

## Différentes techniques de la Géothermie

### III-1 Généralités

#### III-1-1 Définition de la Géothermie

La Géothermie: c'est une science qui étudie des phénomènes thermiques internes du globe terrestre et de leur utilisation comme source d'énergie.

L'énergie Géothermique: c'est principalement due à la différence de température entre le centre de la terre et la surface.



. . . é é 'é [ ]

Devant la multitude d'échanges thermiques qui sont mis en jeu, les principaux, sont:

- Apport radiatif solaire total (flux direct + flux diffus + effet de serre)
- Convection dans l'air
- Rayonnement infrarouge émis par le sol
- Conduction dans le sol et dans l'air

#### III-1-2 Différents types de gisements géothermiques

Les gisements peuvent être classés selon plusieurs critères: Le contexte géologique, le niveau de température, le mode d'exploitation, le type d'utilisation. On retrouve la classification en fonction de la température:

### ➤ Géothermie haute énergie ( $T > 150^{\circ}\text{C}$ )

Qui permet la production d'électricité grâce à la vapeur qui jaillit avec assez de pression pour alimenter une turbine.

### ➤ Géothermie moyenne énergie ( $90^{\circ}\text{C} < T < 150^{\circ}\text{C}$ )

Par laquelle la production d'électricité nécessite une technologie utilisant un fluide intermédiaire.

### ➤ Géothermie basse énergie ( $30^{\circ}\text{C} < T < 90^{\circ}\text{C}$ )

Géothermie des nappes profondes (entre quelques centaines et plusieurs milliers de mètres) aux températures situées entre 30 et 100 °C. Principale utilisation : les réseaux de chauffage urbain.

### ➤ Géothermie très basse énergie ( $T < 30^{\circ}\text{C}$ )

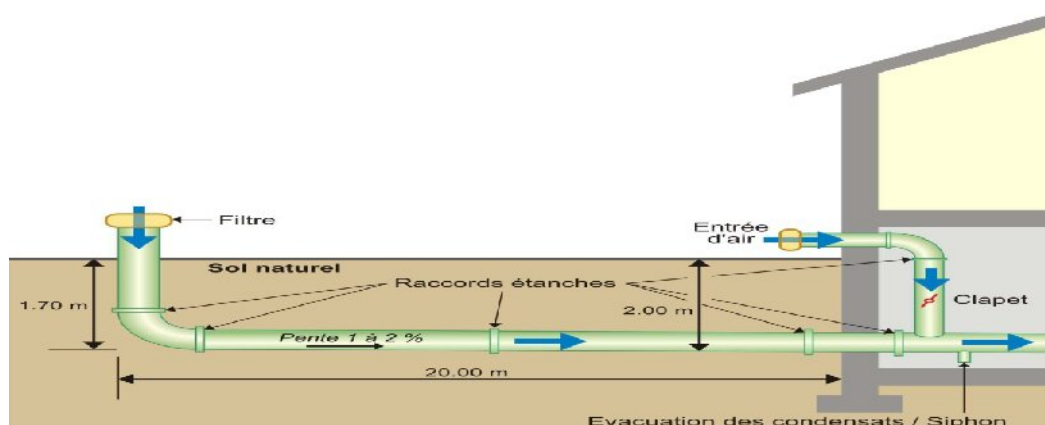
Géothermie des faibles profondeurs aux niveaux de température compris entre 10 et 30°C. Principales utilisations : le chauffage et la climatisation.

## III-2 L'échangeur thermique air/sol (puits canadien)

### III-2-1 Définition

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. Il est basé sur le fait que la température du sol à quelques mètres de profondeur reste plus stable, est plus élevée que la température ambiante en hiver, et plus basse en été.

### III-2-2 Principe de fonctionnement du puits canadien



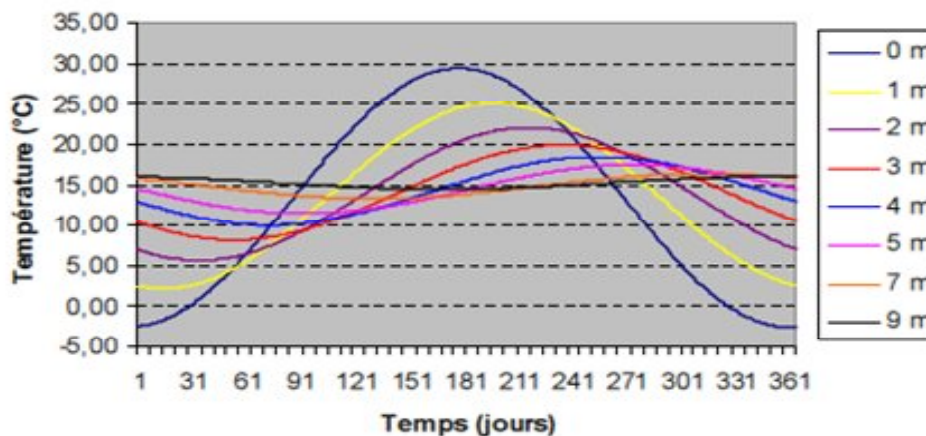
. . é

[ ]

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.



é

### III-2-3 Les 4 principaux éléments d'un puits canadien/provençal

#### 1) 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.

❖ 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.

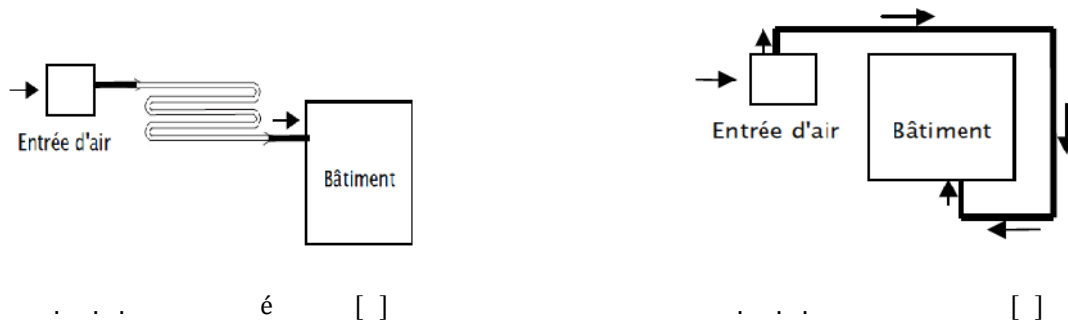
**2) Les conduits**

❖ 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.

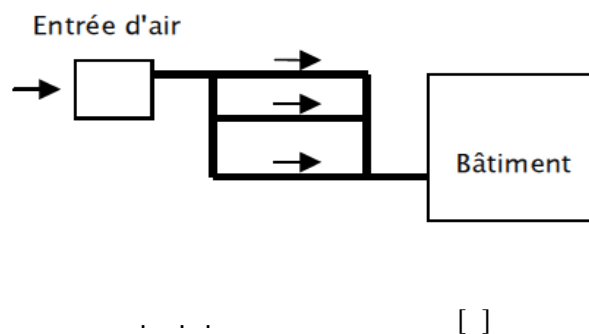
❖ Longueur de chaque tube: elle est habituellement de l'ordre de 30 à 50 m afin de limiter les pertes de charge. La longueur totale du conduit est calculée en fonction du débit d'air souhaité, de la nature du sol, de la zone géographique et du type d'installation choisie.

❖ 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 : [6]



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. 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 influe 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. Les tubes entrant dans la composition des puits canadiens/provençaux actuellement en fonctionnement sont généralement en polyéthylène ou en polypropylène souple ou rigide. Certains tubes sont constitués de matières plastiques emprisonnant des bulles d'air, ce qui diminue l'échange thermique sol/conduit. Le recours à ce type de tube est donc déconseillé.
- ❖ Etanchéité 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.
- ❖ Type de tuyaux
  - Polychlorure de vinyle (PVC): le moins cher, pas très écologique. Il peut "éventuellement" dégager des vapeurs nocives dues au mode de fabrication.
  - Polyéthylène (PE): le plus écologique à prix équivalent au PVC.
  - Tuyau annelé de protection de câbles électriques (TPC): très bon marché pour des petits diamètres. Annelé à l'extérieur, mais lisse à l'intérieur. Ils peuvent être posés en parallèles. Toutefois, ce type de tuyau n'est pas prévu à l'origine pour être enterré à forte profondeur, ce qui peut nuire à leur tenue dans le temps.
  - Tuyaux de béton: utilisé pour des diamètres supérieurs à 300 mm. Les raccords sont difficiles à étanchéfier.

L'échange thermique est plus important (la conductivité du béton est plus élevée que celle des tuyaux en plastique, relativement isolants). Le principal problème de ce type de tuyau (outre la mise en œuvre complexe), est qu'ils ne garantissent pas une véritable étanchéité sauf avec une mise en œuvre particulièrement soignée. Le radon du sol s'il y en a peut donc s'infiltrer dans le tuyau, et aller contaminer ensuite la maison.

▪Tuyaux en fonte: Sa rigidité, sa résistance mécanique et sa conductivité thermique élevée font de ce matériau une solution très compatible pour un puits canadien. Il faut veiller à ce que le revêtement extérieur du tuyau résiste à la corrosion (type zingage anticorrosion), ainsi que l'utilisation de joints en acier inoxydable.

❖ **Conseils**

▪Le tuyau doit avoir une stabilité suffisante pour supporter l'enfouissement dans la terre.

▪Le PVC est à écarter pour la raison simple que la craie contenue dans le PVC empêche l'échange thermique.

▪Le matériau utilisé ne doit pas dégager de vapeur nocive comme cela peut être le cas du PVC par exemple lorsqu'il est soumis à des températures élevées ( $> 30^\circ$ ).

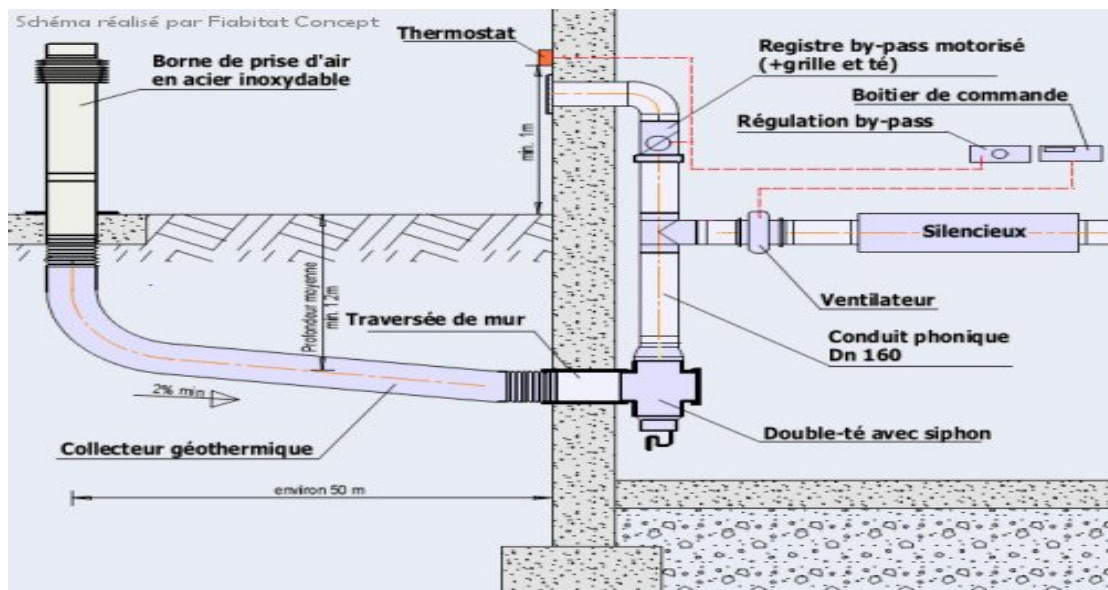
▪Le tuyau sera de préférence lisse à l'intérieur pour diminuer les pertes de charge et rester en régime laminaire. Pour l'extérieur, privilégier les tuyaux annelés pour augmenter l'échange thermique entre le sol et le tuyau.

### **3) Le système d'évacuation des condensats**

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:

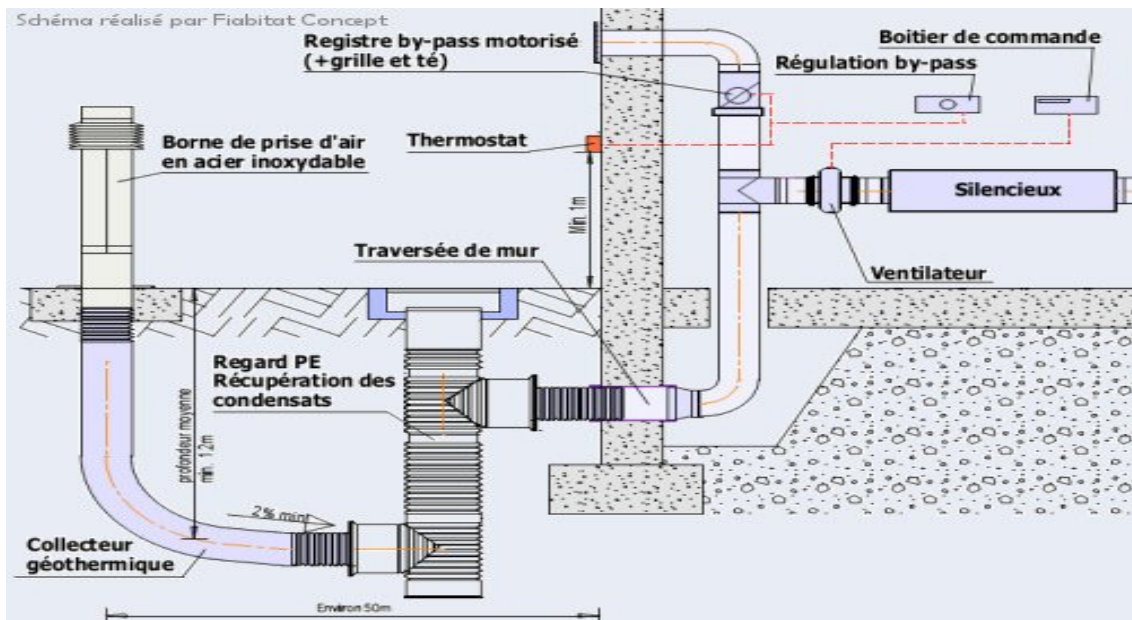
❖ **Présence d'un sous-sol**

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 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 détecter d'éventuels problèmes et de procéder à l'entretien du puits.



#### 4) Le système de régulation et le ventilateur

La régulation permet d'envisager un fonctionnement du ventilateur de puits canadien sur l'année. Le ventilateur fonctionnera avec un thermostat placé à l'extérieur de l'habitation et fera varier à l'aide d'un by-pass l'air du puits et l'air extérieur.

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.

#### III-2-4 Le couplage du puits canadien à une VMC

Le puits canadien peut être relié à une VMC simple flux ou double flux :

##### ➤ En simple flux

L'air est renouvelé, cela évite les condensations et les moisissures, la sensation de flux d'air froid est atténuée par rapport à une simple VMC, bon système de rafraîchissement l'été.

L'hiver, on préchauffe, l'été on rafraîchit, mais en demi-saison, le puits canadien doit être arrêté sinon il refroidit la maison.

##### ➤ En double flux (gestion de l'entrée d'air et de son extraction)

Les ventilations doubles flux sont pourvues d'un échangeur de chaleur, système qui va récupérer les calories de l'air évacué pour réchauffer l'air rentrant (avec des rendements de 60% pour des échangeurs à courants croisés et 80-90% pour les échangeurs à contre courant et les échangeurs rotatifs). L'air est renouvelé, évite les condensations et les moisissures. Les avantages que conserve la solution double-flux par rapport à son homologue, c'est le filtrage de l'air, et son insufflation à température quasi-ambiante dans la maison.

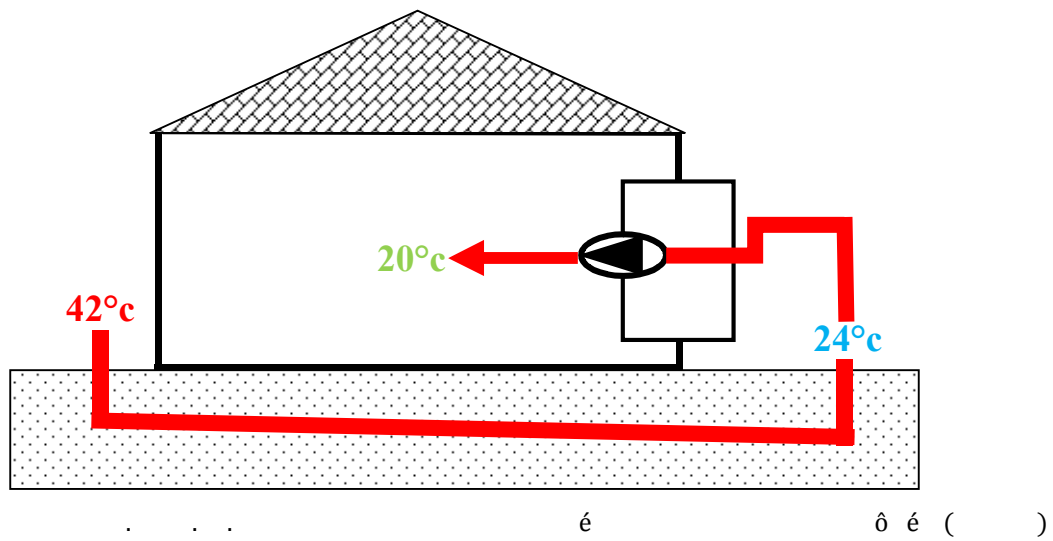
#### III-2-5 Le ventilateur mécanique contrôlé (VMC)

##### III-2-5-1 Les différents types de ventilateur mécanique contrôlé (VMC)

###### 1) Le ventilateur mécanique contrôlée(VMC) simple flux

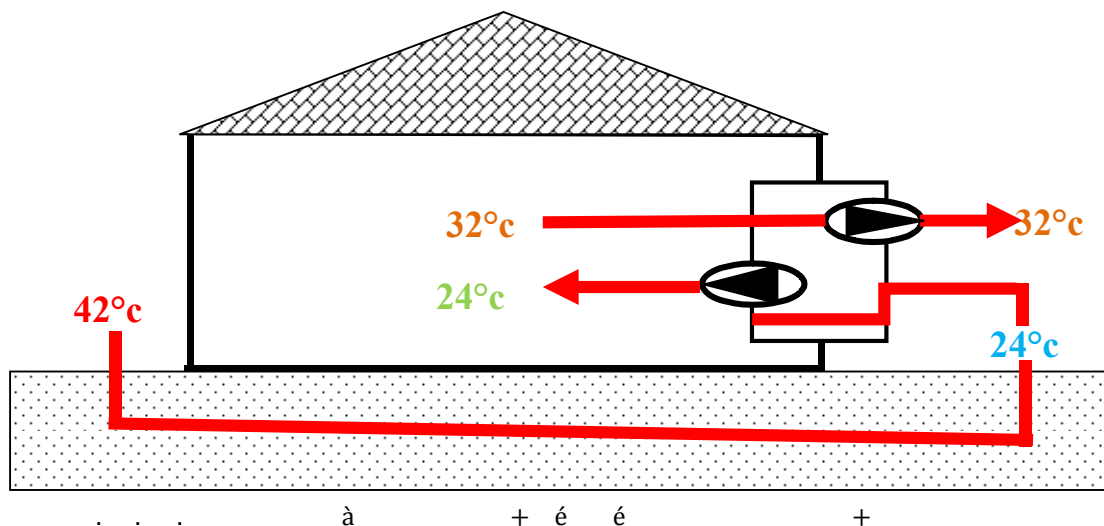
L'air neuf est admis dans les pièces principales par des entrées d'air auto-réglables dont le rôle est d'atténuer l'effet du vent pour maintenir constants les débits entrants. Sous l'effet de la dépression générée par le groupe moto-ventilateur (extracteur), l'air traverse le logement transitant des pièces principales vers les pièces les plus polluées par le droit des portes intérieures ou par un détalonnage de ces portes en partie basse. L'air vicié est évacué par des bouches d'extraction situées dans les pièces de service (cuisine, salle de bain, WC...).



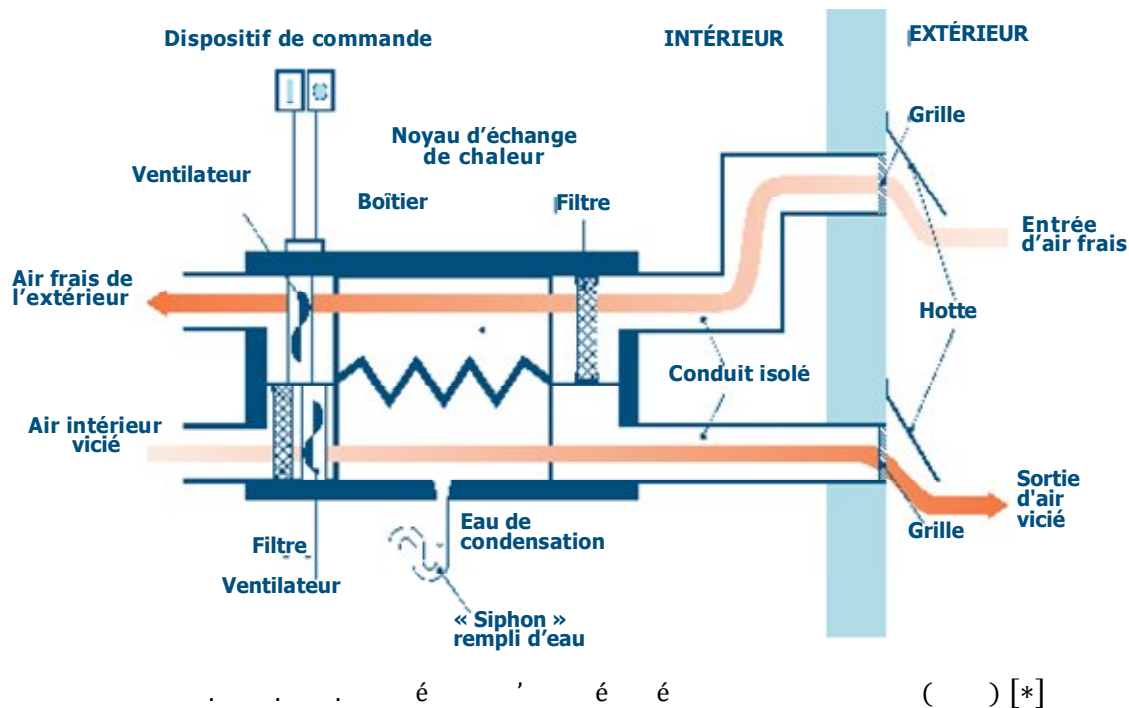


2) Le ventilateur mécanique contrôlée (VMC) double flux avec récupérateur

C'est une ventilation double flux haute performance où l'air chaud extrait des pièces humides, telles cuisine et salles d'eau, traverse un échangeur de chaleur avant d'être rejeté vers l'extérieur, via un réseau de conduits relié à un caisson. L'air froid provenant de l'extérieur est amené dans la maison à l'aide d'un réseau de gaines. Filtré, l'air neuf traverse l'échangeur et récupère jusqu'à 90 % de la chaleur de l'air expulsé avant d'être redistribué dans les pièces de vie de la maison.



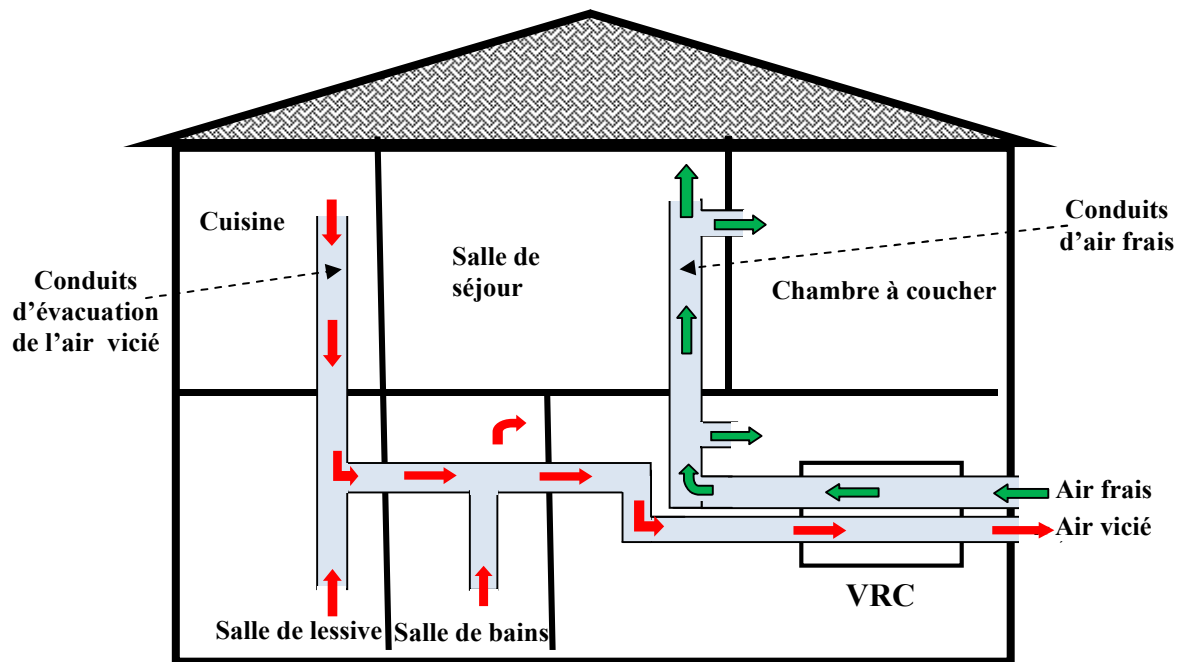
### III-2-5-2 Les éléments d'un système ventilateur récupérateurs de chaleur (VRC)



Un système VRC comprend normalement le matériel suivant:

- conduits isolés pour l'alimentation en air (frais) et la sortie d'air (vicié), avec hottes extérieures.
- conduits de distribution de l'air frais dans toute la maison et de retour de l'air vicié au VRC.
- ventilateurs de distribution de l'air dans toute la maison et d'acheminement de l'air vicié vers l'extérieur.
- filtres pour empêcher la poussière de pénétrer dans le noyau d'échange thermique.
- mécanisme de dégivrage (certains appareils sont dotés d'un préchauffeur) pour empêcher le givre d'obstruer le noyau lorsque l'air extérieur est froid (non illustré).
- un drain pour purger la condensation de l'intérieur du VRC (non nécessaire sur tous les modèles).
- dispositif de commande pour régler le VRC en fonction des besoins de ventilation.

### III-2-5-3 Exemple de VRC à conduits directs



... é ' é é ( ) à

### III-2-6 Les différents types d'installation des puits canadien

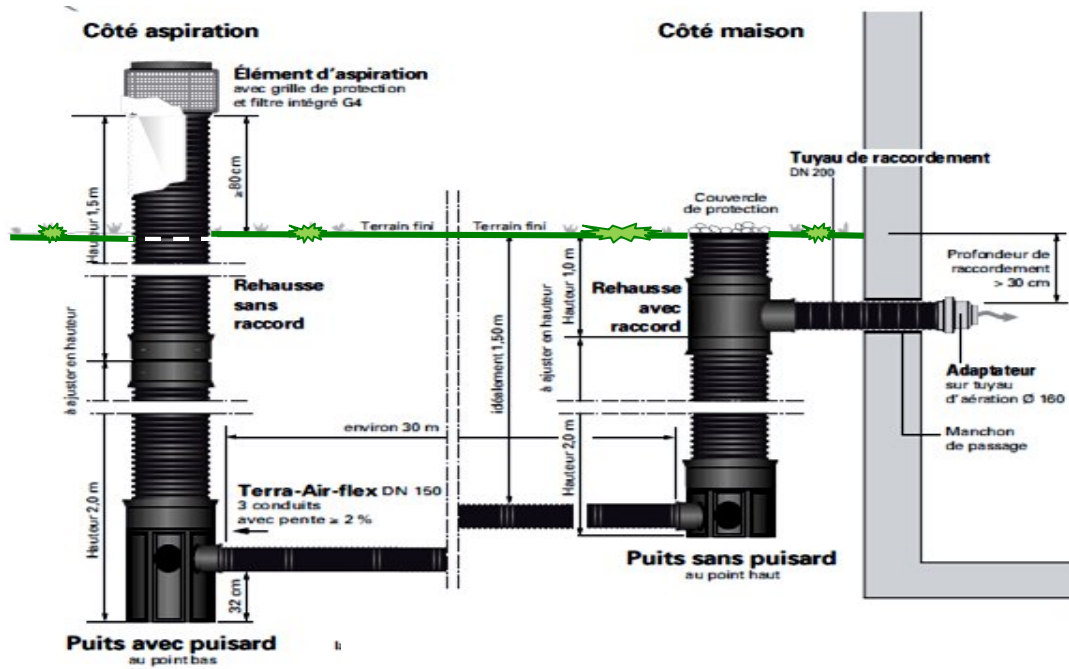
#### 1) Type H

Le Terra-Air Type H qui nécessite en règle générale une fouille spécifique, facilite pourtant la pose des conduits à un même niveau, le respect des écarts nécessaires entre les tuyaux et la profondeur idéale avec la pente régulière de  $\geq 2\%$  au point bas.

La fouille idéale aura une largeur d'environ 3,0 m, une profondeur d'au moins 1,50 m et une longueur de 34 m. Ces données pourront varier suivant la place disponible.

#### A. Type H - raccordement par pénétration par le mur

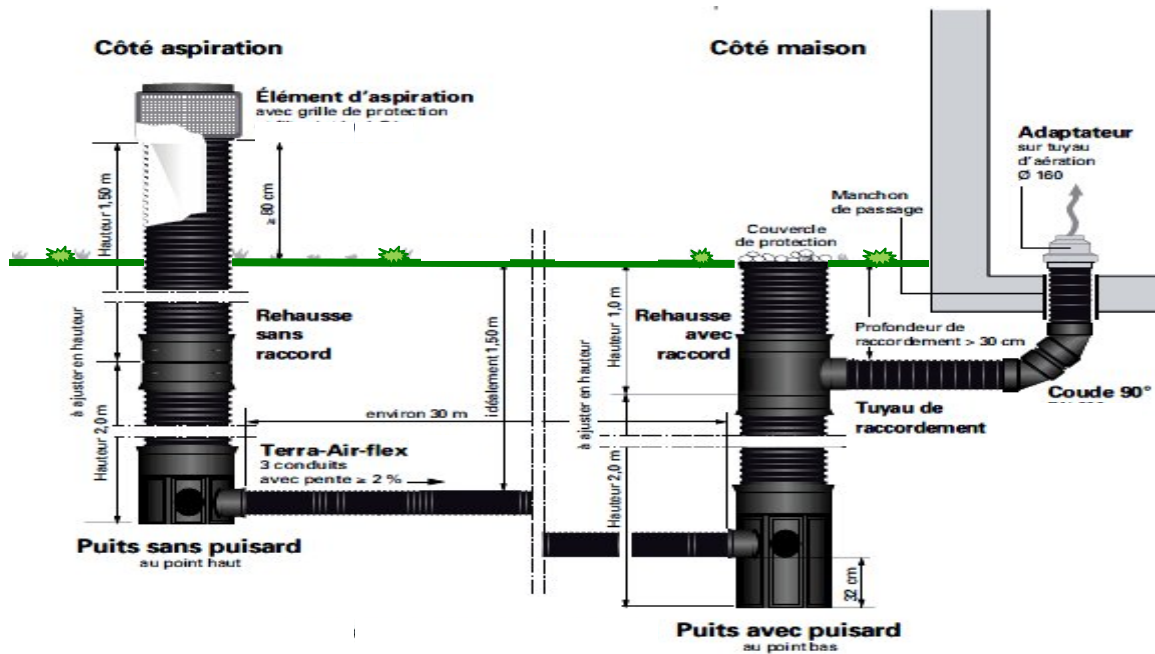
Installation à l'extérieur des fouilles du bâtiment avec pénétration par le mur.



é é [\*]

**B. Type H - raccordement par pénétration par la dalle de fondation**

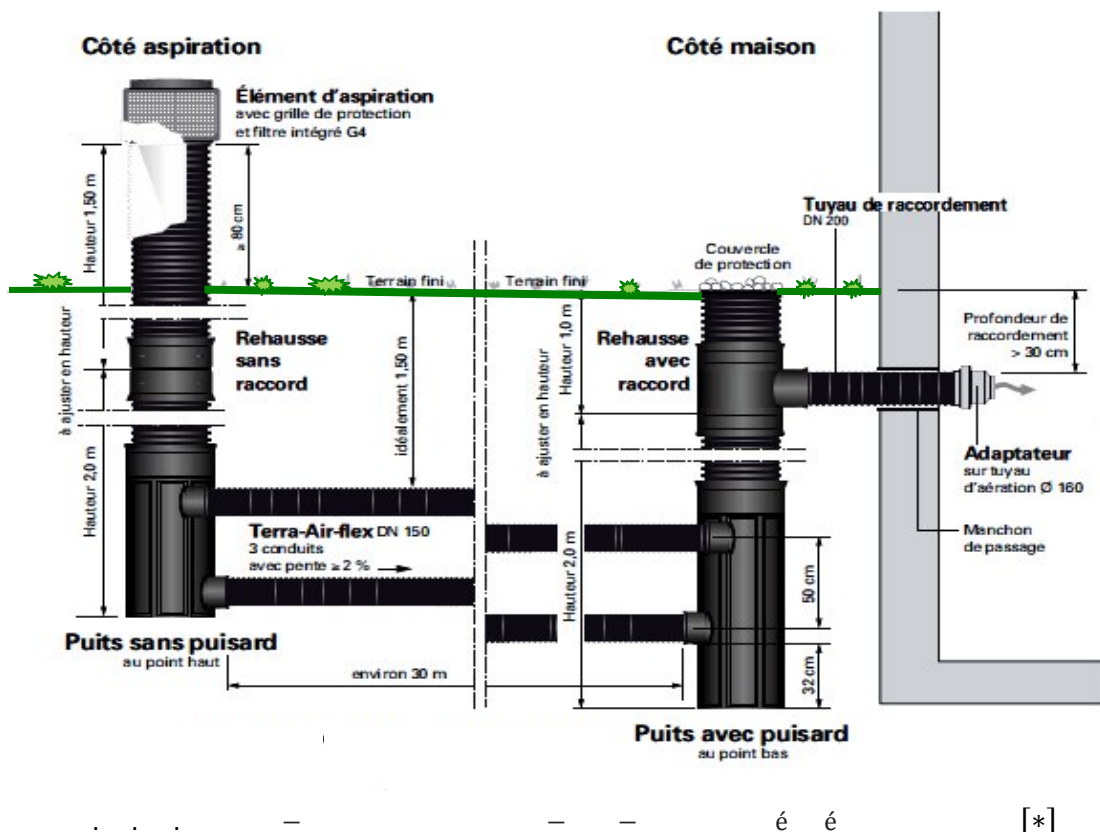
Installation l'extérieur du bâtiment avec pénétration par la dalle de fondation.



é é [\*]

## 2) Type V

Installation dans la fouille autour du bâtiment avec pénétration par le mur. Dans ce cas Terra-Air-Type V avec les 3 tuyaux Terra-Air-flex décalés en V vertical, s'intègre mieux dans l'espace de cette fouille. Lorsqu'un drainage du bâtiment est prévu, celui-ci devrait être placé avant la mise en place de l'EGT type V. La largeur nécessaire pour le tuyau inférieur est de 0,5 m, la profondeur idéale de 2 m. La largeur nécessaire pour les deux tuyaux supérieurs est de 1,50 m. La différence en hauteur entre les deux niveaux est d'environ 50 cm.



### III-3 Les avantages et les inconvénients de la géothermie pour la production de chaleur

#### Les avantages

Sont énormes en termes de performance énergétique et d'impact écologique :

- Performance énergétique : les coefficients de performance peuvent atteindre des valeurs entre 10 et 20 (entre 2 à 4 pour des climatisations classiques).
- La maintenance est restreinte.
- Coût de maintenance : très faible par rapport à une climatisation classique.

- Intégration possible avec d'autres systèmes de climatisation.
- Coût énergétique : très faible par rapport à une climatisation classique.
- Capacités de production importantes comparées aux autres énergies renouvelables.
- Énergie de base, indépendant des conditions climatiques (fonctionne 24hx24h, 365j/an).
- Economies d'énergie : très faible consommation électrique, uniquement le ventilateur.
- Ecologie : n'utilise pas de fluides frigorigènes, ni de compresseur et consomme peu d'électricité.
- Ressource énergétique locale qui ne nécessite pas de transport (de risques de pollution).
- Ressource énergétique renouvelable préservant l'environnement (pas de déchet, émissions gazeuses très réduites).

### **Les handicaps**

- Ressource naturelle du sous-sol dont l'extraction nécessite la réalisation de forages.
- Délai important dans la mise en valeur d'une ressource géothermique.
- Coût d'investissement important comparé aux autres énergies renouvelables (travaux d'exploration, réalisation de forages).