de 200 m<sup>3</sup>/h et la météo standard de Carpentras (résultats obtenus avec la feuille de calcul "Buried Pipes" conçue par Pierre HOLLMULLER – CUEPE - Université de Genève)



## Exemple 2: tubes écartés



Simulation **annuelle** de la température en sortie de tube ( $T_{out}$ ), pour un diamètre de 200 mm avec une épaisseur de terre de 2 m autour du tube, une conductivité thermique de la terre de 1,9 W/m.K, une capacité thermique volumique de la terre de 1,9 MJ/m<sup>3</sup>.K, une longueur de 50 m, un débit de 200 m<sup>3</sup>/h et la météo standard de Carpentras (résultats obtenus par la feuille de calcul "Buried Pipes" conçue par Pierre HOLLMULLER – CUEPE - Université de Genève)

## 2.2 Puissance fournie par le système au local ventilé

Si on ne tient pas compte de la puissance fournie à l'air par le moto-ventilateur, et dégradée en chaleur, elle dépend de trois facteurs :

- la température obtenue en sortie de tube(s),
- la température intérieure maintenue ou à maintenir dans le local,
- le débit d'air issu du système et introduit dans le local.

## 2.3 Contribution du système au chauffage ou au refroidissement d'un bâtiment

Hormis le cas de la mise hors-gel ou de la mise hors-chaud de bâtiments, le système n'assure généralement pas seul la totalité des besoins de chauffage ou de refroidissement. Il est donc nécessaire de savoir quelle peut être sa contribution au bilan énergétique du bâtiment afin d'évaluer les réductions potentielles de puissance installée, de coût d'équipements complémentaires et de consommations d'énergie.

Cette contribution peut être déterminée par rapport à la puissance nécessaire à un instant  $t$  ou par rapport aux quantités d'énergie nécessaires sur une période de fonctionnement donnée. Dans ce dernier cas, des outils de simulation thermique, intégrant les variations de conditions de fonctionnement au cours du temps, sont nécessaires.

## 2.4 Puissance absorbée par le ventilateur

Elle dépend de trois facteurs :

- la perte de charge dans le ou les tubes,
- le débit d'air en circulation dans le système et introduit dans le bâtiment,
- le rendement de l'ensemble moto-ventilateur utilisé.

La perte de charge dépend de nombreux facteurs :

- vitesse de l'air,
- pression, température et humidité de l'air,
- rugosité du matériau constitutif du ou des tubes,
- longueur de tube parcourue par l'air,
- type et nombre d'accidents de parcours sur le circuit d'air (coudes, tés, raccords sur les caissons de filtration et ventilation, etc.).

Pour les parties droites de tubes, la perte de charge est proportionnelle à la longueur.

Pour le circuit complet et les régimes d'écoulement généralement rencontrés dans les tubes, la perte de charge est en outre proportionnelle au carré de la vitesse d'air et donc au carré du débit. La puissance absorbée est donc proportionnelle au cube du débit.

## 2.5 Coefficients d'efficacité énergétique du système (EER et SEER)

Ces coefficients sont utiles pour comparer les performances énergétiques du système de tubes enterrés à celles que l'on pourrait obtenir avec un système de refroidissement artificiel par machine thermodynamique ou avec un autre système de refroidissement "naturel". Ils sont également utiles pour optimiser le dimensionnement du système.

Deux types de coefficients peuvent être calculés :

- le coefficient d'efficacité énergétique nominal ou instantané (EER),
- le coefficient saisonnier d'efficacité énergétique (SEER).

Le coefficient nominal ou instantané peut être calculé en faisant le rapport entre la puissance utile fournie par le système au local et la puissance électrique consommée.

$EER = \text{Puissance utile fournie} / \text{Puissance électrique consommée}$

Le coefficient saisonnier peut être calculé en faisant le rapport entre l'énergie utile fournie par le système au local et l'énergie électrique consommée.

$SEER = \text{Energie utile fournie} / \text{Energie électrique consommée}$

## 2.6 Rendement d'échange du puits climatique et de la ventilation double flux

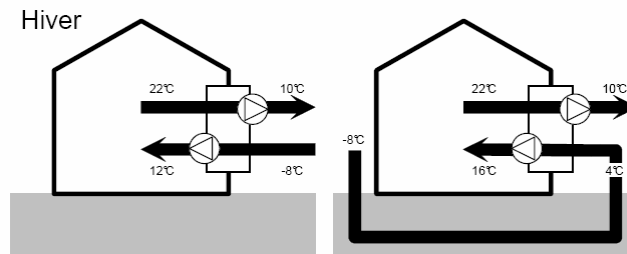
En ventilation double flux, l'échange de chaleur ou de froid est réalisé entre l'air extrait et l'air entrant par un échangeur statique (à plaques, rotatif, etc.).

Avec le puits climatique, l'échange est réalisé, entre le sol et l'air entrant, sur toute la surface du conduit enterré.

Le rendement d'un échangeur se calcule d'après la formule suivante :

$$\text{Rendement} = \frac{(T_{\text{soufflage}} - T_{\text{extérieure}})}{(T_{\text{reprise}} - T_{\text{extérieure}})}$$

### → Exemples de performances en hiver



Source : "Puits canadiens et techniques apparentées - Principe de fonctionnement, enjeux, dimensionnement" - Pierre Hollmuller

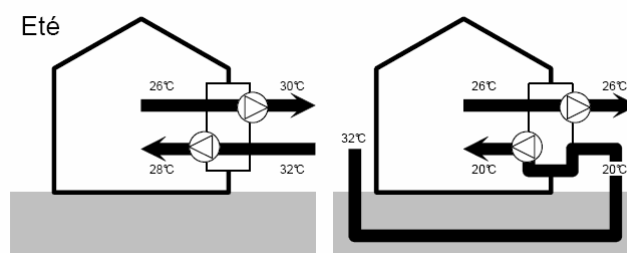
Les rendements des configurations ci-dessus sont les suivants :

- Rendement échangeur air/air double flux seul = 67 %
- Rendement échangeur air/sol (puits climatique) seul = 40 %
- Rendement échangeur air/sol + air/air = 80 %

Le rendement de l'échangeur double flux est plus élevé que celui du conduit enterré.

Si un seul système est utilisé et si on recherche uniquement du préchauffage d'air neuf, l'échangeur double flux est plus performant thermiquement.

### → Exemples de performances en été



Source : "Puits canadiens et techniques apparentées - Principe de fonctionnement, enjeux, dimensionnement" - Pierre Hollmuller

L'échangeur statique de la ventilation double flux ne permet pas d'obtenir des températures d'air soufflé inférieures à la température de l'air extrait.

Le puits climatique permet un abaissement de température extérieure supérieur à l'écart entre T extérieure et T intérieure.

Le puits climatique permet ainsi de rafraîchir l'air neuf. Cette fonction est impossible avec un échangeur de ventilation double flux statique.

### → Bilan de la comparaison puits climatique / ventilation double flux

En hiver, les performances d'une ventilation double flux seule sont plus élevées que celles du puits climatique.

En été, seul le puits climatique permet de rafraîchir l'air extérieur.

**L'association des deux systèmes** permet un gain sur les performances en hiver, le rendement d'échange passe de 67 à 80 %, et permet de rafraîchir le bâtiment en été. Cette association est cohérente uniquement si l'échangeur double flux est équipé d'un by-pass, évitant le réchauffement de l'air soufflé par l'air extrait, plus chaud, en été.

### 3 CONCEPTION

#### 3.1 Préfaisabilité

Une fois l'application définie, le dimensionnement consiste à trouver la meilleure combinaison possible entre surface d'échange et débit d'air, dans une optique d'économie de moyens et de performance énergétique globale la plus élevée possible.

→ **Conditions favorables à la mise en place**

- + surface disponible au sol, si possible ombragée ou avec végétation à faible développement racinaire, en été et plutôt ensoleillée en hiver (cas de l'échangeur à amortissement journalier)
- + chantier sur lequel du terrassement est prévu

→ **Conditions défavorables à la mise en place**

- peu de surface disponible
- terrain rocheux
- rénovation de bâtiments, sans réseau de distribution d'air intérieur

#### 3.2 Eléments de conception

##### Nature du sol

➤ La capacité calorifique et la conductivité thermique du sol doivent être prises en compte car elles influent directement sur les performances du puits climatique.

A titre d'exemple, afin d'optimiser la quantité d'énergie que pourra récupérer le puits, il est préférable d'installer celui-ci dans un sol argilo-marneux ou argilo-sableux humide plutôt que dans un sol sablonneux sec.

➤ La place disponible pour l'enfouissement du conduit et le coût de mise en œuvre doivent également être pris en compte. Il est préférable, pour l'enfouissement du conduit, de disposer d'une surface importante et dégagée. De plus, le coût d'installation d'un puits climatique dépend fortement du coût de terrassement. Ces deux éléments font qu'il est plus judicieux d'installer le puits pendant les travaux de fondation d'un bâtiment que pour équiper un bâtiment existant.

##### Débits d'air mis en jeu

➤ Le débit d'air minimum à faire transiter dans le puits climatique est le débit nécessaire au renouvellement d'air hygiénique du bâtiment.

La valeur de ce débit doit être conforme aux valeurs de l'arrêté du 24 mars 1982 pour les bâtiments résidentiels et aux valeurs du règlement sanitaire départemental et/ou du code du travail pour les locaux tertiaires.

➤ En été, si les apports internes de chaleur sont importants (bureautique, process, pointe d'occupation, etc.), il est envisageable d'augmenter le débit transitant dans le puits climatique.

### Entrées d'air

- **Type d'entrée** : il s'agit généralement d'une bouche extérieure pour le secteur résidentiel et d'un plénum pour le secteur tertiaire nécessitant de plus gros débits de renouvellement d'air.
- **Hauteur de la prise d'entrée d'air neuf** : elle doit être supérieure à 1,10 m pour limiter l'encrassement.
- **Chapeau de protection** : il permet d'éviter les infiltrations d'eau de pluie à l'intérieur du puits climatique.
- **Grille de protection à fin maillage** : elle est indispensable pour éviter l'intrusion de rongeurs, oiseaux, insectes. Elle doit être facilement accessible pour son nettoyage.
- **Filtres** : il est conseillé de munir les entrées d'air des puits climatiques d'un filtre. La classe du filtre à utiliser dépend de la densité et du type de poussières à proximité de l'entrée d'air (G4, G5, F6, F7). Il est recommandé d'inspecter et de changer régulièrement les filtres (3 à 4 fois par an en moyenne). Un filtre encrassé augmente les pertes de charge du puits, et donc la consommation du ventilateur, et réduit le débit.
- **Positionnement de l'entrée d'air neuf** : celle-ci doit être implantée loin des sources de pollution (voirie, parking, poubelles, etc.) et loin de toute végétation pouvant produire des pollens allergisants.

### Réseau enterré

- **Positionnement du réseau enterré** : lorsque la surface de terrain disponible à proximité du bâtiment est trop limitée pour permettre la mise en œuvre des tubes, il est possible de disposer ceux-ci sous le bâtiment. Dans ce cas, une attention toute particulière doit être portée à l'isolation thermique de la dalle au dessus des tubes. En effet, le couplage thermique entre celle-ci et les tubes conduit à puiser dans le bâtiment la chaleur ou la fraîcheur fournie à l'air.
- **Nombre de tubes** : le circuit d'air peut être constitué d'un seul tube posé en méandre ou en boucle autour du bâtiment. Il peut aussi être organisé sous la forme d'un réseau de tubes parallèles installés entre des collecteurs afin de répartir le débit entre les tubes et de minimiser les pertes de charge.
- **Longueur de chaque tube** : elle est habituellement de l'ordre de 25 à 30 m afin de limiter les pertes de charge. La longueur totale du conduit est calculée en fonction du débit d'air souhaité, de la nature du sol, de la zone géographique (température extérieure tout au long de l'année) et du type d'installation choisie.
- **Diamètre des tubes** : pour optimiser les transferts thermiques sol/air, la vitesse de l'air au sein des tubes doit être comprise entre 1 et 3 m/s. En fonction des débits d'air requis, le diamètre des tubes est alors calculé pour respecter ces conditions de vitesse d'air.

Des règles du pouce peuvent être utilisées pour une première approche du dimensionnement. Ainsi, Pierre HOLLMULLER recommande une surface d'échange entre l'air et le tube de 1m<sup>2</sup> (surface intérieure de tube) pour 5 à 12 m<sup>3</sup>/h de débit d'air et pour un système à tubes

rapprochés utilisé pour le rafraîchissement en été. Ce dimensionnement permet de limiter l'amplitude résiduelle de température à 15% de la valeur nominale (sans puits climatique).

➤ **Profondeur d'enfouissement des tubes :** la profondeur préconisée est souvent comprise entre 1,5 et 3 m. A ces profondeurs, la température du sol varie bien moins que la température de l'air extérieur entre l'été et l'hiver (entre 5 et 15 °C en moyenne en France). Il est cependant possible d'enfouir les tubes plus profondément mais cela augmente les contraintes de terrassement et de pose.

➤ **Espacement entre les tubes :** voir le paragraphe 1.1.

➤ **Pente des tubes** elle doit être comprise entre 1 et 3% pour favoriser l'évacuation des condensats qui peuvent se former lorsque l'air extérieur chaud entre en contact avec les parois plus froides des tubes.

➤ **Matériau constitutif des tubes :** le choix du matériau est important car il a un effet direct sur les échanges thermiques sol/puits. L'utilisation de parois compactes à conductivité thermique élevée doit être favorisée car elle permet d'augmenter les échanges et ainsi de réduire la longueur des tubes. Les matériaux utilisés doivent également avoir une bonne tenue à l'enfouissement (une classe de rigidité minimale de 8 kN/m<sup>2</sup> est conseillée). Les tubes entrant dans la composition des puits climatiques actuellement en fonctionnement sont généralement en PVC, en polyéthylène, en polypropylène souple ou rigide, et même en fonte ou en béton. Certains tubes sont constitués de matières plastiques (PVC structurés ou gaines type TPC) emprisonnant des bulles d'air, ce qui diminue l'échange thermique sol/conduit. Le recours à ce type de tube est donc déconseillé.

➤ **Étanchéité à l'eau et à l'air du réseau enterré** (tubes et raccords) : elle est indispensable pour empêcher la pénétration de racines ainsi que les phénomènes d'infiltration d'eau et de radon au sein du conduit. Une étanchéité des jonctions conforme aux exigences de la norme NF EN 1277 est recommandée.

➤ **Zones à risque radon** le radon peut être introduit dans le bâtiment par l'intermédiaire du puits climatique si les tubes enterrés et en sous-sol ne sont pas étanches à l'air. Dans les zones à risque radon, il convient donc de veiller à l'étanchéité à l'air des conduits et de porter une attention particulière à leur enrobage avec de la terre afin d'éviter la formation de cavités où le radon pourrait se loger.

#### Ventilateurs (performance énergétique)

➤ Les moteurs et les ventilateurs doivent être dimensionnés en fonction du débit d'air nécessaire. Ils doivent avoir un rendement suffisant pour ne pas dégrader les performances énergétiques du puits climatique.

#### By-pass / Régulation

➤ En intersaison, lorsque la température extérieure est comprise entre 10 et 20 °C, le recours au puits climatique n'est pas judicieux. En effet, la température extérieure est bien souvent proche de la température de confort intérieur se situant entre 18 et 22 °C, il est donc préférable de déconnecter le puits par un by-pass afin de ne pas rafraîchir l'habitation. Le by-pass du puits par une prise directe d'air neuf, est généralement piloté par un servomoteur, couplé à un thermostat positionné à l'extérieur du bâtiment. Ceci permet de faire varier l'origine de l'air neuf (air provenant du puits climatique ou air provenant directement de l'extérieur) en

fonction de la pertinence du passage par le puits.

➤ Un deuxième by-pass peut être nécessaire dans certaines configurations pour permettre de refroidir le puits, la nuit en été, par de l'air extérieur transitant dans le puits avant d'être rejeté à l'extérieur.

### Raccordement

➤ Au sein d'un bâtiment, un puits climatique peut être associé à un système de ventilation mécanique double flux centralisée ou non. De plus en plus de puits en cours d'installation en Europe sont connectés à des caissons de ventilation double-flux centralisée. Dans ce cas, le ventilateur d'entrée d'air neuf de la centrale double-flux coïncide avec celui du puits. Comme expliqué précédemment, un système de by-pass, associé à une régulation appropriée, choisit de manière automatique entre l'air extérieur et l'air du puits en fonction de la température de l'air extérieur. En mi saison, la prise d'air directe est privilégiée.

En période hivernale, le recours au puits limite fortement les risques de givrage de l'échangeur de la centrale double-flux et permet souvent de se passer de batterie de dégivrage.

### 3.3 Précautions pour l'entretien

- **Inspection et nettoyage** : il est nécessaire de rendre accessible ou au moins contrôlable visuellement (par caméra si nécessaire), les différents éléments du puits climatique (entrées d'air, tubes, collecteur d'entrée, collecteur de sortie).

- **Traitement anti-microbien** : les tubes enterrés peuvent avoir subi un traitement permettant de freiner la prolifération microbienne, source de mauvaises odeurs dans les bâtiments et de dégradation de la qualité de l'air intérieur. L'emploi de sel d'argent est par exemple utilisé pour cela.

- **Entretien du puits** : il doit être régulier (1 à 2 fois par an) et doit comporter le remplacement des filtres d'entrée d'air neuf, l'inspection de l'intérieur des tubes pour vérifier l'étanchéité et le bon écoulement des condensats et le contrôle de l'état général de fonctionnement du puits climatique (moteurs et ventilateurs, volets motorisés de by-pass, régulation).



## 4 ELEMENTS COMPLEMENTAIRES

### 4.1 Aide à la conception des opérations

#### Programmation des opérations

Type d'informations	Diffuseur	Lien internet
Manuel "Qualité environnementale du bâtiment" : manuel à l'usage de la maîtrise d'ouvrage et des acteurs du bâtiment – Fiche thématique 18	ADEME – Site internet national Rubrique bâtiment – à commander	<a href="http://www2.ademe.fr/servlet/KBaseShow?sort=-1&amp;cid=96&amp;m=3&amp;catid=16140">www2.ademe.fr/servlet/KBaseShow?sort=-1&amp;cid=96&amp;m=3&amp;catid=16140</a>
Recommandation – Assurer une bonne qualité d'air intérieur Exemples de cas de "dégâts"	KBOB/IPB - Suisse	<a href="http://www.bbl.admin.ch/kbob/00493/00495/index.html?lang=fr&amp;download=NHZLpZeg7t.Inp6I0NTU042I2Z6In1ae2IZn4Z2qZpnO2YUq2Z6gpJCDdH92gGym162epYbg2c_JjKbNoKSn6A--">www.bbl.admin.ch/kbob/00493/00495/index.html?lang=fr&amp;download=NHZLpZeg7t.Inp6I0NTU042I2Z6In1ae2IZn4Z2qZpnO2YUq2Z6gpJCDdH92gGym162epYbg2c_JjKbNoKSn6A--</a>

#### Conception des équipements

Type d'informations	Diffuseur	Lien internet
Guides de conception : l'aération dans les bâtiments MINERGIE, rubrique réseau de gaines externe	MINERGIE	<a href="http://www.minergie.ch">www.minergie.ch</a>
Feuille de calcul sous Excel "Buried pipes" conçue par Pierre HOLLMULLER Prédimensionnement de puits climatiques	Centre de ressources EnviroB.A.T.-Méditerranée Rubrique énergie, sous-rubrique MDE et ventilation	<a href="http://cdr.envirobat-med.net/spip.php?article386">http://cdr.envirobat-med.net/spip.php?article386</a>
AERODUCT – Feuilles de calcul sous Excel pour déterminer les pertes de charge des installations de ventilation	THERMEXCEL	<a href="http://www.thermexcel.com/french/index.htm">www.thermexcel.com/french/index.htm</a>
PLEIADES + COMFIE – Logiciel de simulation thermique dynamique avec module de simulation de puits climatiques	IZUBA Energie	<a href="http://www.izuba.fr/pleiades.htm">www.izuba.fr/pleiades.htm</a>
GAEA – Logiciel de simulation de puits climatique	Université de Siegen - Allemagne	<a href="http://nesa1.uni-siegen.de/">http://nesa1.uni-siegen.de/</a>
WKM – Logiciel pour le dimensionnement des puits climatiques	Huber Energietechnik AG Zürich - Suisse	<a href="http://www.hetag.ch/huber/indexr.htm">www.hetag.ch/huber/indexr.htm</a>
TRNSYS Simulation Studio + module "couplage sol" - Logiciel de simulation thermique dynamique	CSTB	<a href="http://software.cstb.fr/soft/resent.asp?page_id=fr!Trnsys">http://software.cstb.fr/soft/resent.asp?page_id=fr!Trnsys</a>



## 4.2 Quelques exemples et coûts d'équipements

Le tableau ci-dessous présente une liste non exhaustive d'installations en fonctionnement ou en cours de réalisation.

Les opérations citées concernent des installations collectives.

Les installations pour des particuliers ne sont pas citées, les informations les concernant se trouvent souvent dans des forums de discussion sur internet<sup>3</sup> ou bien peuvent être demandées auprès des distributeurs ou installateurs.

Projet	Etat	Contact	Lieu	Caractéristiques de l'installation	Remarques
Bureaux	phase réception	Moe fluides/HQE : Solair, T : 04 42 26 41 17	Avignon (13)	3 000m <sup>3</sup> /h, 1 nappe, en polyéthylène, 2 by-pass	-
AGC Concept Bureaux	réception 2006	MO et Moe : AGC Concept, T : 04 75 48 48 48	Valence (26)	2 nappes, diffusion dans sous la dalle du plancher bas	-
INEED Bureaux	réception juin 2006	Moe fluides/HQE : Enertech, M. Cambon T : 04 75 90 18 54	Valence (26)	4 000m <sup>3</sup> /h, 2 nappes, en PVC, 1 by-pass	puits instrumenté, campagne de mesure en cours
Crèche	phase travaux	Moe fluides/HQE : Solair, T : 04 42 26 41 17	Eguilles (13)	1 400m <sup>3</sup> /h, 1 nappe, en polypropylène, 1 by-pass	-
Ecole primaire	réception 2005	Moe HQE : Etamine, M. Molle T : 04 75 37 45 34 20	La Tour de Salvagny (69)	8 000m <sup>3</sup> /h, 3 nappes, en polyéthylène, 2 by-pass	puits instrumenté, efficacité maximale constatée en période chaude
Lycée Jean Vilar	réception sept. 2007	Moe fluides/HQE : Adret, M. Doligez T : 04 94 10 87 50	Villeneuve les Avignon (30)	2 500m <sup>3</sup> /h, 2 nappes sous le bâtiment, en fonte, 2 by-pass	puits instrumenté, en cours d'optimisation
Mairie de Juvignac	réceptionné	Moe fluides/HQE : Adret, M. Doligez T : 04 94 10 87 50	Juvignac (34)	-	-
Salle de spectacle Le Zénith	réception oct. 2005	Architectes : Chaix et Morel	Dijon (21)	140 000m <sup>3</sup> /h, 4 tubes de 100ml, en béton	-

. MO : Maître d'Ouvrage

. Moe : Maître d'œuvre

. 1 by-pass : présence d'un by-pass permettant d'amener de l'air directement depuis l'extérieur → obligatoire pour chaque installation

. 2 by-pass : présence d'un second by-pass permettant à l'air qui transite dans le puits, d'être rejeté à l'extérieur → nécessaire pour refroidir le puits, la nuit en été.

En règle générale, l'installation de ces puits climatiques a été prévue pour éviter une climatisation des locaux par groupe à compression.

<sup>3</sup> par exemple : forum du site : [www.batirbio.org](http://www.batirbio.org)



### Bureaux Avignon (84)

- Débit d'air traité : 3 000 m<sup>3</sup>/h
- Constitution du puits climatique: 1 nappe de 10 tubes de 30 m
- Profondeur d'enfouissement : 2,80 m
- Diamètre intérieur des tubes : 215 mm
- Diamètre des collecteurs entrée et sortie : 400 mm
- Entraxe des tubes : 1 300 mm
- Nature du matériau utilisé : polyéthylène, annelé à l'extérieur, lisse à l'intérieur
- Coût prévisionnel du système (terrassement / canalisations / registres by-pass) : 60 500€H.T., soit 201€HT/m de tube ou encore 20,2 €HT/(m<sup>3</sup>/h traité).

### Ecole primaire de La Tour de Salvagny (69)

- Système de ventilation utilisé : ventilation mécanique simple flux par insufflation
- Débit d'air traité : 8 000 m<sup>3</sup>/h
- Constitution du puits climatique : trois nappes superposées de 12 tubes lisses de 25 m de long
- Profondeur d'enfouissement : entre 1 et 2 m
- Diamètre intérieur des tubes : 200 mm
- Entraxe des tubes : 500 mm
- Nature du matériau utilisé : polyéthylène
- Type d'entrée d'air : plénum de 5 m x 2 m x 0,6 m
- Type de sortie d'air : collecteur relié à la centrale de traitement d'air et de ventilation mécanique par insufflation
- Coût du système (tranchées et canalisations) : 45 000 € H.T., soit 150 €HT/m de tube ou encore 5,63 €HT/(m<sup>3</sup>/h traité).

### Salle de spectacles Le Zénith à Dijon (21)

- Débit d'air traité : 140 000 m<sup>3</sup>/h
- Constitution du puits climatique : 4 tubes de 100 m de long en parallèle
- Profondeur d'enfouissement : 3 m (génératrice supérieure des tubes)
- Diamètre intérieur des tubes : 2 000 mm
- Entraxe des tubes : inconnu
- Nature du matériau utilisé : béton
- Coût prévisionnel du système : 380 000 € H.T., soit 950 €HT/m de tube ou encore 2,71 €HT/(m<sup>3</sup>/h traité).

### 4.3 Matériels et équipements

Liste extraite du document du CETIAT, cité dans la bibliographie :

Produits présents sur le marché français en 2007 :

- Kit de l'entreprise ALDES : [www.aldes.fr](http://www.aldes.fr)
- Kit de l'entreprise ATLANTIC : [www.atlantic-nouvellesenergies.com/](http://www.atlantic-nouvellesenergies.com/)
- Kit de l'entreprise EOLE : [www.eole-fr.com](http://www.eole-fr.com)
- Kit de l'entreprise FIABITAT CONCEPT : [www.fiabitat.com](http://www.fiabitat.com)
- Kit de l'entreprise FRANCE-AIR : [www.france-air.com](http://www.france-air.com)
- Kit de l'entreprise HELIOS : [www.helios-fr.com](http://www.helios-fr.com)
- Kit de l'entreprise NATHER : [www.nather.fr](http://www.nather.fr)
- Kit de l'entreprise REHAU : [www.rehau.fr](http://www.rehau.fr)
- Kit de l'entreprise UNELVENT : [www.unelvent.com](http://www.unelvent.com)
- Kit de l'entreprise VIM : [www.vim.fr](http://www.vim.fr)

Produits présents dans d'autres pays européens :

- Kit Tera-Air-Home de l'entreprise FRAENKISCHE : [www.fraenkische.de](http://www.fraenkische.de)
- Kit Hekatherm de l'entreprise HEGLER : [www.hegler.de](http://www.hegler.de)
- Kit GTC de l'entreprise PLUGGIT : [www.pluggit.com](http://www.pluggit.com)
- Kit Comfort-Vent-Easy de l'entreprise WERNIG : [www.wernig.at](http://www.wernig.at)
- Kit de l'entreprise ZENT-FRENGER : [www.zent-frenger.de](http://www.zent-frenger.de)

Systèmes domestiques avec VMC double-flux à échangeur à haut rendement COMFOFOND (à tubes d'air enterrés) et COMFOFOND L (à circuit hydraulique enterré) - ZEHNDER COMFOSYSTEMS - [www.comfosystems.de/](http://www.comfosystems.de/)



#### 4.4 Bibliothèque

- [www.fiabitat.com](http://www.fiabitat.com)

- [www.batirbio.org](http://www.batirbio.org)

- La Maison écologique (nombreux articles sur des opérations en maisons individuelles):  
[www.la-maison-ecologique.com/](http://www.la-maison-ecologique.com/)

- "Puits canadien et ventilation basse énergie" Frédéric Loyau – Editions l'inédite - 2009

- "Le puits canadien" Bruno Herzog - Editions Eyrolles - novembre 2007

- "Les dossiers techniques de l'agence locale de l'énergie de l'agglomération lyonnaise - le puits canadien", Agence Locale de l'Energie de l'agglomération Lyonnaise -

- Dimensionnement du "puits climatique" : analyse, modélisation, simulation d'un modèle de simulation dynamique pour les puits "canadiens" ou "provençaux" - IZUBA énergies – Ecole des Mines de Paris – SOLARTE – INSA de Toulouse - Rapport final PREBAT/ADEME  
[www2.ademe.fr/servlet/getBin?name=9225A17D6E47322E1DE25487798004A31176806431440.pdf](http://www2.ademe.fr/servlet/getBin?name=9225A17D6E47322E1DE25487798004A31176806431440.pdf)

- Exemples de réalisation de puits canadiens sur des bâtiments collectifs – Résultats de mesures de températures - Canada CLIM- [www.canada-clim.com/rubrique.php3?id\\_rubrique=6](http://www.canada-clim.com/rubrique.php3?id_rubrique=6)

- Reportage sur l'école primaire de La Tour de Salvagny - Revue Chaud Froid Plomberie N°690 – Mai 2006 - [www.edipa.fr](http://www.edipa.fr)

## 5 BIBLIOGRAPHIE ET REFERENCES UTILISEES POUR ETABLIR LA FICHE

- Débats sur la qualité environnementale "échangeurs thermiques enterrés pour le préchauffage ou rafraîchissement d'air (puits canadiens, puits provençaux)" - Synthèse de François Vallet -

- "Les puits canadiens/provençaux - Guide d'information" - Julien Heintz, Centre Technique des Industries Aérauliques et Thermiques (CETIAT) - janvier 2008 -

- "Puits canadiens et techniques apparentées - Principe de fonctionnement, enjeux, dimensionnement" - Pierre Hollmuller, Université de Genève, Centre Universitaire d'Etude des Problèmes de l'Energie (CUEPE) - Université de Lisbonne - décembre 2005 -

## 6 ANNEXE: ETUDE DE CAS

Un immeuble de bureaux construit sur deux niveaux, avec surface totale de planchers de 800m<sup>2</sup>, est occupé par 40 personnes. Le débit d'air neuf hygiénique est de 1 000 m<sup>3</sup>/h. La température à maintenir en période d'occupation est de 19°C en hiver et de 26°C en été lorsque la température extérieure est de 32°C. La station météorologique de référence est Carpentras. L'inertie thermique quotidienne de la construction est "moyenne" au sens de la réglementation thermique. Il n'est pas possible de réaliser un refroidissement nocturne par ouverture des fenêtres pour des questions de sécurité et de configuration des locaux.

### Choix de la configuration du système et dimensionnement

Pour le débit d'air neuf hygiénique nécessaire on peut prévoir un réseau de cinq tubes de Ø 200 mm et de longueur 50 m raccordés en parallèle, chacun parcouru par un débit de 200 m<sup>3</sup>/h. La vitesse de l'air est alors de 1,8 m/s et la perte de charge totale du système de l'ordre de 150 Pa (en prenant en compte les tubes, les tés, collecteurs et coudes en amont et aval des tubes en parallèle).

La surface de terrain nécessaire, en configuration avec tubes écartés et entraxe de 4,40 m environ, est de l'ordre de 1 100 m<sup>2</sup> (5 x 50 m x 4,40 m).

La surface de terrain nécessaire, en configuration avec tubes serrés et entraxe de 0,60 m environ, est de l'ordre de 150 m<sup>2</sup> (5 x 50 m x 0,60 m).

### Fonctionnement du système en préchauffage d'air neuf pour le jour le plus froid de l'année (31 janvier climat standard)

Indicateurs énergétiques	Tubes écartés $Q_v=Q_{vanh}$	Tubes serrés $Q_v=Q_{vanh}$
$T_{in}$ en valeur moyenne quotidienne	0,1°C	
$T_{out}$ en valeur moyenne quotidienne	10,5°C	2,5°C
Energie absorbée par le ventilateur*	2 kWh	
Energie nécessaire au réchauffage d'air neuf en absence de puits climatique**	59 kWh	
Energie nécessaire au réchauffage d'air neuf en présence du puits climatique**	30 kWh	58,5 kWh
Gain relatif dû à la présence du système	50%	1%

\* avec un débit d'air permanent, dans les tubes du puits climatique, égal au débit d'air hygiénique et un rendement de moto-ventilateur de 50%.

\*\* avec un débit d'air neuf égal au débit d'air hygiénique de 8h à 18h00 et arrêt de la ventilation de 18h à 8h00.

*Pour le préchauffage d'air neuf, un puits climatique a généralement une contribution aux besoins de chauffage plus faible qu'un système de ventilation double-flux avec récupérateur de chaleur.*

Pour la configuration avec tubes serrés, l'effet de préchauffage d'air neuf est pratiquement nul. Par contre, placé en amont d'un caisson de ventilation double-flux avec échangeur récupérateur, l'échangeur à tubes enterrés permet d'éviter l'utilisation d'un système de dégivrage.

Fonctionnement du système en préchauffage d'air neuf pour un jour tempéré de la saison de chauffage (9 mars climat standard)

Indicateurs énergétiques	Tubes écartés	Tubes serrés
	$q_v=q_{vanh}$	$q_v=q_{vanh}$
$T_{in}$ en valeur moyenne quotidienne	12,4°C	
$T_{out}$ en valeur moyenne quotidienne	11,7°C	9,4°C
Energie absorbée par le ventilateur*	2 kWh	
Energie nécessaire au réchauffage d'air neuf en absence de puits climatique**	10 kWh	
Energie nécessaire au réchauffage d'air neuf en présence du puits climatique**	25 kWh	33,5 kWh
Gain relatif dû à la présence du système	-243 %	-327 %

\* avec un débit d'air permanent, dans les tubes du puits climatique, égal au débit d'air hygiénique et un rendement de moto-ventilateur de 50%.

\*\* avec un débit d'air neuf égal au débit d'air hygiénique de 8h à 18h00 et arrêt de la ventilation de 18h à 8h00.

Dans les deux configurations le passage de l'air dans le système entraîne une perte d'énergie supérieure à la prise d'air neuf directement à l'extérieur. Un bipasse du système est donc nécessaire dans ce cas.

Indicateurs énergétiques de fonctionnement du système en rafraîchissement pour le jour le plus chaud de l'année (17 juillet climat standard)

	Tubes écartés	Tubes serrés	Tubes serrés
	$q_v=q_{vanh}$	$q_v=q_{vanh}$	$q_v=1,5 \times q_{vanh}$
$T_{in}$ en valeur moyenne quotidienne	24,8°C		
$T_{out}$ en valeur moyenne quotidienne	14,7°C	22,6°C	23,3°C
Energie absorbée par le ventilateur*	2 kWh		6,75 kWh
Energie fournie par l'air neuf, sans puits climatique*	-11 kWh		
Energie fournie par le système*	-97 kWh	-28 kWh	- 28,5 kWh
Coefficient d'efficacité énergétique (EER)	48,4	13,9	4,2

\* avec ventilation permanente au débit d'air neuf indiqué et un rendement de moto-ventilateur de 50%.

\*\* avec ventilation permanente au débit d'air neuf hygiénique.

Dans la configuration à tubes écartés, le système permet de multiplier par 9 l'effet de refroidissement obtenu par l'air neuf seul (à condition de pouvoir stocker/déstocker par la structure, la fraîcheur obtenue). Le coefficient d'efficacité énergétique est bien supérieur à celui d'une machine thermodynamique.

Dans la configuration à tubes serrés, le système permet de multiplier par 2,5 l'effet de refroidissement obtenu par l'air neuf seul. L'augmentation de débit n'augmente pratiquement pas l'effet de refroidissement mais réduit l'efficacité énergétique.