

● **Ventilation et diffusion de l'air**

Le flux d'air doit être maintenu grâce à un ventilateur dimensionné en fonction du débit d'air à traiter et des pertes de charges de l'installation car la simple mise en dépression du bâtiment ne suffit pas à faire fonctionner un puits canadien. Pour faire fonctionner un puits canadien en puits provençal, le ventilateur doit posséder deux vitesses : pour garantir un bon pré-chauffage de l'air en hiver, il est préférable de favoriser un échange thermique maximum en faisant circuler l'air à une vitesse moyenne de 1 m/s. L'objectif étant le rafraîchissement en été, un maximum d'efficacité sera obtenu avec un débit d'air proche de 3 m/s. En inter-saison, le puits canadien est beaucoup moins intéressant, il est donc souhaitable de pouvoir le contourner (*by-pass*) sur une prise d'air directe.

L'air réchauffé ou rafraîchi peut être diffusé dans le bâtiment en un seul point du bâtiment ou bien distribué en plusieurs points par l'intermédiaire d'un réseau de conduits isolés. La diffusion se fait généralement : par une grille qui peut être située en applique des parois verticales, sur une colonne ou un caisson menuisé et surélevé; ou bien encore par le sol, depuis un caisson formant plénum.



Entrée d'air d'un puits canadien sur plénum
(Organisation Mondiale de la Météorologie à Genève, Suisse)



Sortie d'air d'un puits canadien
(Solar Fabrik de Freiburg, Allemagne)

■ **ENTRETIEN ET PRÉCAUTIONS D'USAGE**

Afin d'assurer une bonne qualité de l'air insufflé, un certain nombre de précautions doivent être prises pour éviter tout dysfonctionnement et/ou pollution (*odeurs, humidité, bactéries,...*) qui pourraient résulter des différents composants du système :

● **L'air ...**

Dans les zones où le risque d'émission de radon ou de polluants par le sol est important, ou pour les usages sanitaires des bâtiments, il est nécessaire d'utiliser un échangeur thermique sur le puits canadien pour ne pas utiliser l'air transitant par le puits comme air neuf. L'entrée d'air doit être implantée loin des sources de pollution (*voirie, parking, poubelles, ...*) et à une hauteur suffisante pour éviter l'aspiration de la poussière. Elle doit être protégée par une grille à fin maillage pour éviter l'introduction de petits animaux (*rongeurs, oiseaux, ...*). Elle doit être accessible pour le nettoyage. Si des filtres à particules (2-5 mm) sont installés, un entretien régulier de ces derniers doit être effectué environ tous les 4 mois. Eviter également de placer l'entrée d'air au milieu d'une végétation dont les pollens sont allergisants.

● **L'eau ...**

Du fait des variations de températures de l'air entre l'intérieur et l'extérieur du puits, il peut se produire un phénomène de condensation de l'eau. Pour éviter la stagnation de l'eau dans les conduits. Ces derniers doivent avoir une pente de 1 à 3% dans le sens d'écoulement de l'air. Celle-ci va permettre à l'eau de circuler dans le puits jusqu'au point bas, duquel on pourra à l'aide d'un siphon traiter facilement tous les condensats. Il convient donc lors du terrassement de faire attention à la pente et de prévoir impérativement des conduits lisses. Avant la première mise en service, un nettoyage des conduits peut permettre de contrôler l'écoulement de l'eau.

● **Les matériaux ...**

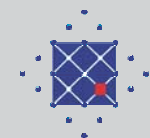
Les conduits doivent avoir une stabilité et une résistance à la pression suffisante pour supporter l'enfouissement dans la terre. Par ailleurs, l'étanchéité des conduits doit permettre d'éviter l'infiltration des eaux souterraines et la propagation de bactéries. Il faut également veiller aux raccordements des différents conduits et privilégier des raccords par joints à lèvres. Eviter de coller les raccords pour limiter le risque de rupture lors du remblai et surtout le risque de dégagement de vapeurs nocives dû aux colles. Le matériau utilisé ne doit pas dégager de vapeurs nocives. L'entretien du ventilateur est identique à tous les systèmes courants de ventilation.

Pour aller plus loin :

http://www.unige.ch/cyberdocuments/theses2002/HollmullerP/these_front.html
Thèse No 3357 de Pierre HOLLMULLER présentée à la Faculté des Sciences de l'Université de Genève
« Utilisation des échangeurs air/sol pour le chauffage et le rafraîchissement des bâtiments »
Site collectif Ekopia : <http://fr.ekopedia.org/>
Site personnel : <http://www.herzog.nom.fr/html/>

CENTRE D'ETUDES
TECHNIQUES
DE L'EQUIPEMENT
DE LYON

25, Avenue François Mitterrand
Case n°1
69674 Bron Cedex
Tél. 04 72 14 30 30
Fax 04 72 14 30 35



www.cete-lyon.equipement.gouv.fr

CENTRE D'ETUDES
TECHNIQUES
DE L'EQUIPEMENT
DE LYON

AMÉNAGEMENT URBANISME
HABITAT CONSTRUCTION

Pôle Construction

LE Puits CANADIEN OU Puits PROVENÇAL

Les logements et les bâtiments tertiaires sont à l'origine de 19% des émissions nationales de CO₂ et consomment 46% de l'énergie finale (Cf. Plan Climat 2004). Le chauffage représente près des deux tiers de ces consommations d'énergie et les systèmes mécaniques de climatisation connaissent une forte croissance. Dans ce contexte, l'amélioration de la performance énergétique des bâtiments et une optimisation de leur conception à l'égard du confort d'été devient aujourd'hui incontournable. L'utilisation d'un échangeur air/sol peut être une bonne alternative aux nouveaux objectifs de conception des bâtiments. Cette technique est généralement appelée "puits canadien" lorsqu'elle privilégie la diminution de la consommation de chauffage en hiver, et "puits provençal" lorsque son objectif premier est de réduire la température intérieure d'un bâtiment en été. Dans la pratique, les deux appellations sont souvent utilisées indifféremment et sans lien avec l'objectif recherché.

■ **CHAUFFAGE ET CLIMATISATION**

Le tableau ci-dessous présente les consommations énergétiques annuelles en TWh (*finale*) affectées au chauffage et à la climatisation pour l'ensemble des bâtiments tertiaires et résidentiels. Le chauffage représente le premier poste de consommation avec 54% de la consommation totale du secteur tertiaire et 70% pour le secteur résidentiel. La climatisation représente quant à elle 5% de la consommation totale du secteur tertiaire. On estime que seulement 4% des logements sont équipés de climatiseurs mais l'engouement pour ce type d'appareils ne cesse de croître.

Le secteur résidentiel

Bâtiment	Chauffage	Climatisation
Maisons individuelles	200,30	1,50
Immeubles collectifs	117,00	0,90
Total (en TWh)	317,30	2,40

Le secteur tertiaire

Bâtiment	Chauffage	Climatisation
Commerces	22,20	2,90
Bureaux	28,50	4,20
Enseignement	19,90	0,30
Hôpitaux, Santé	14,90	1,00
Sports, Loisirs	9,10	0,80
Hôtels, Cafés, Restaurants	9,80	0,90
Habitat communautaire	7,00	0,10
Gares, Aéroports	4,00	0,10
Total (en TWh)	115,40	10,30

(Cf. Plan Climat 2004 et ADEME)



432,70 TWh pour se chauffer...



12,70 TWh pour se rafraîchir...

● **Une enveloppe extérieure soignée...**

Il est nécessaire de rappeler que la maîtrise de la demande énergétique d'un bâtiment passe avant tout par un travail soigné de l'enveloppe qui combine isolation, protection solaire et utilisation de la masse thermique interne. Ce n'est en général qu'une fois ces mesures de base prises que l'appel à des techniques passives de préchauffage ou de rafraîchissement prennent de l'intérêt.

● **Une gestion passive de la température...**

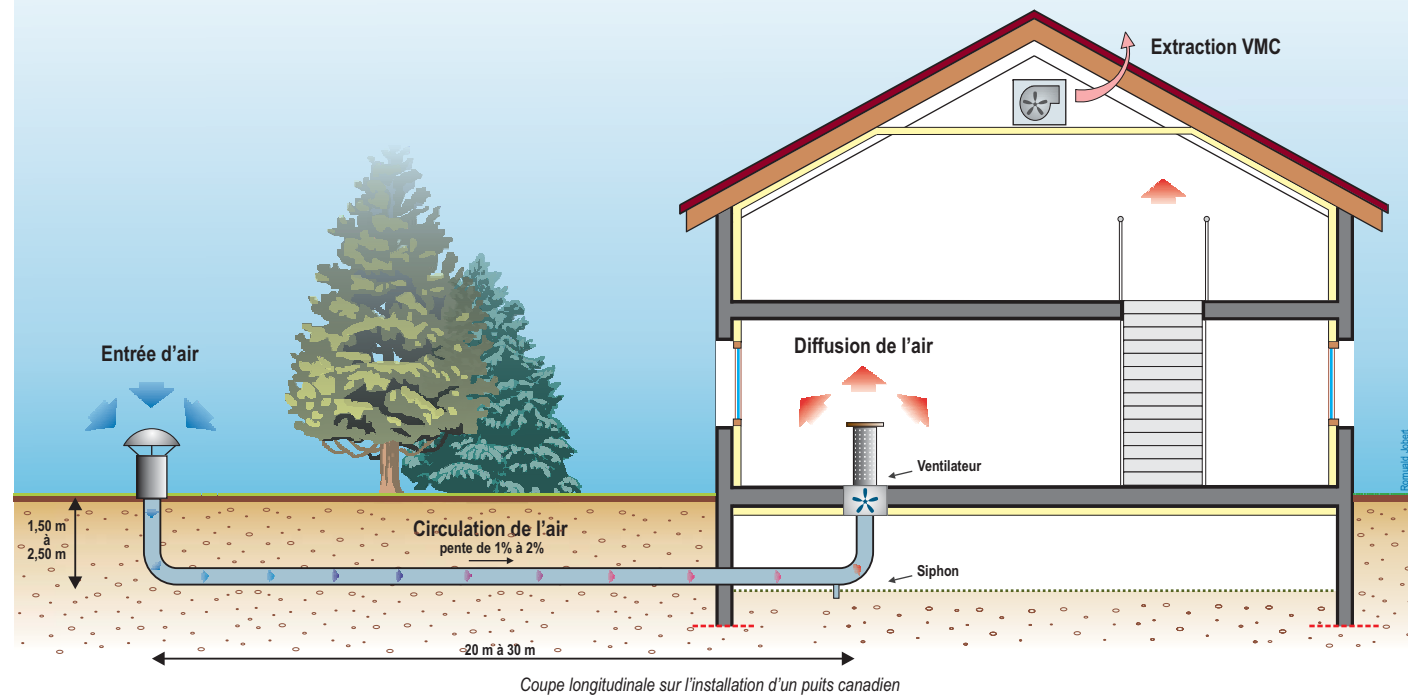
Le puits canadien a pour fonction principale le préchauffage de l'air neuf en hiver alors que le puits provençal, qui assure aussi cette fonction, est principalement un élément de climatisation douce en été. Ils facilitent la gestion passive de la température d'un bâtiment tout au long de l'année. Pour cela, ils puisent l'énergie du sol dont la température à quelques mètres de profondeur reste relativement constante.

■ FONCTIONNEMENT ET CARACTÉRISTIQUES

● Principe général

Le puits canadien est un système géothermique dit de surface qui consiste à utiliser l'inertie thermique du sol pour pré-traiter une partie de l'air neuf de renouvellement des bâtiments en s'appuyant sur le constat suivant : la température de l'air extérieur peut varier en France de -20°C à +30°C tout au long de l'année alors que la température du sol à quelques mètres de profondeur reste relativement constante et se situe en moyenne autour de 12°C.

L'air neuf extérieur circule, grâce à un ventilateur, dans des canalisations enterrées avant d'être insufflé dans le bâtiment. En hiver, l'air se réchauffe au contact du sol pour atteindre une température de 2 à 5°C, les besoins de chauffage liés au renouvellement d'air des locaux sont alors limités et le maintien hors gel du bâtiment peut être assuré. 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 située entre 15 et 20°C.



● Une conception multicritère...

Plusieurs critères sont à prendre en compte pour garantir l'efficacité d'un puits. Pour le puits canadien, on recherche l'inertie saisonnière du sol pour le préchauffage permanent de l'air neuf sans accroissement des débits d'hygiène. Pour un puits provençal, on recherche le déphasage journalier de la température extérieure et une production de froid par accroissement des débits. La conception d'un tel ouvrage doit être pensée en fonction de la localisation géographique du bâtiment, de la nature du sol, de la place disponible pour l'installation des conduits, d'une bonne évaluation du débit d'air nécessaire en hiver et en été, et enfin du type de ventilation installée (naturelle, simple-flux ou double-flux).

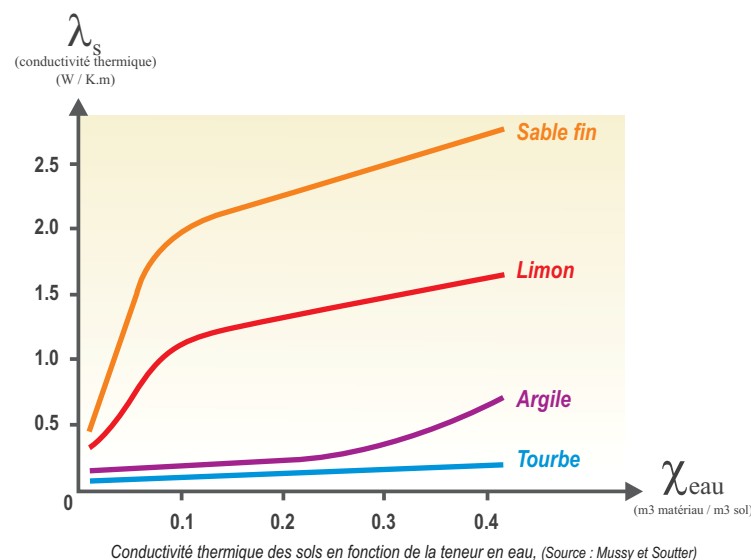
■ LA NATURE DU SOL

Une bonne connaissance de la nature du sol est le premier élément à prendre en compte lors de la conception. En effet, les performances du puits seront liées à la capacité calorifique du sol et à sa conductivité thermique. Un terrain argilo-marneux ou argilo-sableux est idéal. A l'opposé, un sol trop perméable comme le sable ou pas assez comme l'argile pur limitera l'énergie que l'on peut récupérer.

● Propriétés thermiques des sols ...

- Conductivité thermique :

La conductivité thermique λ_s 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 (*ponts d'eau très conducteur*) ainsi que de sa teneur en air (*faiblement conducteur*). Le sol sera d'autant plus conducteur de chaleur qu'il sera humide. La conductivité thermique d'un sol peut également changer dans le temps, notamment en fonction des variations de sa teneur en eau due au changement de saison. Ce phénomène entraîne une accélération ou une diminution du transfert de chaleur par effet conductif.



- Capacité calorifique :

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

$$c_s = \sum_i \chi_i \rho_i c_i$$

où χ_i, ρ_i, c_i , représentent respectivement la teneur du matériau ($m^3 \text{ matériau} / m^3 \text{ sol}$), la masse volumique et la capacité calorifique de chaque constituant. Comme l'eau et la matière organique ont une capacité calorifique supérieure à celle des éléments minéraux, un sol humide stockera mieux la chaleur qu'un sol sec.

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)

■ RÉALISATION ET MISE EN OEUVRE

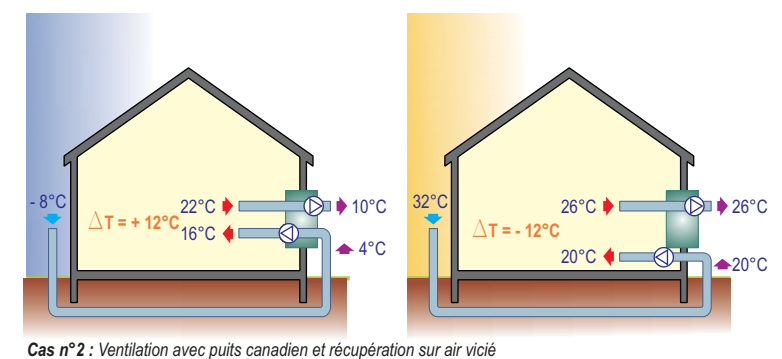
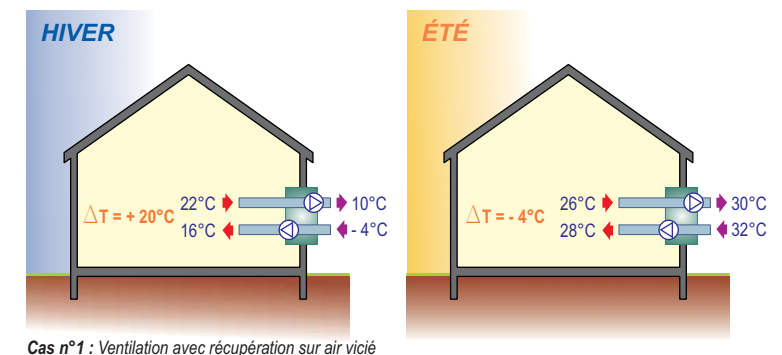
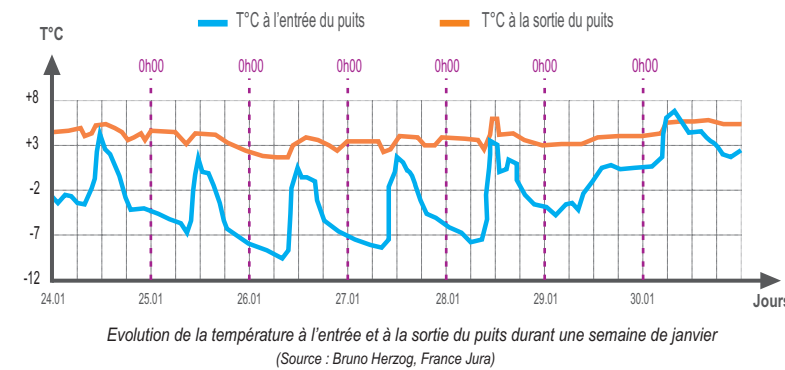
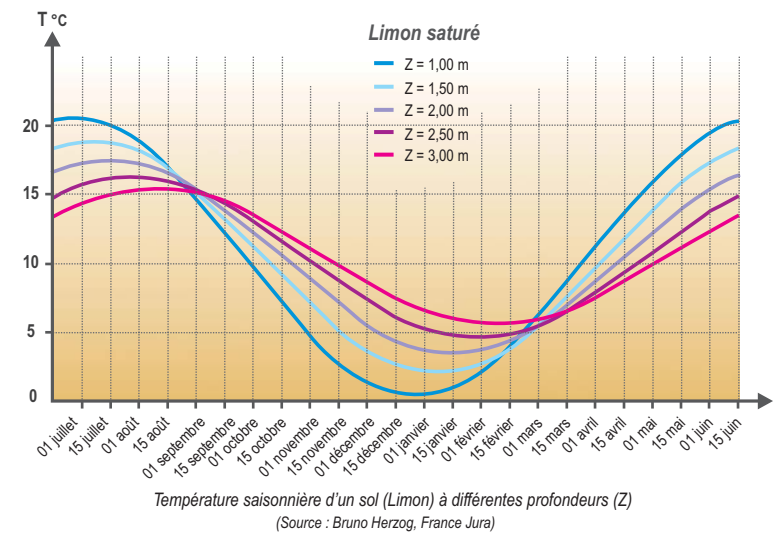
● L'entrée d'air extérieur

L'air neuf entre dans le puits via une bouche extérieure installée sur une borne, un édicule surélevé, ou bien encore dans un plénum. Cette bouche doit être protégée des vents dominants qui pourraient perturber le fonctionnement du puits. Il est également nécessaire de prendre des dispositions pour éviter les infiltrations d'eau, l'intrusion de corps étrangers ou de petits animaux. L'installation de grilles de protection à fin maillage est recommandée.

● Les conduits

Pour limiter les pertes de charge, la longueur des conduits ne doit pas dépasser 30 mètres. Si le linéaire de conduits doit être supérieur, il est nécessaire de créer un réseau en augmentant le nombre de conduits. Dans ce cas, les conduits doivent être espacés entre eux d'une distance d'environ 5 fois leur diamètre pour un bon échange thermique de chaque tube avec le sol. Le réseau de conduits peut être enfoui aux abords du bâtiment ou bien sous celui-ci. La profondeur d'enfouissement sera déterminée en fonction de la nature du sol et de l'objectif privilégié (chauffage ou rafraîchissement). Pour favoriser le préchauffage, les conduits seront enterrés plus profondément. La profondeur d'enfouissement se situe en général entre 1,5 et 2,5 mètres.

En été, des écoulements d'eau issus de la condensation peuvent se former. Pour limiter ce phénomène, le parcours des conduits doit avoir une pente de 1 à 3% orientée dans le sens d'écoulement de l'air. Au point bas du parcours avant la fin du conduit, un siphon doit permettre l'évacuation des condensats. Si le puits est situé à proximité d'une nappe souterraine peu profonde, un soin particulier doit être apporté à l'étanchéité du dispositif pour éviter l'infiltration d'eau dans les conduits.



● Puits canadien et VMC double-flux ...

On notera qu'un puits canadien peut entrer en compétition thermique avec les récupérateurs de chaleur sur air vicié généralement installés dans les systèmes de ventilation mécanique contrôlée double-flux (Cf. cas n°1 en hiver). A l'inverse l'été, il est nécessaire de by-passer le récupérateur sur air vicié pour éviter une augmentation de la température de l'air pris dans le puits (Cf. cas n°2 en été)

(Cf. Thèse No 3357 de Pierre Hollmuller, Université de Genève)