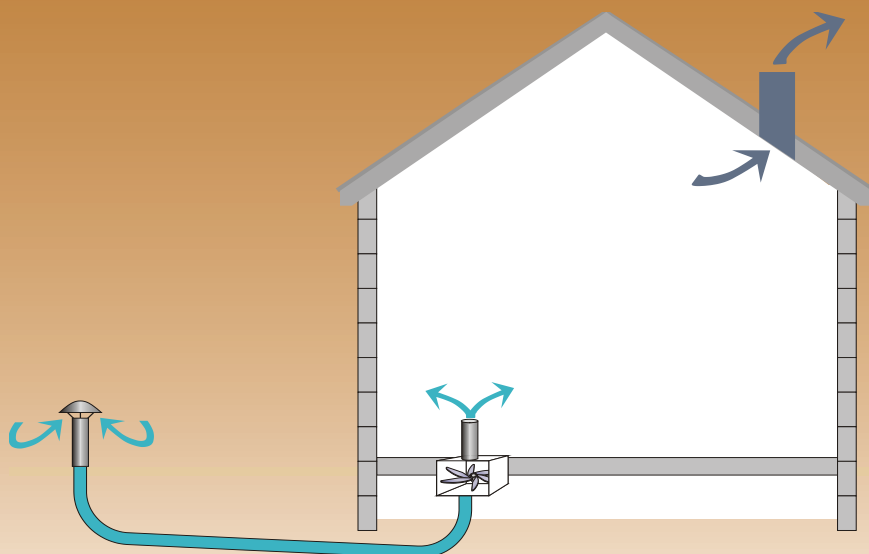


LES PUIITS

CANADIENS/PROVENÇAUX

Guide d'information



Sommaire

Sommaire	2
Préambule.....	3
Contenu du guide	4
Qu'est-ce qu'un puits canadien/provençal ?	5
Les 4 principaux éléments d'un puits canadien/provençal	6
Éléments de conception	7
Dimensionnement et mise en œuvre.....	12
Connexion du puits au système de ventilation du bâtiment.....	24
Références	26
Sites Internet	28
Annexe - Principales offres de produits présents sur le marché en 2007	29
Remerciements	31

Préambule

Les logements et les bâtiments tertiaires sont à l'origine de 19% des émissions nationales de CO₂ et consomment 46% de l'énergie finale. Le chauffage représente près des deux tiers de ces consommations d'énergie et les systèmes de climatisation connaissent une forte croissance.

L'amélioration de la performance énergétique des bâtiments et une optimisation de leur conception à l'égard du confort d'été deviennent aujourd'hui incontournables. Le puits canadien ou puits provençal s'inscrit dans ce contexte.

Cependant, un puits canadien/provençal mal conçu, mal dimensionné ou mal mis en œuvre peut s'avérer inefficace et poser de sérieux problèmes vis-à-vis de la qualité de l'air intérieur. Ce guide est donc un outil d'information et de sensibilisation à la conception, au dimensionnement et à la mise en œuvre des puits canadiens/provençaux. Il concerne les domaines du résidentiel individuel et du petit collectif et est destiné aux professionnels : bureaux d'études, experts, services techniques et installateurs.

Tout au long de ce guide, le terme "puits canadien/provençal" sera parfois remplacé par le terme "puits".

Contenu du guide

Ce guide se compose de quatre parties :

- Rappel de la structure et du fonctionnement d'un puits canadien/provençal
- Éléments de conception
- Éléments pour le dimensionnement et la mise en œuvre
- Connexion au système de ventilation du bâtiment

Il comporte 1 annexe :

- Principales offres de produits présents sur le marché en 2007

Qu'est-ce qu'un puits canadien/provençal ?

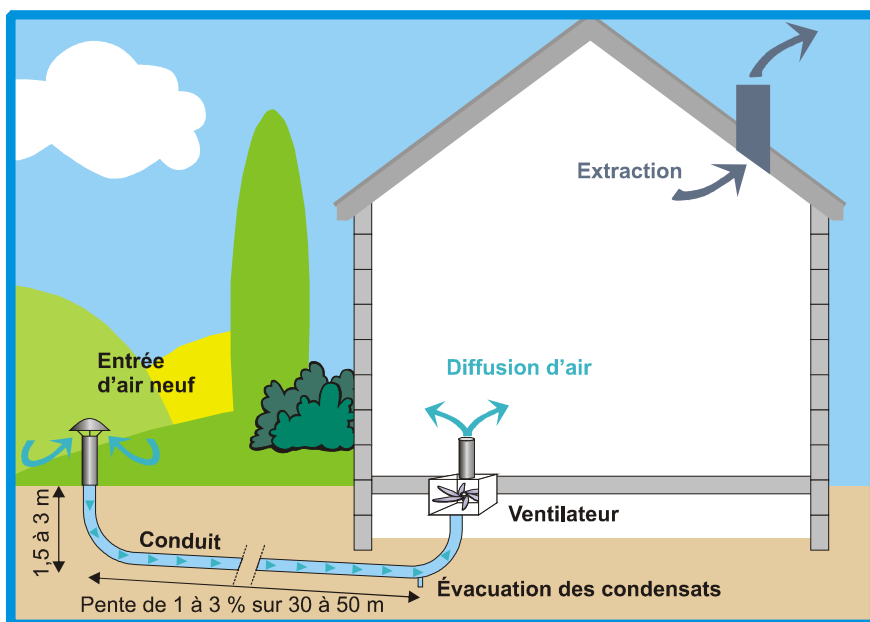
Il s'agit d'un système dit géothermique qui utilise l'énergie présente dans le sol à proximité de sa surface pour chauffer ou refroidir l'air neuf de ventilation des bâtiments en s'appuyant sur le constat suivant : la température de l'air extérieur dans la plupart des pays européens peut varier de -20°C à $+40^{\circ}\text{C}$ tout au long de l'année alors que la température du sol à quelques mètres de profondeur reste plus stable, entre 5 et 15°C en moyenne suivant les saisons.

Le principe du puits canadien/provençal est de faire circuler l'air neuf de ventilation dans un conduit enterré grâce à un ventilateur, avant de l'insuffler dans le bâtiment. En hiver, l'air se réchauffe au cours de son parcours souterrain, les besoins de chauffage liés au renouvellement d'air des locaux sont alors réduits et le maintien hors gel du bâtiment peut être assuré. Le puits est alors dit puits canadien. En été, l'air extérieur profite de la fraîcheur du sol pour se refroidir et arriver dans le bâtiment durant la journée à une température inférieure à la température extérieure. Le puits est alors dit puits provençal.

Les 4 principaux éléments d'un puits canadien/provençal

4 éléments

- Entrée d'air neuf
- Conduit
- Système d'évacuation des condensats
- Ventilateur et système de régulation du puits



Éléments de conception

Éléments pour la conception d'un puits canadien/provençal

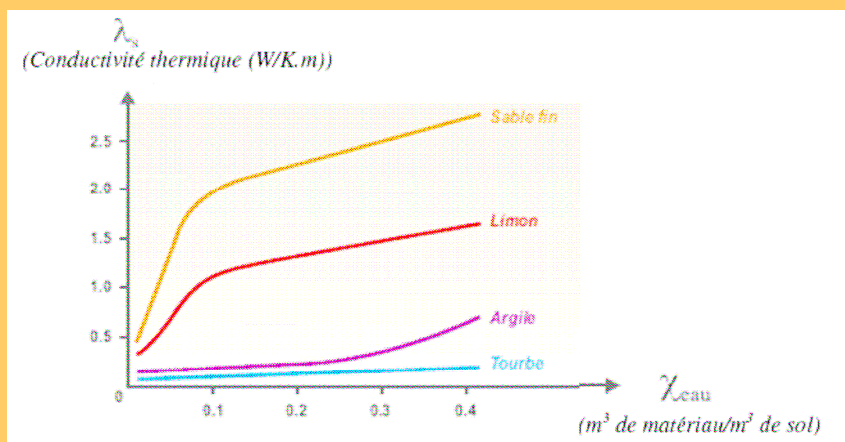
- Nature du sol
- Localisation géographique
- Place disponible pour l'enfouissement du conduit et coût
- Type de bâtiment et ventilation hygiénique
- Besoins en chauffage et refroidissement

- **Nature du sol** : c'est un des principaux éléments à prendre en compte lors de la conception d'un puits canadien/provençal. Les performances du puits sont directement liées à **la capacité calorifique** et à **la conductivité thermique** du sol. Ces deux propriétés thermiques du sol sont expliquées dans les encadrés suivants.

Conductivité thermique du sol

La conductivité thermique d'un sol dépend non seulement de sa composition mais également de la disposition et de la forme de ses particules constitutives, des liaisons entre ces particules ainsi que de sa teneur en eau. Le sol sera d'autant plus conducteur de chaleur qu'il sera humide. La conductivité thermique d'un sol peut donc varier dans le temps, notamment en fonction des évolutions de sa teneur en eau dues aux variations climatiques et au changement de saison.

La figure suivante montre la conductivité thermique de différents types de sols en fonction de leur teneur en eau :



Source : Mussy et Soutter (1991)

Capacité calorifique du sol

La capacité calorifique C_s d'un sol s'exprime par la moyenne pondérée des capacités calorifiques de ses constituants : minéraux, matière organique, eau, air :

$$C_s = \sum_i \chi_i \rho_i C_i$$

Où χ_i , ρ_i , C_i représentent respectivement la teneur du matériau (m^3 de matériau/ m^3 de sol), sa masse volumique et sa capacité calorifique. Comme l'eau et la matière organique ont une capacité calorifique supérieure à celle des éléments minéraux, un sol humide et riche en matière organique stockera mieux la chaleur qu'un sol sec, riche en minéraux.

Le tableau suivant montre les propriétés thermiques des principaux constituants d'un sol :

Matière	Masse volumique ρ (kg/m ³)	Capacité calorifique C (kJ/K.kg)	Conductivité thermique λ (W/K.m)
Minéraux (moy.)	2650	0,80	2,90
Sable et Gravier	1700 à 2200	0,91 à 1,18	2,00
Argile et Limon	1200 à 1800	1,67 à 2,50	1,50
Matière organique	1300	1,90	0,25
Eau	1000	4,20	0,585
Glace	920	2,10	2,20
Air	1250	1,00	0,023

Propriétés thermiques des principaux constituants d'un sol
(Source : Mussy et Soutter et RT2000)

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

- **Localisation géographique** : le recours à un puits canadien/provençal est particulièrement intéressant dans les régions ayant un différentiel de température important entre l'été et l'hiver (>20 °C). (Régions continentales par exemple)
- **Place disponible pour l'enfouissement du conduit et coût** : lors de la conception d'un puits canadien/provençal, 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 canadien/provençal 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.

- **Type de bâtiment et ventilation hygiénique** : le puits canadien/provençal doit permettre au système de ventilation de l'habitation d'assurer un débit d'air respectant l'arrêté du 24 mars 1982 pour les bâtiments résidentiels et le règlement sanitaire départemental et/ou le code du travail pour les locaux tertiaires. Ce débit dépend de la configuration de chaque bâtiment.

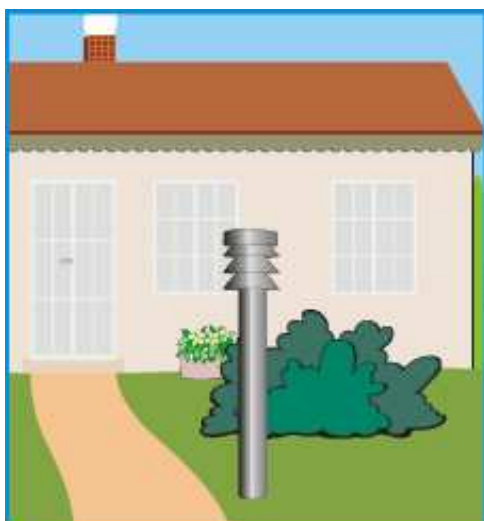
- **Besoins en chauffage et refroidissement** : une étude thermique permet, en fonction des conditions climatiques et des besoins de chauffage et de refroidissement d'un bâtiment, de déterminer les principales caractéristiques que doit avoir le puits. Certains logiciels de simulation tels que GAEA¹ ou "PLEAIDE + COMFIE"² permettent d'intégrer cette étude thermique dans le dimensionnement global d'un puits canadien/provençal. Certains industriels acteurs du marché disposent également d'outils de calculs intégrant ces données.

¹ Logiciel téléchargeable sur le site <http://nesa1.uni-siegen.de>

² Logiciel téléchargeable sur le site <http://www.izuba.fr/telechargement.htm>

Dimensionnement et mise en œuvre

Entrée d'air neuf



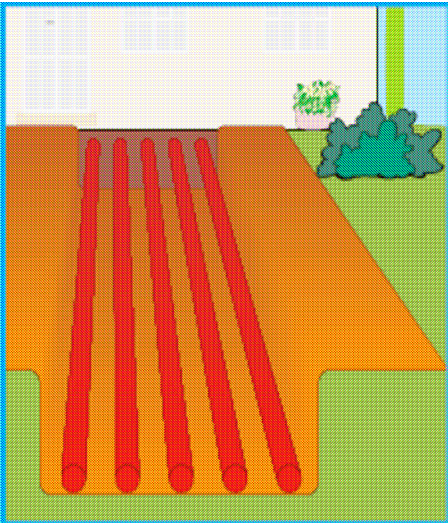
Caractéristiques

- Type d'entrée
- Hauteur de la prise d'entrée d'air neuf
- Chapeau de protection
- Grille de protection
- Filtres
- Positionnement de l'entrée d'air neuf

- **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 volumes 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.
- **Grille de protection à fin maillage** : elle est indispensable pour éviter l'intrusion de rongeurs, oiseaux, insectes. Elle doit être facilement accessible pour nettoyage.
- **Filtres** : il est conseillé de munir les entrées d'air des puits canadiens/provençaux 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) car un filtre encrassé contribue à augmenter les pertes de charge du puits et donc la consommation du ventilateur.
- **Positionnement de l'entrée d'air neuf** : celle-ci doit être implantée loin des sources de pollution (voirie, parking, poubelles) et loin de toute végétation pouvant produire des pollens allergisants.

Conduit



Caractéristiques

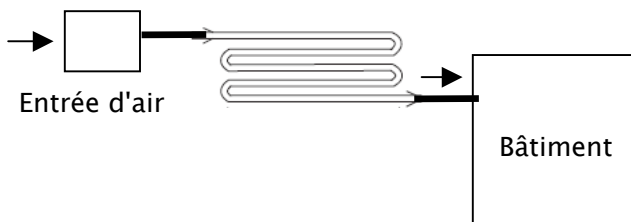
- Nombre de tubes
- Longueur de chaque tube
- Diamètre des tubes
- Disposition des tubes
- Profondeur d'enfouissement des tubes
- Espacement entre les tubes
- Pente du conduit
- Matériau constitutif des tubes
- Etanchéité du réseau (tubes et raccords)
- Zone à risque radon
- Traitement anti-microbien
- Entretien du puits

- **Nombre de tubes** : le conduit du puits peut être constitué d'un seul tube posé en méandre ou en boucle autour du bâtiment ou être organisé sous la forme d'un réseau de tubes parallèles installés entre des collecteurs afin d'augmenter le débit d'air circulant dans le puits (boucle de Tichelmann).

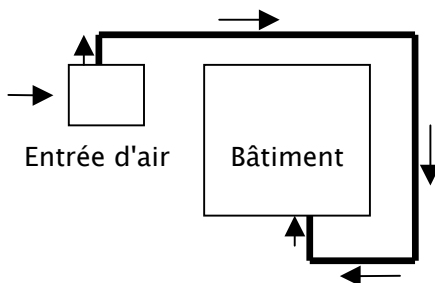
- **Longueur de chaque tube** : elle est habituellement de l'ordre de 30 à 50 m afin de limiter les pertes de charge. La longueur totale du conduit est calculée en fonction du débit d'air souhaité, de la nature du sol, de la zone géographique (température extérieure tout au long de l'année) et du type d'installation choisie.

- **Diamètre des tubes** : pour optimiser les transferts thermiques sol/air, la vitesse de l'air au sein du puits doit être comprise entre 1 et 3 m/s. En fonction des débits d'air requis, le diamètre du conduit du puits est alors calculé pour respecter ces conditions de vitesse d'air.

- **Disposition des tubes** : afin de minimiser les pertes de charge au sein du conduit et de faciliter son entretien, il est conseillé de limiter le nombre de coudes. Deux dispositions sont majoritairement utilisées lorsque le puits ne comporte qu'un seul tube :

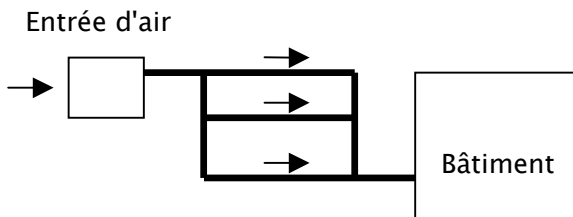


Tube en méandre



Tube en boucle

La disposition souvent utilisée lorsque le puits est constitué d'un faisceau de tubes est la suivante :



- **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 du conduit.

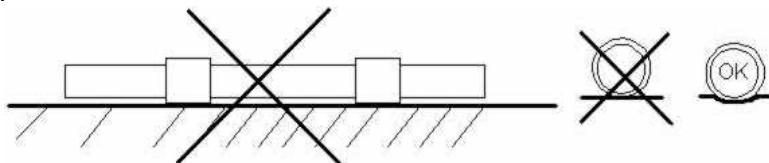
- **Espacement entre les tubes** : il est préférable qu'il soit supérieur à 3 fois le diamètre des tubes afin de garantir un bon échange thermique de chaque tube avec le sol.

- **Pente du conduit** : elle doit être comprise entre 1 et 3% pour favoriser l'évacuation des condensats qui peuvent se former dans le conduit lorsque l'air extérieur chaud est en contact avec les parois plus froides du puits.

- **Matériau constitutif des tubes** : le choix du matériau est important car il impacte directement 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 du puits. Les matériaux utilisés doivent également avoir une bonne tenue à l'enfouissement (une classe de rigidité minimale de 8 kN/m² est conseillée). Les tubes entrant dans la composition

des puits canadiens/provençaux actuellement en fonctionnement sont généralement en PVC, en polyéthylène ou en polypropylène souple ou rigide. 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 du réseau (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.
- **Zone à risque radon :** le radon peut être introduit dans la maison par l'intermédiaire du puits si le conduit apportant l'air extérieur n'est pas étanche. Dans les zones à risque radon, il convient donc de veiller à l'étanchéité du puits et de porter une attention particulière à l'enrobage du conduit avec de la terre afin d'éviter la formation de cavités où le radon pourrait se loger :



Source : http://fr.ekopedia.org/Puits_canadien

Qu'est-ce que le radon ?

Le radon est un gaz radioactif d'origine naturelle. Il provient de la désintégration de l'uranium et du radium présents dans la croûte terrestre. Il est présent partout à la surface de la planète et provient surtout des sous-sols granitiques et volcaniques ainsi que de certains matériaux de construction. Le radon peut s'accumuler dans les espaces clos, et notamment dans les bâtiments. Les moyens pour diminuer les concentrations de radon dans les bâtiments sont les suivants :

- aérer et ventiler les bâtiments, leurs sous-sols et les vides sanitaires,
- améliorer l'étanchéité des murs et des planchers.

- **Traitement anti-microbien** : les tubes du conduit peuvent avoir subi un traitement permettant de freiner la prolifération microbienne, source de mauvaise odeur dans les bâtiments et de dégradation de la qualité de l'air intérieur. L'emploi de sel d'argent est par exemple un excellent traitement anti-microbien.
- **Entretien du puits** : il doit être régulier (1 à 2 fois par an) et doit comporter le remplacement des filtres de la bouche d'entrée d'air neuf, l'inspection de l'intérieur du conduit pour vérifier le bon écoulement des condensats et le contrôle de l'état général du puits.

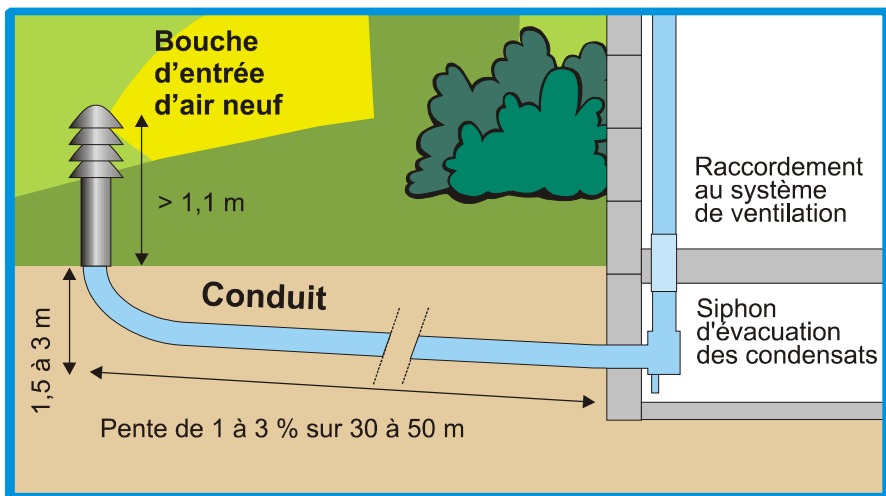
Système d'évacuation des condensats

Caractéristiques

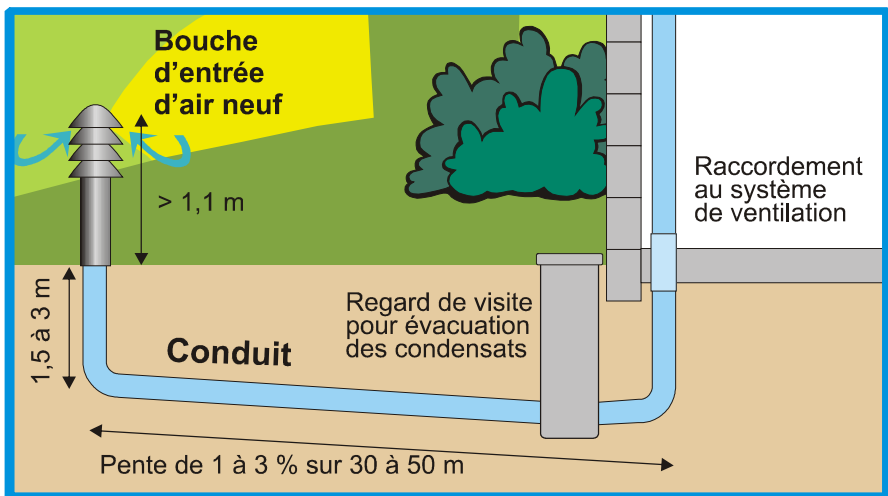
- Présence d'un sous-sol
- Absence de sous-sol

La vapeur d'eau contenue dans l'air qui circule dans le conduit enterré peut se condenser en fines gouttelettes lorsque celui-ci est en contact avec les parois intérieures froides du puits. La stagnation de cette eau de condensation au sein du puits favorise le développement de germes et de bactéries, peut perturber la circulation et altérer la qualité de l'air neuf dans le puits. Afin d'éviter ces phénomènes, le puits, dont le conduit est incliné, doit impérativement être muni d'un système d'évacuation des condensats. La structure de ce système dépend de la présence ou non d'un sous-sol au sein du bâtiment :

- **Présence d'un sous-sol** : la récupération des condensats peut alors se faire dans le sous-sol. Ils sont ensuite évacués vers l'égout à l'aide d'un siphon, ce qui permet une étanchéité parfaite du puits depuis l'entrée d'air neuf jusqu'au système de ventilation. Cette solution est donc à privilégier dans les zones à forte concentration de gaz radon dans le sol ou si le sol entourant le puits est très humide.



- **Absence de sous-sol** : un regard de visite doit être placé à l'endroit le plus bas du puits (sous la bouche d'entrée d'air si le conduit est montant, à l'extrémité du conduit côté bâtiment si celui-ci est descendant) afin d'évacuer les condensats soit par infiltration dans le sol à l'aide d'un lit de cailloux, soit en utilisant une pompe de relevage. Ce regard permet également d'inspecter visuellement le conduit afin de déceler d'éventuels problèmes et de procéder à l'entretien du puits.



Ventilateur et système de régulation

Caractéristiques

- Performance
- By-pass et thermostat

- **Performance** : le ventilateur doit être dimensionné en fonction du débit d'air neuf nécessaire. Il doit avoir un rendement suffisant pour ne pas dégrader le facteur de performance du puits.
- **By-pass et thermostat** : en intersaison, lorsque la température extérieure est comprise entre 10 et 20 °C, le recours au puits canadien/provençal 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 permet alors de contourner le puits par une prise directe d'air neuf. Il est généralement piloté par un servomoteur, couplé à un thermostat positionné à l'extérieur du bâtiment, ce qui permet de faire varier la nature de l'injection d'air neuf : injection d'air provenant du puits ou injection directe d'air extérieur en fonction de la pertinence du passage par le puits.

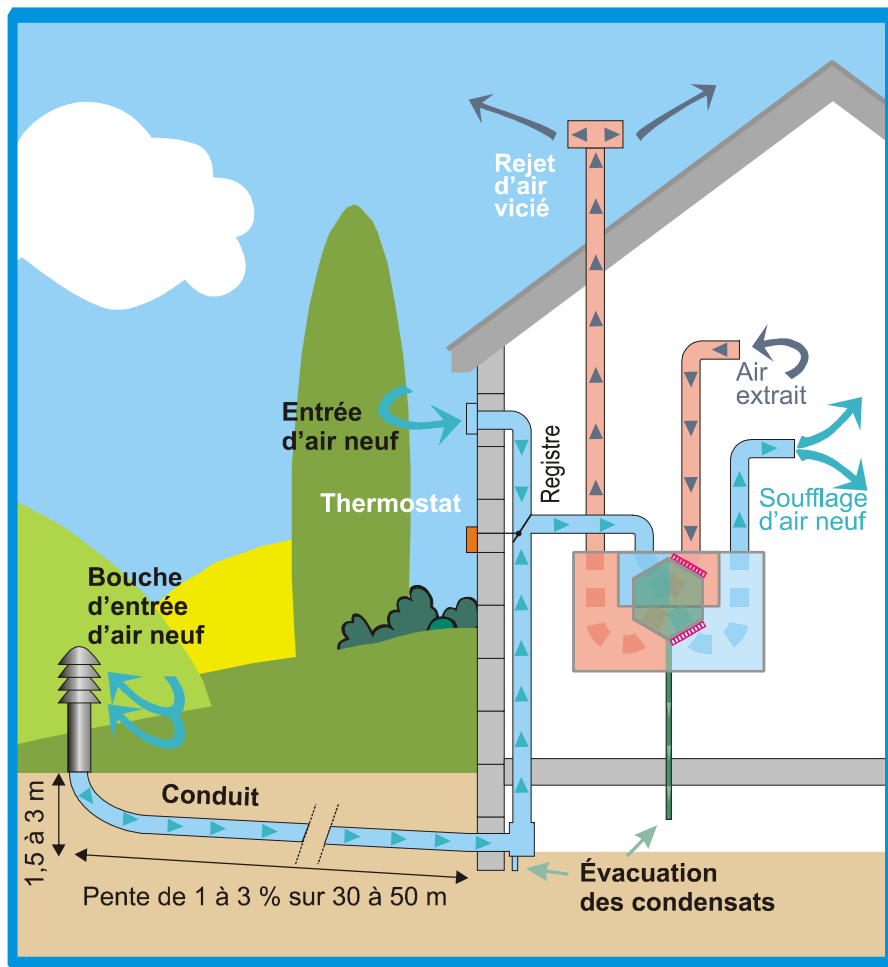
Connexion du puits au système de ventilation du bâtiment

Au sein d'un bâtiment, un puits canadien/provençal peut être associé à un système de ventilation mécanique double flux centralisée ou non. Dans tous les cas, le ventilateur d'extraction utilisé doit être dimensionné afin d'éviter tout risque de mettre l'habitation en surpression.

Actuellement, 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.

Le schéma suivant montre un exemple de puits raccordé à un dispositif de ventilation mécanique double-flux centralisée :



Références

[1] "Le puits canadien ou puits provençal", Romuald Jobert, Centre d'Etudes Techniques de l'Équipement de Lyon (CETE), novembre 2005. Document téléchargeable à l'adresse Internet suivante : <http://www.cete-lyon.equipement.gouv.fr>

[2] "Le puits canadien", Les dossiers techniques de l'agence locale de l'énergie de l'agglomération lyonnaise, avril 2005. Dossier téléchargeable à l'adresse Internet suivante : <http://www.ae-lyon.org>

[3] "Le puits canadien à la loupe", Dossier Fiabitat téléchargeable à l'adresse Internet suivante en novembre 2007 : <http://www.fiabitat.com>

[4] "Use of Earth to Air Heat Exchangers for Cooling", M. Santamouris, University of Athens, Air Infiltration and Ventilation Centre, janvier 2006. Document téléchargeable sur le site Internet de l'AIVC : <http://www.aivc.org>

[5] "Utilisation des échangeurs air/sol pour le chauffage et le rafraîchissement des bâtiments", Thèse n° 3357 de Pierre Hollmuller, Université de Genève, 2002. Thèse téléchargeable sur le site Internet de l'université de Genève à l'adresse suivante :

http://www.unige.ch/cyberdocuments/theses2002/HollmullerP/the_se_body.html

[6] "Physique du sol. Coll. Gérer l'Environnement", A Mussy et M Soutter, édition Presses Polytechniques et Universitaires Romandes, 1991

[7] "L'aération dans les bâtiments MINERGIE – Guide de conception", Rudolf Fraefel, Heinrich Huber, Miro Trawnika, Association MINERGIE et CLIMA SUISSE, novembre 2000. Document téléchargeable à l'adresse Internet suivante :

<http://www.construiesolaire.com/IMG/pdf/provencal.pdf>

[8] "Erfahrungen mit innovativen Erdwärmetauscher Lüftungsanlagen", Margrit Kennedy, Uwe Großmann, Thorsten Schütze, mars 2001. Document téléchargeable à l'adresse Internet suivante :

<http://www.bine.info/pdf/infoplus/bi0601infopluspdf4.pdf>

[9] "Réglementation thermique 2005"

[10] "Norme NF EN 1277 – Systèmes de canalisations en plastiques – Systèmes de canalisations thermoplastiques pour applications enterrées sans pression – Méthodes d'essai d'étanchéité des assemblages à bague d'étanchéité en élastomère"

Sites Internet

Liste indicative et non exhaustive :

➤ Bureaux d'études :

<http://www.eliosystem.com>

<http://www.canada-clim.com>

<http://www.spar.at>

<http://www.rehau.fr>

➤ Sites d'informations techniques :

<http://www.xpair.com>

<http://www.fiabitat.com/puits-canadien.php#3e>

<http://www.bine.info>

http://fr.ekopedia.org/Puits_canadien

<http://www.europassivhaus.de>

Annexe – Principales offres de produits présents sur le marché en 2007

Produits présents sur le marché français en 2007 :

- Kit de l'entreprise ALDES : <http://www.aldes.fr>
- Kit de l'entreprise ATLANTIC : <http://www.atlantic-nouvellesenergies.com>
- Kit de l'entreprise EOLE : <http://www.eole-fr.com>
- Kit de l'entreprise FIABITAT CONCEPT : <http://www.fiabitat.com>
- Kit de l'entreprise HELIOS : <http://www.helios-fr.com>
- Kit de l'entreprise UNELVENT : <http://www.unelvent.com>
- Kit de l'entreprise VIM : <http://www.vim.fr>

Produits présents dans d'autres pays européens :

- Kit Tera–Air–Home de l'entreprise FRAENKISCHE :
<http://www.fraenkische.de>
- Kit Hekatherm de l'entreprise HEGLER : <http://www.hegler.de>
- Kit GTC de l'entreprise PLUGGIT : <http://www.pluggit.com>
- Kit Awadukt Thermo de l'entreprise REHAU :
<http://www.rehau.fr>
- Kit Comfort–Vent–Easy de l'entreprise WERNIG :
<http://www.wernig.at>
- Kit de l'entreprise ZENT–FRENGER : <http://www.zent-frenger.de>

Remerciements

Ce guide a été rédigé à la demande des ressortissants du CETIAT, membres de la Commission Technique Ventilation.

Il a été rédigé par :

Julien HEINTZ (CETIAT)

Avec la collaboration de :

Michaël BLAZY (ANJOS VENTILATION)

Ivan BORDAS (VIM)

François DURIER (CETIAT)

Marc JARDINIER (AERECO)

Cécile JOUVE (ATLANTIC CLIMATISATION & VENTILATION)

Philippe RAYMOND (NATHER)

Laure SCHWENZFEIER (CETIAT)

Anne TISSOT (CETIAT)

Bernard VUAROQUEAUX (UNELVENT)

Le puits canadien ou puits provençal est un système dit géothermique qui utilise l'énergie présente dans le sol à proximité de sa surface pour chauffer ou refroidir l'air neuf de ventilation des bâtiments.

Le principe d'un tel puits est de faire circuler l'air neuf de ventilation dans un conduit enterré grâce à un ventilateur, avant de l'insuffler dans le bâtiment.

Ce guide est un outil d'information et de sensibilisation à la conception, au dimensionnement et à la mise en œuvre des puits canadiens/provençaux.



CENTRE TECHNIQUE DES INDUSTRIES AÉRAULIQUES ET THERMIQUES