



# Les puits Canadiens : Outil de conception pour des conduits d'air souterrains de pré-chauffage ou pré- refroidissement passif

Webinar pour le Réseau Énergie et Bâtiments / 27 février 2020

# Présentateurs

**CanmetÉNERGIE**  
*Leadership en écoInnovation*



Michel Tardif ing.  
Ingénieur de recherche  
CanmetÉNERGIE à Ottawa  
Ressources naturelles Canada



Sébastien Brideau Ph.D  
Chercheur scientifique  
CanmetÉNERGIE à Ottawa  
Ressources naturelles Canada



# Objectifs d'apprentissage

- Connaître les principaux paramètres de conception des puits canadiens
- Connaître le potentiel d'efficacité énergétique des puits canadiens comme mesure passive
- Reconnaître les limites d'utilisation de l'outil simplifié



# Aperçu de la présentation

- Profil corporatif de CanmetÉNERGIE et du laboratoire d'Ottawa
- Pourquoi un outil de conception des puits canadiens?
- L'équipe de recherche et la mise en ligne de l'outil
- Description de l'outil et du modèle sous-jacent
- Démonstration à l'aide d'un exemple
- Aperçu du guide technique accompagnant l'outil
- Survol de fiches techniques de projets de puits canadiens au Canada
- Conclusion



# Laboratoires de CanmetÉNERGIE au Canada

- Sables bitumineux et pétrole lourd

Devon



- Minéraux et métaux

Hamilton



- Pétrole et gaz
- CUSC
- Industrie
- Renouvelables
- Bioénergie
- Environnement bâti
- Transport
- Nord

Ottawa



- Bâtiments
- Intégration des procédés industriels
- Réseaux intelligents
- Énergie solaire photovoltaïque
- RETScreen International

Varennes



# CanmetÉNERGIE-Ottawa...

Ressources humaines :

- 220 employés

Ressources financières :

- 31M\$

Plan scientifique :

- 33 projets de R&D
- 15 usines pilotes
- 6 unités à l'échelle de banc d'essai



# Pourquoi un outil de conception des puits canadiens?

## Éléments ayant motivés le développement de l'outil

- Mesures d'efficacité énergétique passive moins documentée
- Études de terrain par CanmetÉNERGIE avec résultats mitigés en raison d'hypothèses de départ erronées
- Une certaine complexité en raison des nombreux paramètres à prendre en considération



# Pourquoi un outil de conception des puits canadiens?

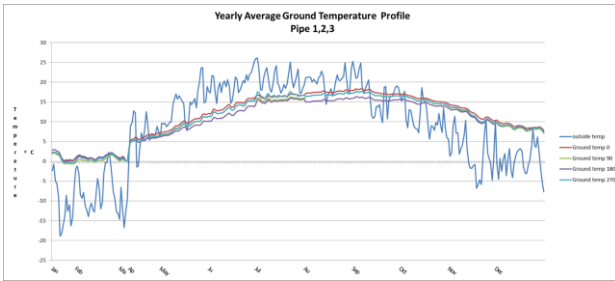
Combien de tubes?



Quel espacement et à quelle profondeur?



Quel diamètre de tube?  
Quelle configuration et quelle longueur ?



Quelles températures de sol?





# Pourquoi un outil de conception des puits canadiens?

En mettant à la disposition des architectes et ingénieurs (es), un outil simple s'appuyant sur des milliers de simulation en amont, on espère que ces derniers(ères) prendront en considération cette mesure renouvelable de préchauffage et pré-refroidissement de l'air neuf.



# L'équipe de recherche et la mise en ligne de l'outil

- Michel Tardif ing. responsable du projet et des études de terrain
  - Sébastien Brideau Ph.D responsable du développement de l'outil
  - Mike Lubun BES responsable du guide de conception
  - Trevor Butler P.Eng. C.Eng., LEED AP BD+C collaborateur externe
- 
- La mise en ligne de l'outil sur le site de Ressources naturelles Canada est prévue à la fin mars début avril 2020. Le téléchargement sera gratuit.



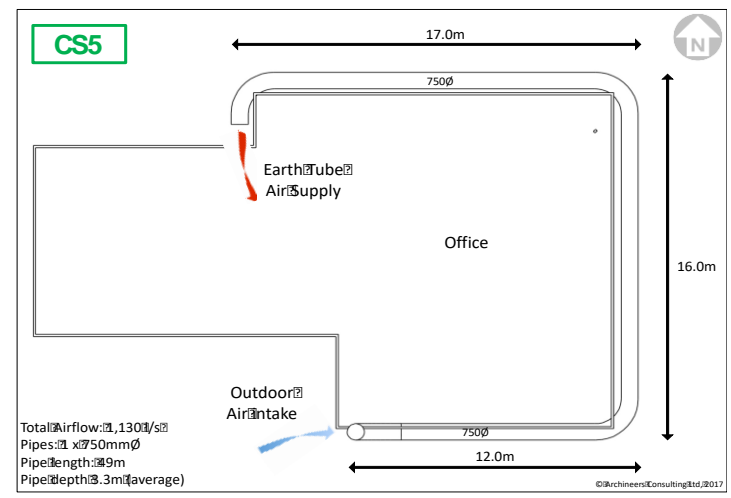
# Description de l'outil et du modèle sous-jacent



# Qu'est-ce qu'un puit Canadien?

- Plusieurs termes en français: puit provençal, échangeur d'air géothermique, échangeur air-sol
- En anglais: earth tubes, earth-air heat exchanger (EAHE), ground-coupled heat exchangers, ground-air heat exchangers
- Plus utilisé en boucle ouverte (c.-à-d. ventilation)
- Boucle fermée (recirculation) possible, mais pas le sujet de cette présentation





Bâtiment commercial	
# Tube(s)	1
Profondeur des tubes	3.0-3.6 m
Longueur	49 m
Diamètre intérieur	750mm
matériel	Béton
Débit (l/s)	1,130 l/s
Emplacement	Kelowna, Canada
$\Delta T$ Max. Chauffage	10°C
$\Delta T$ Max. Refroidissement	-7°C

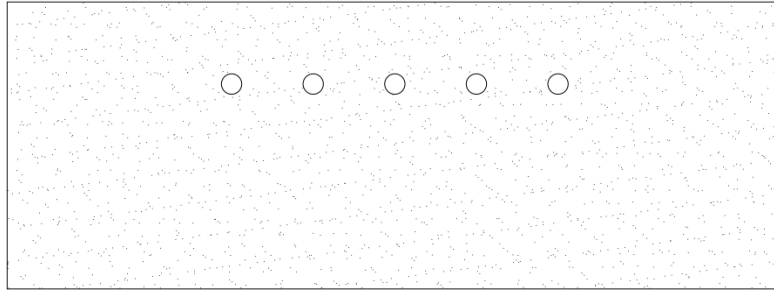
# Outil de conception

- Au Canada, aucune directive disponible et expérience limitée dans la conception d'échangeurs air-sol
- Certains outils de conception existent, mais aucun n'est facilement disponible, simple / facile à utiliser et utilise un modèle validé.

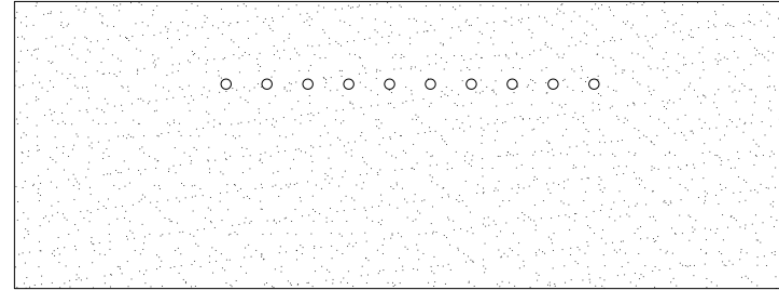


# Question de conception:

Quelle est la meilleure configuration?



DIAMÈTRE = 1 m  
VITESSE 1 m/s  
QUANTITÉ DE TUBES = 5  
DÉBIT VOLUMÉTRIQUE = 3,9 m<sup>3</sup>/s



DIAMÈTRE = 0.5 m  
VITESSE = 2 m/s  
QUANTITÉ DE TUBES = 10  
DÉBIT VOLUMÉTRIQUE = 3.9 m<sup>3</sup>/s

# Objectif

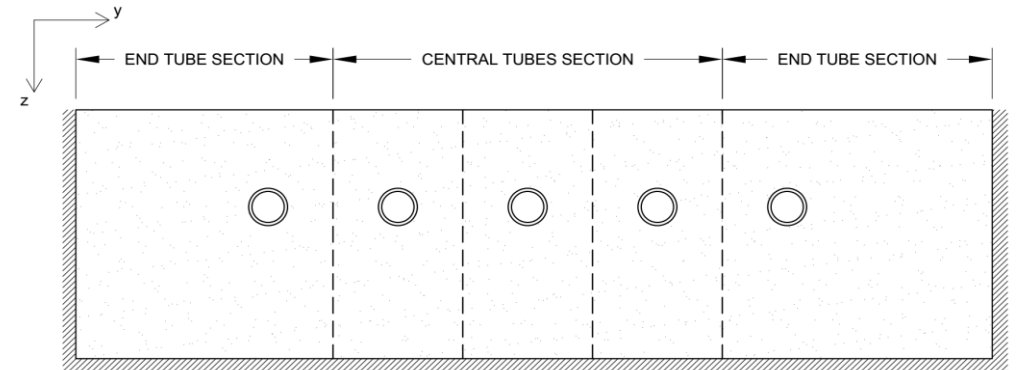
- Produire un outil de conception simple pour les échangeurs air-sol
  - Utiliser un modèle validé
  - Privilégiez la facilité d'utilisation





# Modèle

- Hollmuller and Lachal
  - Différence finie 3D transitoire
  - Implémenté dans TRNSYS (Type 460): légèrement modifié pour ce travail
  - Segmentation en tubes terminaux et tubes centraux
  - Conditions limites
    - Bas et côtés: adiabatique
    - Côtés à 10 m des tubes, fond à 14 m des tubes
    - Niveau du sol: température sol-air avec résistance causée par la couverture de neige moyenne mensuelle



# Balayage paramétrique et extrants

Paramètre	Valeurs évaluées	Remarques
Fichier climat	Divers	Utilisation des fichiers CWEC 2016
Diamètre intérieur $D_i$ (m)	0.14, 0.19, 0.27, 0.36, 0.46, 0.58, 0.76, 1.07	-
Matériel	Polyéthylène, béton, acier galvanisé	Béton et acier galvanisé seulement pour 1,07 m de diamètre.
Type de sol	Sol lourd saturé Sol lourd humide Sol lourd sec Sol légèrement sec	$k$ ( $\text{W m}^{-1}\text{K}^{-1}$ ) and $\rho C_p$ ( $\text{J m}^{-3}\text{K}^{-1}$ ): 2.42, 2.6770x10 <sup>6</sup> 1.30, 2.0155 x10 <sup>6</sup> 0.865, 1.6764 x10 <sup>6</sup> 0.346, 1.2357 x10 <sup>6</sup>
Profondeur (m)	1.5, 3, 5	De la surface du sol au dessus des tubes
Espacement des tubes	$1D_o$ , $2D_o$ , $3D_o$	-
Longueur (m)	15, 40, 65, 100	-
Vitesse de l'air (m/s)	1, 1.5, 2, 2.5, 3, 3.5, 4	-
Horaire	Continue, Programmé	Programmé: En marche sur semaine 7h00 à 20h00

Les extrants:

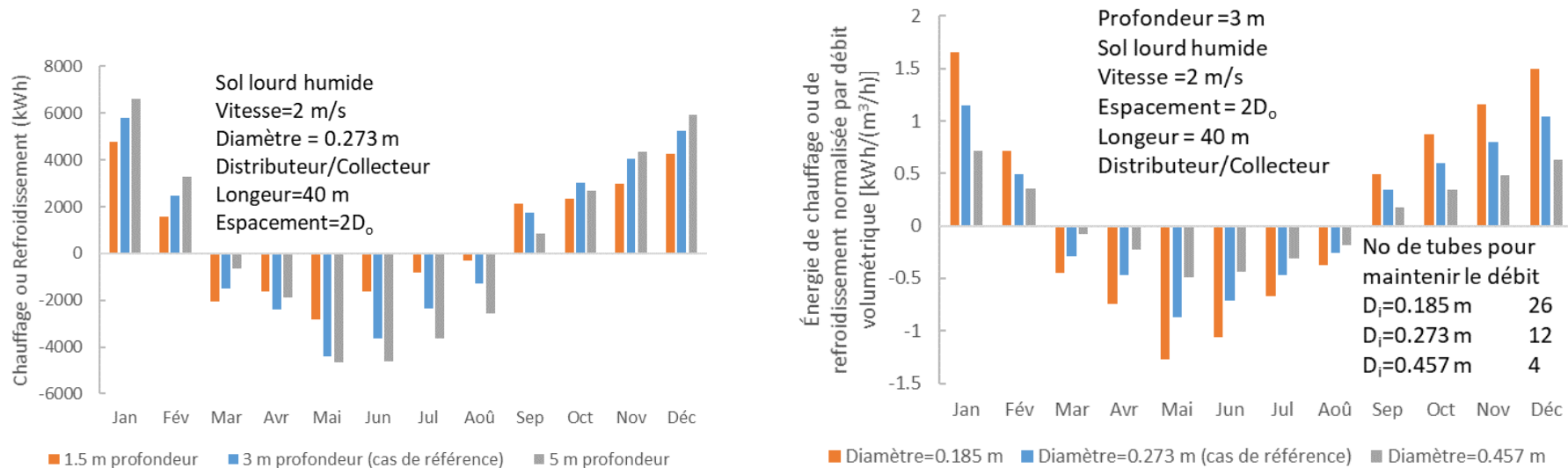
- profils horaires moyens de température d'entrée et de sortie pour chaque mois
- énergie mensuelle de refroidissement et de chauffage du flux d'air
- pourcentage mensuel de temps pendant lequel l'humidité est extraite du flux d'air (i.e. condensation)



# Démonstration outil 'en direct'



# Effet de certains paramètres sur les performances des échangeurs air-sol



Résultats mensuels en utilisant un outil de conception pour varier la profondeur du tube (a) et le diamètre du tube (b)

# Avantages/Désavantages

## Avantages

- Interface de feuille de calcul simple
- Résultats « instantanés »
- Aucune interaction de l'utilisateur avec un modèle complexe
- Intrants et extrants simples

## Désavantages

- Entrées et sorties rigides
  - Ne convient pas pour une géométrie complexe, une pratique de construction inhabituelle ou une analyse détaillée
- Les utilisateurs ne peuvent pas fouiller dans le code du modèle



# En résumé...

- L'outil est pour aider les concepteurs au début de la conception
- À des stades ultérieurs, des outils plus avancés peuvent être utilisés si une analyse plus détaillée est requise
- Paramètres qui affectent positivement les performances (pour le même débit):
  - ↓ Diamètre (augmentation du nombre de tubes), ↓ Vitesse (augmentation du nombre de tubes), ↑ Espacement des tubes, ↑ Profondeur des Tubes, ↑ Conductivité du Sol et Masse Thermique, ↑ Longueur des Tube
- Le modèle sous-jacent a été validé par les auteurs du modèle, et nous avons également effectué nos propres tests avec des données d'un projet de Toronto avec de bons résultats. Nous recherchons toujours de bonnes données in-situ pour valider davantage l'outil.



# Article pour plus d'information sur l'outil de conception

- En Anglais:
  - Brideau, S.A., Lubun, M., Tardif, M., *Early Design Tool for earth Tubes in Canada*, Roomvent & Ventilation 2018, Espoo, Finland
  - <https://bit.ly/37E2jQg>



# Aperçu du guide de conception





# Guide de conception

## Table des matières



### ECHANGEUR DE CHALEUR SOL-AIR

Principes et outil de conception

#### Abstract

Earth-to-air heat exchangers can provide a passive means of preheating and pre-cooling ventilation and process air, thereby reducing reliance on electricity and fossil fuels. Their performance is governed by a series of interconnected variables such as tube material, length, diameter and layout; tube depth below grade; surface and deep soil conditions; ambient air temperatures and surface solar radiation; air flow, velocities, fan characteristics and operating schedules. The relationships between the soil, tube design ambient air and air velocity are quite complex. This document outlines the fundamental design principles and then applies these principles using complex energy simulation tools. The results of these complex sub-hourly simulations are then loaded into a tool that designers can use at the early design stage to assess the energy performance of design options for a series of Canadian climates.

Buildings and Renewables Group, CanmetEnergy Ottawa

#### Contents

1. Introduction .....	2
2. Design Considerations .....	3
2.1 Application .....	3
2.2 Site Conditions and Earth Properties .....	5
2.3 Earth Tube Depth, Diameter and Length .....	7
2.3.1 Earth Tube Depth .....	7
2.3.2 Earth Tube Diameter .....	9
2.3.3 Earth Tube Length .....	10
2.4 Earth Tube Materials .....	11
2.5 Airflow and Fan Sizing .....	13
2.6 Operations and Controls .....	15
2.7 Earth Tube Field Geometry .....	15
2.8 Construction Costs .....	19
2.9 Design Steps .....	20
3 Design Tools .....	22
3.1 Approach to Design Tool .....	22
3.2 Design Tool Input Data .....	23
3.3 Design Tool Output Report .....	29
3.4 Weather Impact on Design Tool Output .....	32
3.5 Design Tool Prediction Comparison with Measured Data .....	34
4. In-Situ Monitoring of Earth Tubes Energy Performance .....	35
References .....	37



# Guide de conception

- Section 2 Considérations de conception
  - Site, propriétés du sol, les différents paramètres caractérisant les tubes (diamètre, longueur, profondeur etc.) contrôles, arrangement des tubes, coûts de construction, étapes de conception en 11 points, étapes de construction en 13 points
- Section 3 Outil de conception
  - Explication détaillée des intrants et extrants de l'outil
- Section 4 Mesurage in-situ de la performance des tubes souterrains
  - Comment déterminer la performance énergétique d'un système de tubes souterrains ?



# Fiches techniques



# Fiche technique exemple 1

CASE STUDY TECHNICAL SHEET

ER

Earth Rangers Woodbridge Toronto Ontario



9<sup>th</sup> International Masonry Conference 2014 in Guimarães

### Energy performance of concrete earth tubes for the pre-heating and pre-cooling of supply air in cold climate

OUAZIA BOUALEM<sup>1</sup>; TARDIF MICHEL<sup>2</sup>; BIRGITTA NORDQUIST<sup>3</sup>; MIKE LUBUN<sup>4</sup>; BOOTH DANIEL<sup>5</sup>

**ABSTRACT:** As a means to pre heat or pre cool outside air in a high performance building located in Canada, nine large diameter concrete pipes (also called earth tubes) have been installed into the ground as part of passive strategies to reduce ventilation loads. This paper, investigate the key parameters influencing the energy performance of the earth tubes and how the design of such renewable technology can be improved.

*Keywords:* earth tubes, passive heating, ventilation loads, energy performance

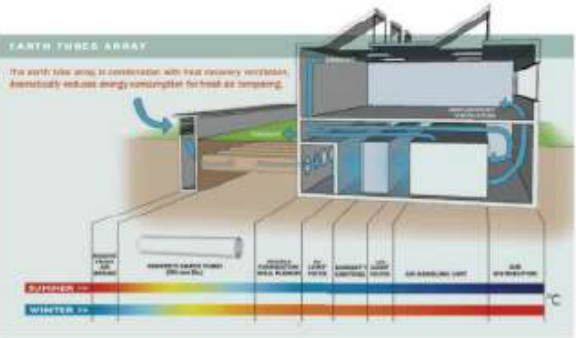


Figure 1

In order to reduce the energy demand and cost of providing necessary ventilation, the Earth Rangers Centre uses a network of underground concrete tunnels (earth tubes array shown in Figure 1) to temper fresh air entering the building's ventilation systems. The earth tube system is an earth-to-air heat exchanger system which consists of nine 900 mm diameter, 20 m long pre-cast concrete pipes buried beneath the frost line (approximately 1500 mm below grade). All of the concrete pipes are straight and large enough for inspection and maintenance (Figure 2). Once the air enters the building through a series of rain and snow louvers and dust filters, it is fed along a double-foundation wall providing further natural heating and cooling of building's structure before entering the ventilation system. The second wall inside of the poured concrete foundation is constructed of insulated concrete masonry. The tunnels and double foundation wall provide a total of 1,500 m<sup>2</sup> of thermally conductive surface between the ventilation air and the surrounding earth. The concrete pipes allow all of the air used in the building's ventilation systems to be 100% outside air with minimal recirculation. Outside air is drawn through a series of buried concrete pipes allowing surrounding earth to moderate the temperature of the incoming air so that it is either pre-heated or pre-cooled depending on the time of year. After passing through the earth tubes, but before being distributed throughout the building, the incoming air passes through two levels of filtration. Once cleaned, the air is distributed throughout the building via a displacement ventilation system.



# Fiche technique exemple 1



Figure 2

Earth tube Technical data	
# pipe (s)	9
Depth of pipe (s)	1,5 m
Length of pipe (s)	20 m
Pipe diameter int	900 mm
material	concrete
Airflow rate ( L/s)	7236 (design)
Building type	Wild life center/educational
Geographical location	Toronto Canada
Max Heating $\Delta T$	15 °C
Max Cooling $\Delta T$	6.8 °C
Distance between pipes	0,5m

## Performance of the earth tube system

Given the relative stability of ground temperatures, it is of interest to determine how the earth tube heat exchanger performed during cold days as opposed to warmer days. Figure 3 illustrates the overall earth tube heat exchanger effectiveness. Toronto airport outside temperature ( $T_{ext\ YYY}$ ) is plotted against the net temperature increase ( $T_{ext} - T_{average}$ ) where  $T_{average}$  represents the average temperature downstream earth tubes P1,P5 and P9. The heat gain is important reaching a temperature difference of +15 °C during the coldest days (-20 °C to -25 °C), while in warmer days (0 °C to 5 °C) the heat gain was much less ( less than 5 °C). The heat transfer relationship between the ground, concrete tube, and low velocity air flow in the tubes is very effective as the outside air temperature gets colder.

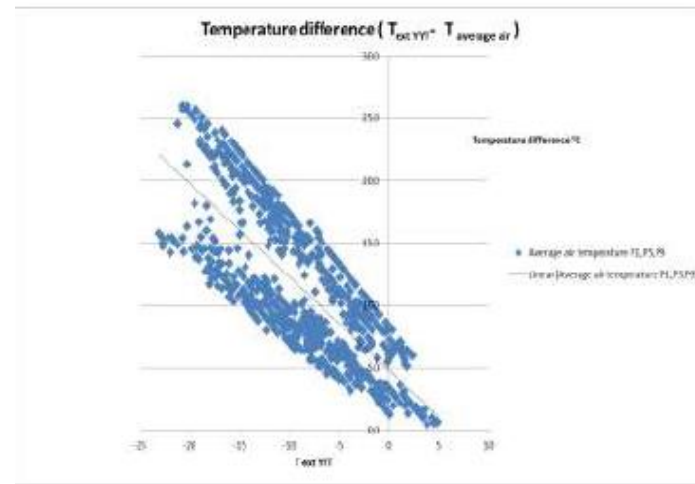


Figure 3

# Fiche technique exemple 2

## CASE STUDY TECHNICAL SHEET CS1 – Agricultural Processing Building, Kelowna BC

This building built in 2010, is a 2-storey processing building linked to a herb production farm, located on the agricultural benchland above the Okanagan Lake in south-east Kelowna, BC

### System Description

The earth tube system was designed to provide high volumes of passively cooled air to drive the drying process of the medicinal herbs and plants produced by the farm.

The owners were seeking an alternative approach to the energy intensive conventional drying and cooling machinery due to operating costs and the undesirable operational impact upon the farm. The main drying also occurs in summer, when the outside air temperature is highest – which further exacerbated the energy required to cool the air. The earth tube system provided naturally cool air – perfect for slow drying of the herbs, with no mechanical cooling or complex systems.

In winter, the earth tube provides freely tempered minimal outside air linked with the building HVAC system. The owners are able to increase outdoor air volumes and air quality for no extra energy cost.

<i>Earth tube Technical data</i>	
<i># pipe (s)</i>	8
<i>Depth of pipe (s)</i>	2.4m
<i>Length of pipe (s)</i>	30m each
<i>Pipe diameter int</i>	100mm
<i>material</i>	HDPE
<i>Airflow rate ( L/s)</i>	100 total (approx.12.5 per pipe)
<i>Building type</i>	Agricultural / processing
<i>Geographical location</i>	Kelowna, Canada
<i>Max Heating <math>\Delta T</math></i>	16°C
<i>Max Cooling <math>\Delta T</math></i>	-19°C
<i>Distance between pipes</i>	0,2m



Fig 1. Layout of tubes with lowered layer already backfilled.

# Fiche technique exemple 2

Energy performance

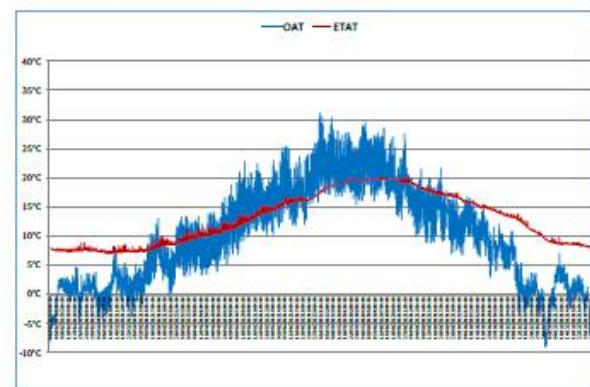


Fig 2. Energy Performance of the system

## Lessons learned

The earth tube system was monitored for more than a year in 2015. The results indicate a well-performing system. The average delta T for heating and cooling were respectively of 16°C and -19°C. The small diameter, depth of the pipes and low air velocity contribute to the high-performance output of this system.

The material cost for this system were amongst the lowest provided, 8 x 100' lengths of 4"Ø big-O tubing. This was a low-risk test case, with no direct contact with HVAC and also ability to monitor air quality



Fig 3. Watertight connection of tubes to building

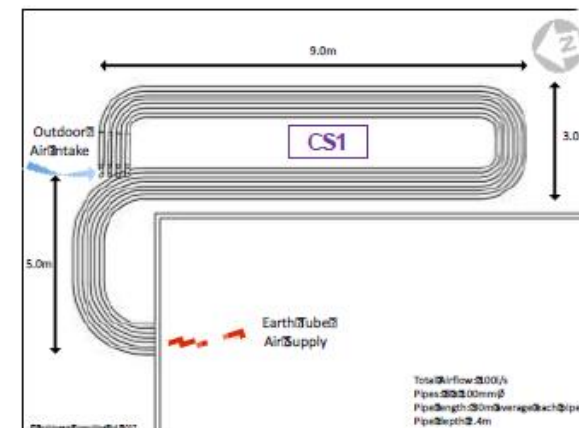


Fig 4. Pipe layout

# Fiche technique exemple 3

## CASE STUDY TECHNICAL SHEET CS5 – Commercial Office, Kelowna BC

The new construction commercial office comprises 601 m<sup>2</sup> new accommodation for municipal staff – including changing rooms, kitchen/canteen conference facilities and office space. The earth tube system provides tempered make-up air to the whole building.

### System Description

The system provides 100% tempered outside air to a single MUA unit serving the building. The tubes comprise 1 x 750mmØ precast concrete pipe that run around the outside of the foundation walls beneath 8-14 feet of backfill.

The MUA provides tempered air to displacement outlets around the building and balances the exhaust air taken by the composting toilet system – one of several deep green initiatives of the building.

The monitored year is 2014, with the recorded data consisting of Earth Tube Air Temperature (ETAT) and Outdoor Air Temperature (OAT).

Earth tube Technical data	
# pipe (s)	1
Depth of pipe (s)	3.0-3.6 m
Length of pipe (s)	49 m
Pipe diameter int	750mm
material	Precast concrete
Airflow rate (l/s)	1,130 l/s total
Building type	Commercial office
Geographical location	Kelowna, Canada
Max Heating $\Delta T$	10°C
Max Cooling $\Delta T$	-7°C
Distance between pipes	5.0m



1. 750mmØ precast pipe (1 of 3)





# Fiche technique exemple 3

## Energy performance

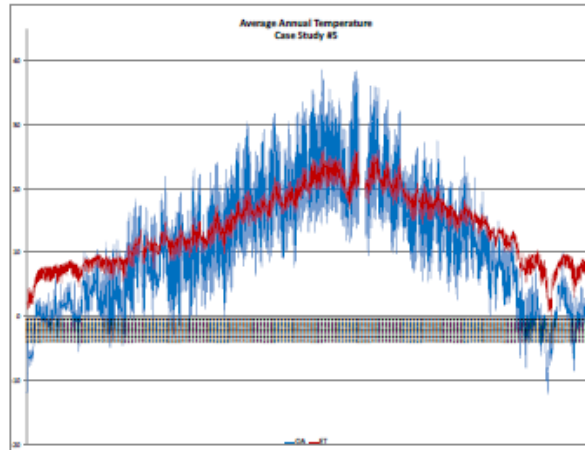


Fig 2. Energy Performance of the system

### Lessons learned

The earth tube system was monitored for more than a year in 2014. The results indicate a well-performing system. The average delta T for heating and cooling were respectively of 11°C and -12°C.

This is the deepest covered system under review and the cooling effects were amongst the most impressive for passive cooling. The system can save up to 100% of the outdoor air-cooling load during certain times of year. In peak summer, this number is lower, but still more than 70%.

The heating requirements of the outdoor air supplied to the MUA unit can be shown to save more than half the of the outdoor air heating load during certain times of year.

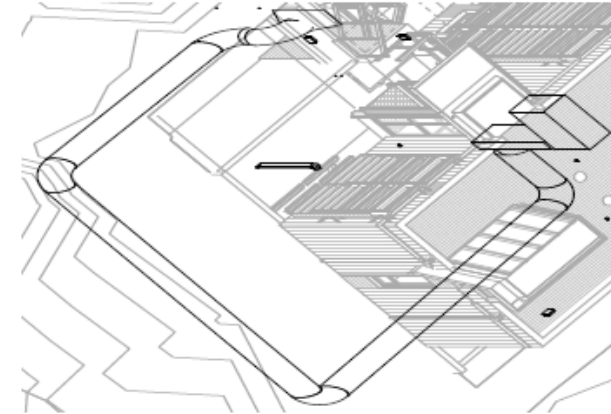


Fig 3. Revit model of tubes system

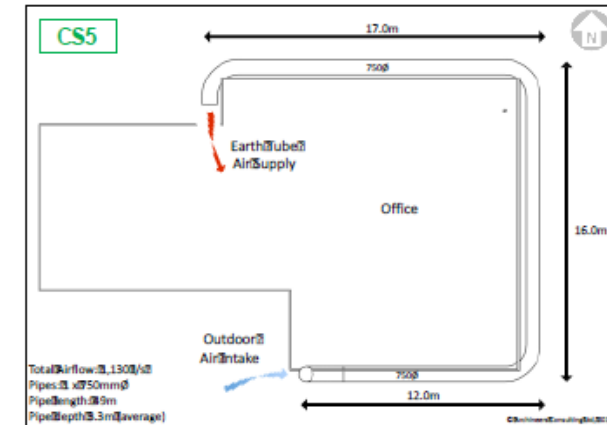


Fig 4. Pipe layout

# Fiche technique exemple 4

## CASE STUDY TECHNICAL SHEET CS4 – Commercial Office, Salmon Arm BC

The new construction commercial office comprises 1,933 m<sup>2</sup> new accommodation for an anchor tenant and subtenant areas. The earth tube system provides tempered make-up air to the whole building.

### System Description

The system provides 100% tempered outside air to a series of HRV units serving each tenanted area. The tubes comprise 3 x 750mmØ precast concrete pipes that run in straight line underneath the ground floor of the slab on grade part of the building. The three pipes connect to a single common 1,000mmØ header/collector pipe from which the air is drawn by separate HRV units serving each space.

The HRV units supply tempered and heat recovered outside air to a blended supply to four-pipe fan coil units.

The monitored year is 2015, with the recorded data consisting of Earth Tube Air Temperature (ETAT) and Outdoor Air Temperature (OAT).

Earth tube Technical data	
# pipe (s)	3
Depth of pipe (s)	1.6m
Length of pipe (s)	35m each
Pipe diameter int	750mm
material	Precast concrete
Airflow rate (l/s)	2,265 l/s total (approx. 755 per pipe)
Building type	Commercial office
Geographical location	Salmon Arm, Canada
Max Heating $\Delta T$	10°C
Max Cooling $\Delta T$	-7°C
Distance between pipes	5.0m



Fig 1. 750mmØ precast pipe (1 of 3)

# Fiche technique exemple 4

## Energy performance

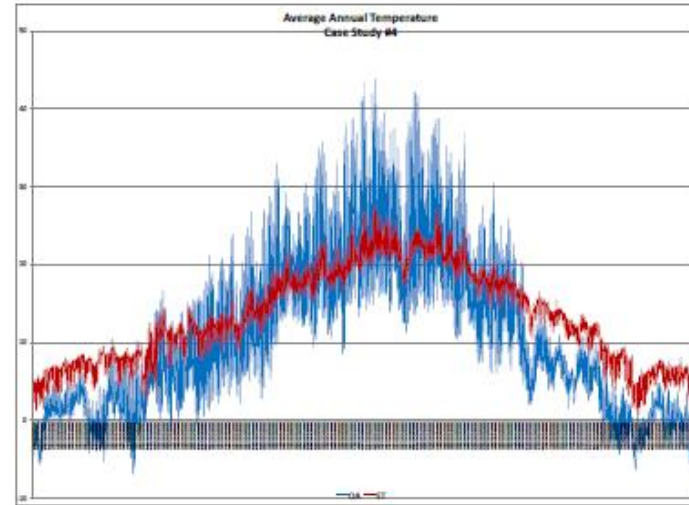


Fig 2. Energy Performance of the system

### Lessons learned

The earth tube system was monitored for more than a year in 2015. The results indicate a well-performing system. The average delta T for heating and cooling were respectively of 10°C and -7°C.

This is the first time that a system has run underneath the slab on grade and it was interesting to note that the performance was still effective. Although the common knowledge is that pipes are best running in exposed areas, to prevent the risk of thermal saturation under the structure.

It is noted that urban sites have limited space to run the pipes, so running under the building is a definite option that still work effectively.



Fig 3. Pipes in trench prior to backfill

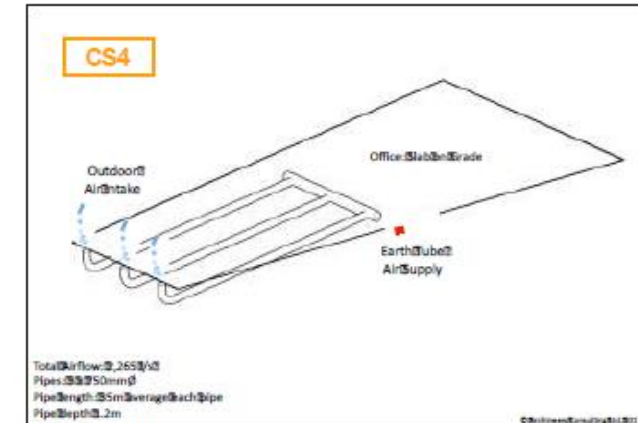


Fig 4. Pipe layout

# CONCLUSION

- Les puits canadien représentent une mesure d'efficacité énergétique passive permettant de réduire la charge de chauffage ou de refroidissement de l'air neuf tel que démontré par les projets réalisés et par les simulations du modèle
- L'outil de conception va vous permettre d'évaluer rapidement le potentiel d'économie d'énergie avec un minimum d'intrants et sans nécessiter un long apprentissage de la théorie sous-jacente
- Le guide de conception et les fiches techniques seront un complément utile à vos projets
- Il serait intéressant que vous mesuriez la performance de vos projets de puits canadien afin d'enrichir nos fiches techniques à l'échelle du pays.



# Merci!

## Pour nous rejoindre

- Michel Tardif ing.  
michel.tardif@canada.ca
- Sébastien Brideau Ph.D  
sebastien.brideau@canada.ca



# Canada

© Sa Majesté la Reine du chef du Canada, représentée par le ministre des Ressources naturelles, 2019



Ressources naturelles  
Canada

Natural Resources  
Canada

Canada