



Un laboratoire pour favoriser la recherche en géothermie de basse température

Réseau québécois sur les eaux souterraines
20 avril 2017

Philippe Pasquier
Département des génies civil, géologique et des mines

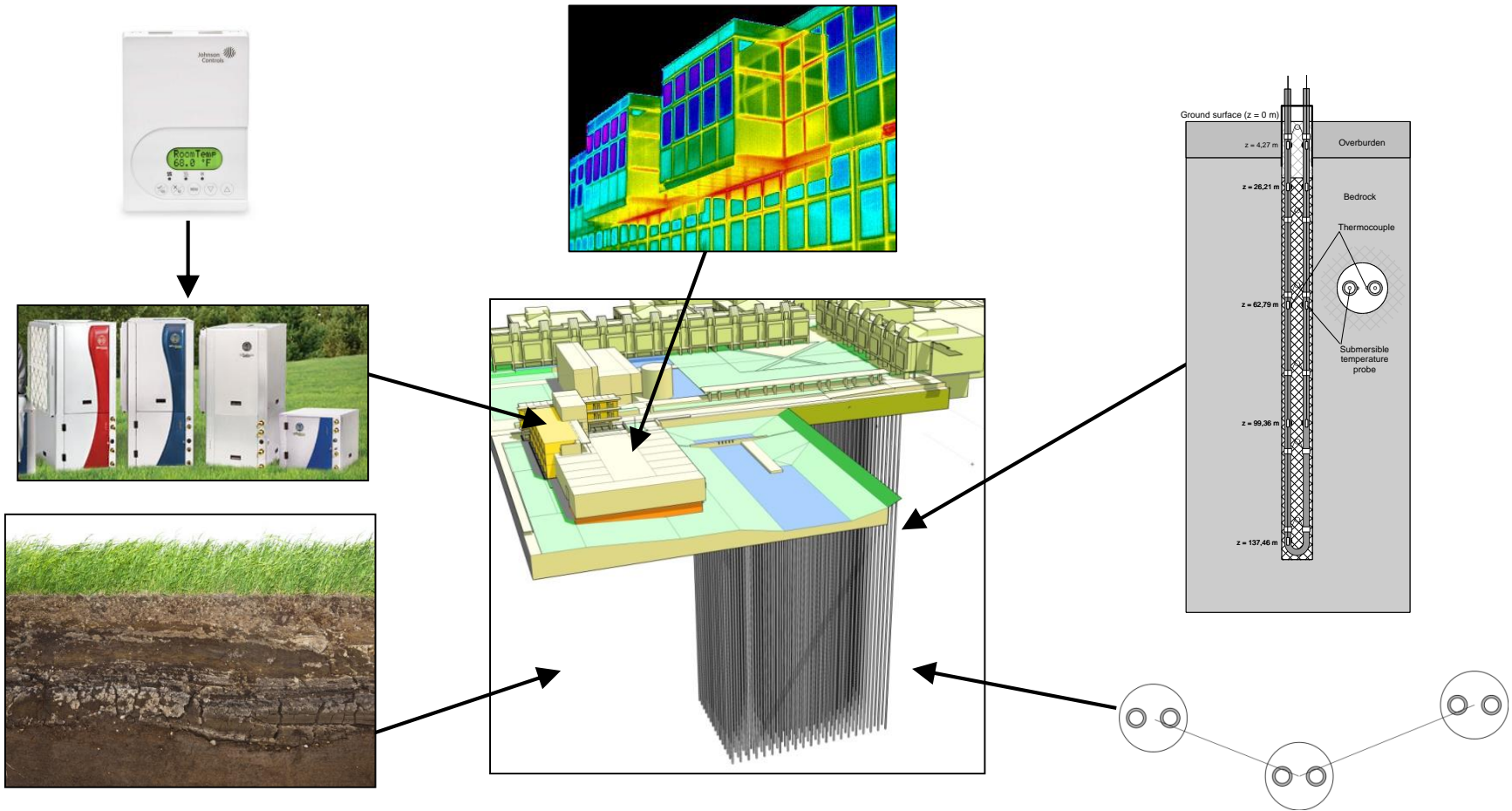


**POLYTECHNIQUE
MONTRÉAL**

LE GÉNIE
EN PREMIÈRE CLASSE

LES SYSTÈMES GÉOTHERMIQUES

Les systèmes géothermiques sont des systèmes complexes qui permettent des économies d'énergie de chauffage et de climatisation importantes.



<http://www.waterfurnace.com/geothermal-heat-pumps.aspx> , www.infraredvision.co.uk/buildings/
www.archiexpo.com/prod/siemens-building-technologies/temperature-detectors-728-1108419.html

Marc Rosen, The Canadian Strategic Research Network on Ground-Source Heat Pumps, 3rd National GeoExchange Business & Policy Forum, Toronto, 2008.

Introduction

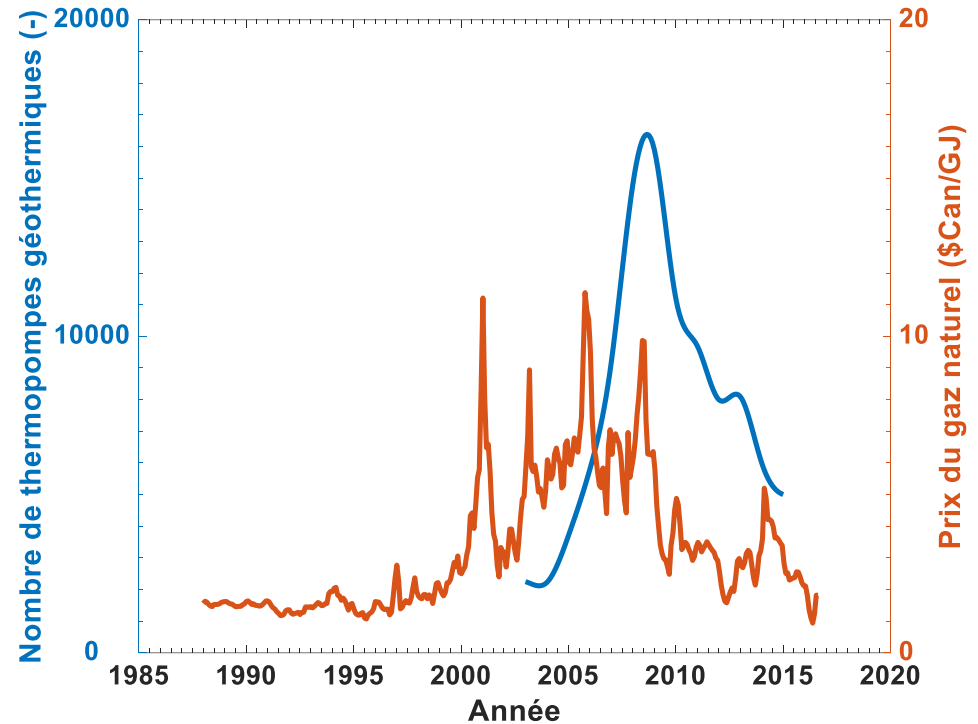
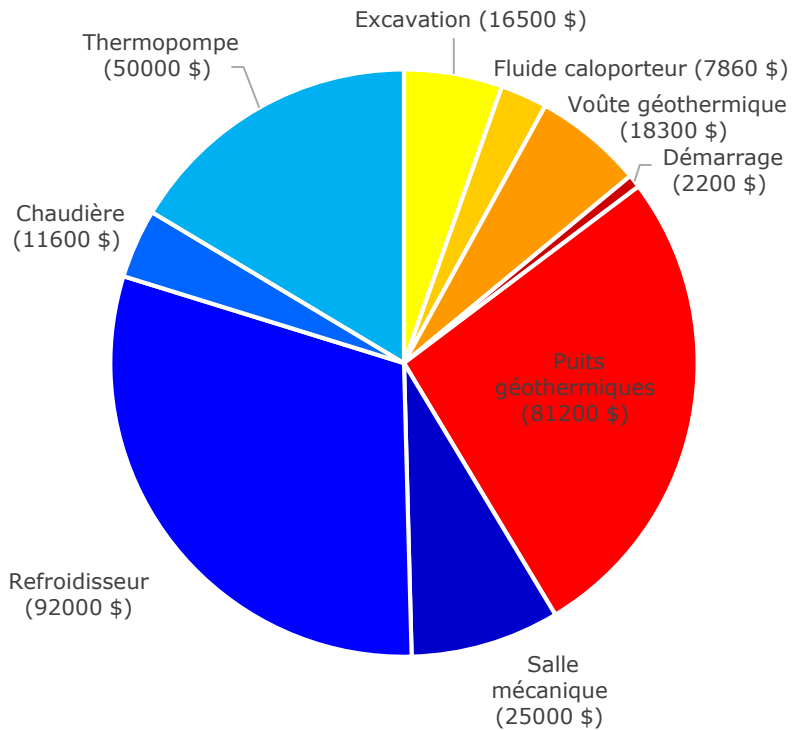
Unité de
géothermie

Programme de
recherche

Mot de la fin

LES SYSTÈMES GÉOTHERMIQUES

Une technologie prometteuse qui peine à s'implanter commercialement.



Hénault, B., Pasquier, P., Kummert, M., 2016. Financial optimization and design of hybrid ground-coupled heat pump systems. ATE, 93, 72-82.
Tanguay, D., 2014. La contribution de la géothermie basse température et autres technologies connexes dans la gestion de l'offre et de la demande.

Introduction

Unité de géothermie

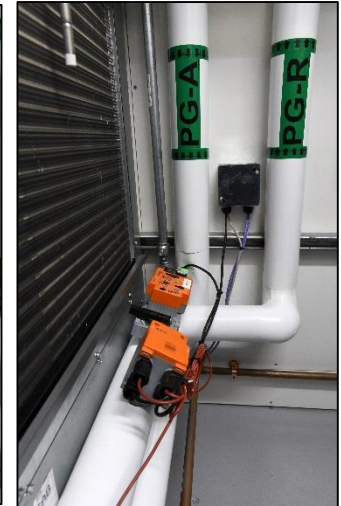
Programme de recherche

Mot de la fin

UNITÉ DE RECHERCHE EN GÉOTHERMIE

L'unité de recherche en géothermie est conçue pour:

- Reproduire l'impact d'un bâtiment relié à un échangeur géothermique de type :
 - boucle fermée verticale ou horizontale
 - boucle ouverte (puits de pompage et de réinjection)
 - puits à colonne
 - immergé dans un plan d'eau
- Réaliser des essais de réponse thermique à haute puissance
- Mesurer et enregistrer les paramètres d'opération du système
- Traiter l'eau souterraine des systèmes ouverts

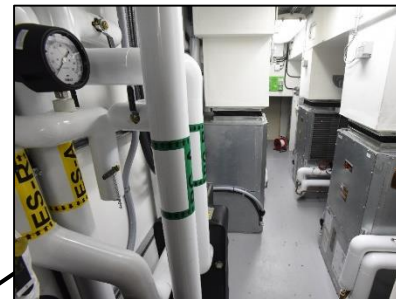


UNITÉ DE RECHERCHE EN GÉOTHERMIE

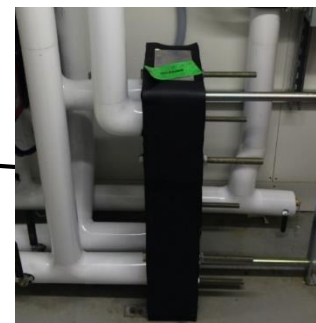
Système de contrôle et d'acquisition



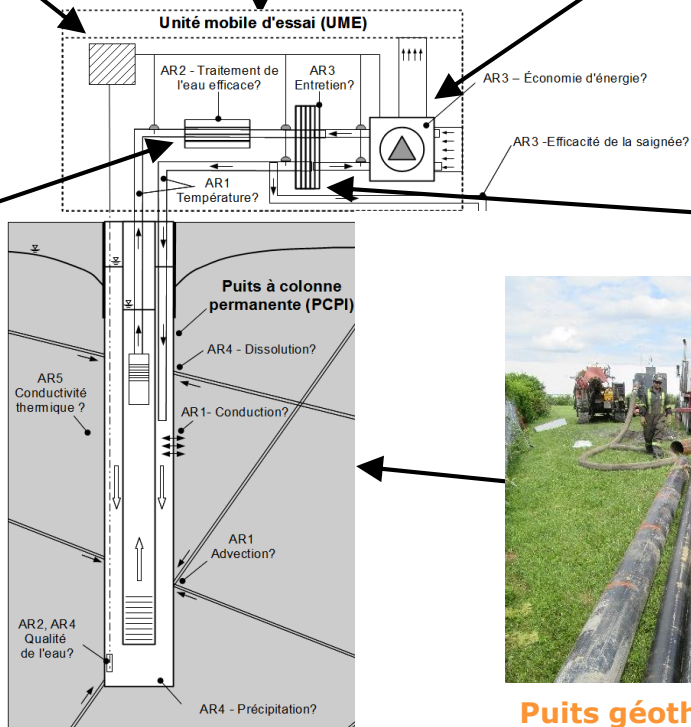
Thermopompes



Échangeur de chaleur



Système de traitement



Puits géothermique

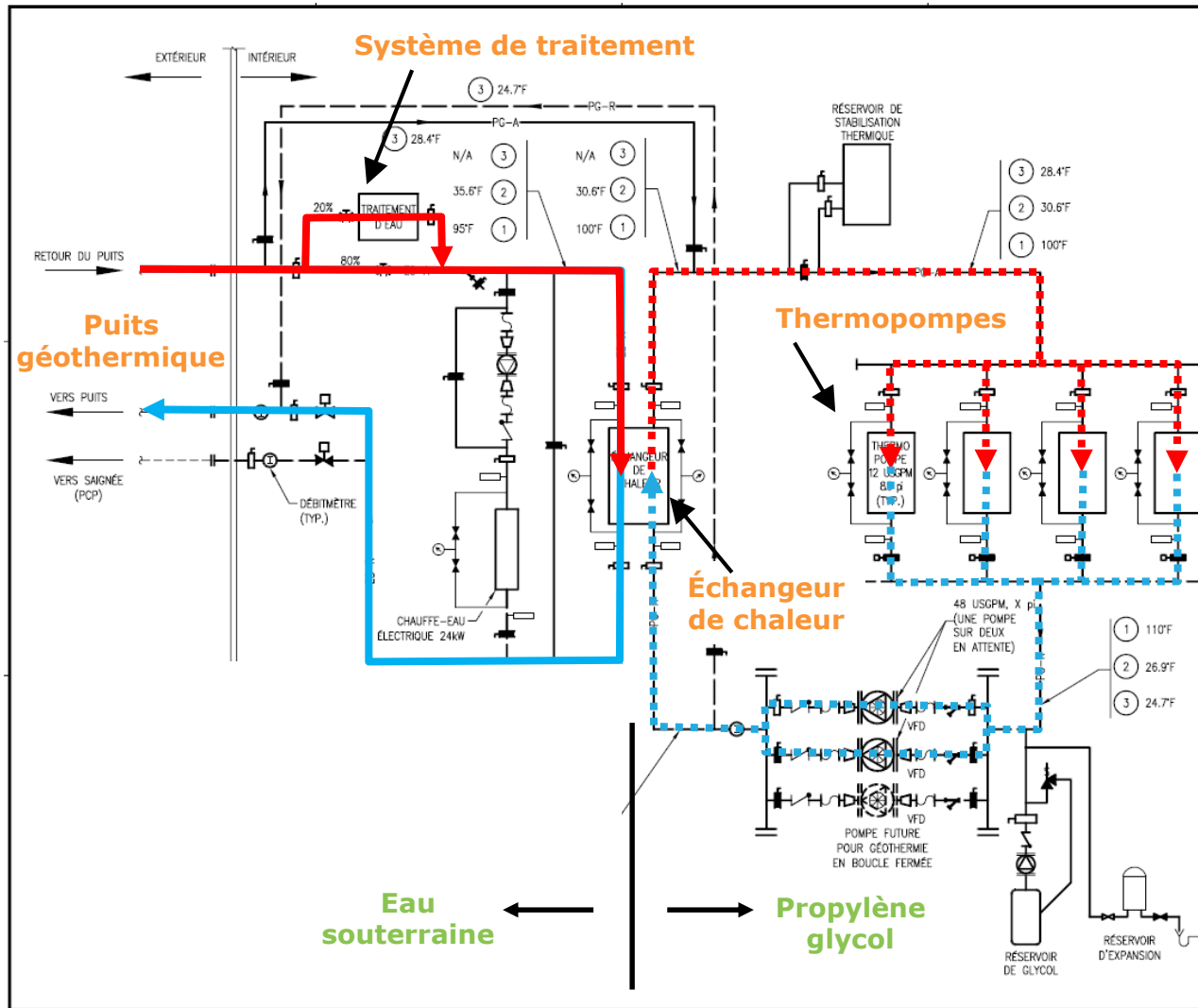
Introduction

Unité de géothermie

Programme de recherche

Mot de la fin

UNITÉ - RÉSEAU HYDRAULIQUE



9025, rue Verreille
Montréal (Québec) H3L 5E1
(514) 285-8747
(514) 395-9760 (b.c.)
www.bpa.ca



mécanique | électricité | immobilier | télécommunications

POLYTECHNIQUE
MONTREAL



LE GÉNIE
EN PREMIÈRE CLASSE

CES DOCUMENTS NE DOIVENT PAS ÊTRE UTILISÉS À
DES FINS DE CONSTRUCTION.

NO	DATE	RÉVISION	PAR	DIQ
B	2014-11-04	POUR COMMENTAIRES	S.L.	
A	2014-10-30	POUR COMMENTAIRES	S.L.	

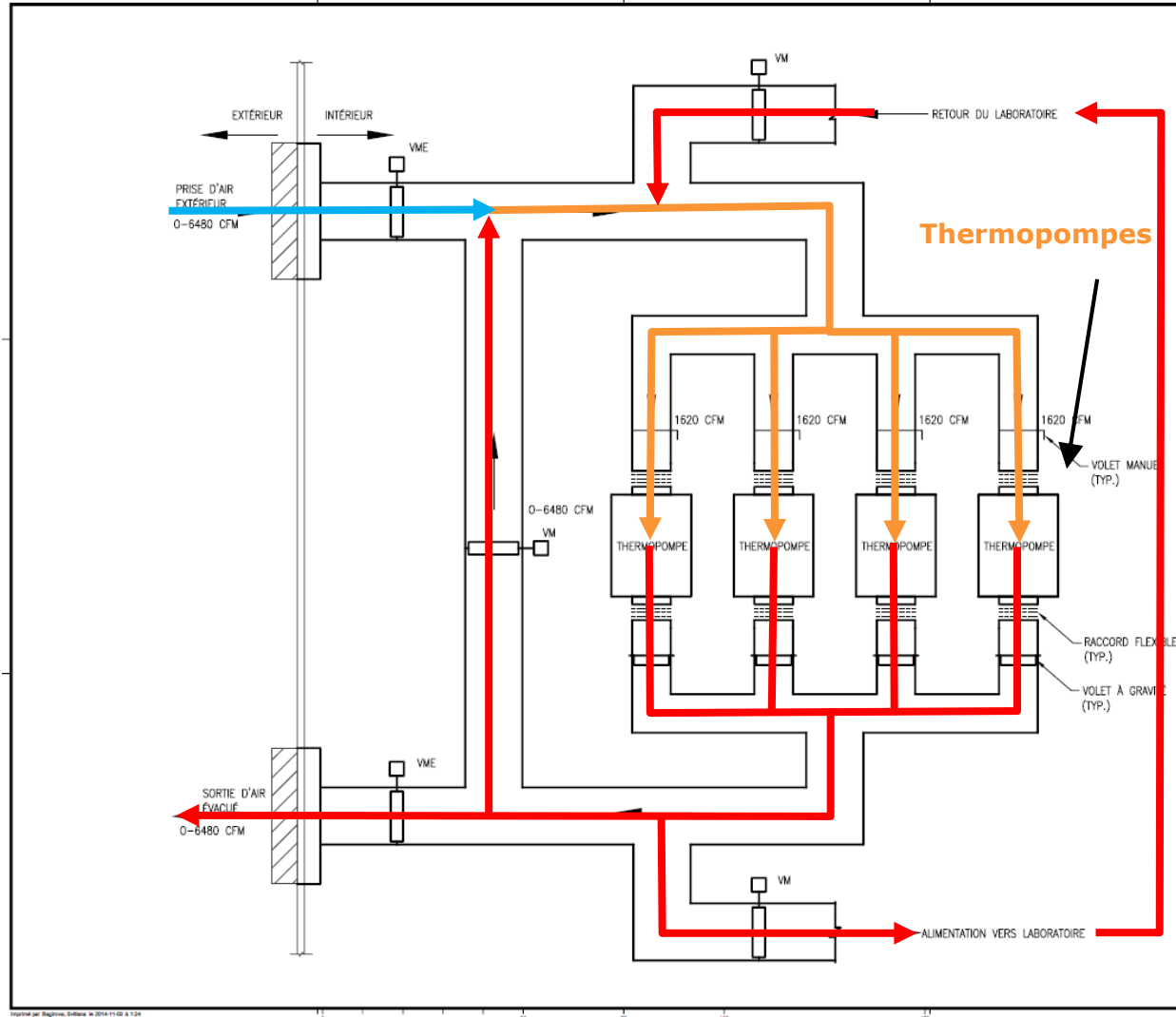
PROJET
POLYTECHNIQUE MONTREAL
LABORATOIRE MOBILE DE GÉOTHERMIE
CHERCHEURS: PHILIPPE PASQUIER
BENOÎT COURCELLES

TITRE DU DESSIN
MÉCANIQUE
GÉNÉRAL
DIAGRAMME HYDRAULIQUE

DESSIN	CONCEPTION	VÉRIFICATION
S. BAGIROVA	S. LAVOIE	J. LAGACÉ
PROJET BPA NO 2014-167-103	DESSIN NO	
ECHELLE AUCUNE	M-101	



UNITÉ – RÉSEAU AÉRAULIQUE



89125, rue Verjille
Montréal (Québec) H5L 5E1
(514) 505-5747
(514) 505-8760 (b.a.c.)
www.bp4.ca

**bouthillette
parizeau**

mécanique | électricité | immobilier | télécommunications

**POLYTECHNIQUE
MONTRÉAL**

LE GÉNIE
EN PREMIÈRE CLASSE

CES DOCUMENTS NE DOIVENT PAS ÊTRE UTILISÉS À
DES FINS DE CONSTRUCTION.

NO	DATE	RÉVISION	PAR	OBJ
B	2014-11-04	POUR COMMENTAIRES	S.L.	
A	2014-10-30	POUR COMMENTAIRES	S.L.	

PROJET

**POLYTECHNIQUE MONTRÉAL
LABORATOIRE MOBILE DE GÉOTHERMIE**
CHERCHEURS: PHILIPPE PASQUIER
BENOÎT COURCELLES

TITRE DU DESSIN

**MÉCANIQUE
GÉNÉRAL
DIAGRAMME AÉRAULIQUE**

DESSIN	CONCEPTION	VÉRIFICATION
S. BAGIROVA	S. LAVOIE	J. LAGACÉ

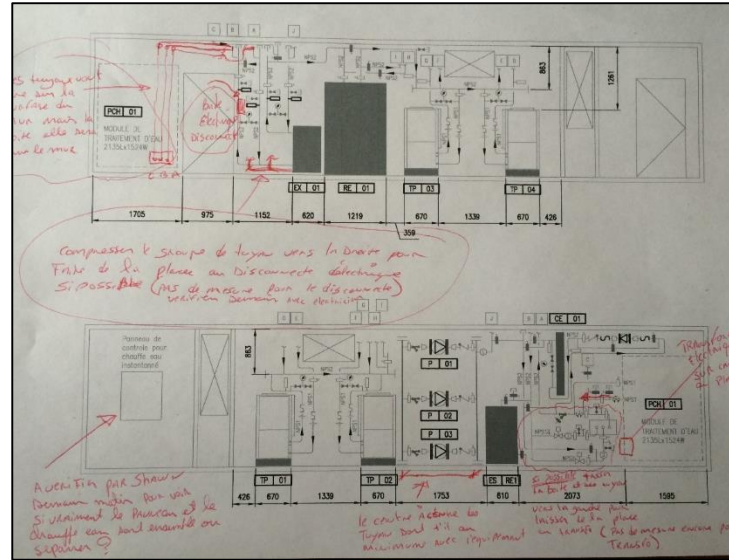
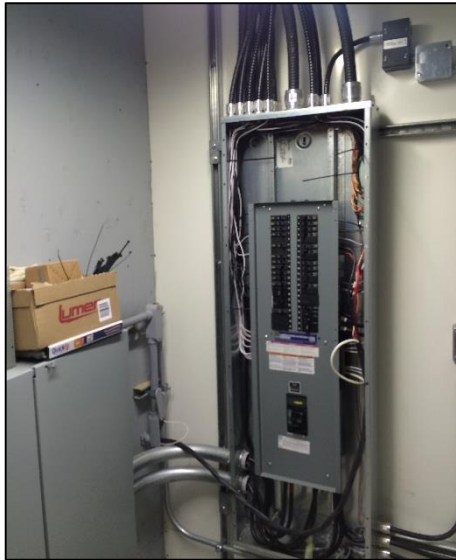
PROJET EPA NO: 2014-167-103

DESSIN NO:

ÉCHELLE: AUCUNE

M-100

UNITÉ - CONSTRUCTION



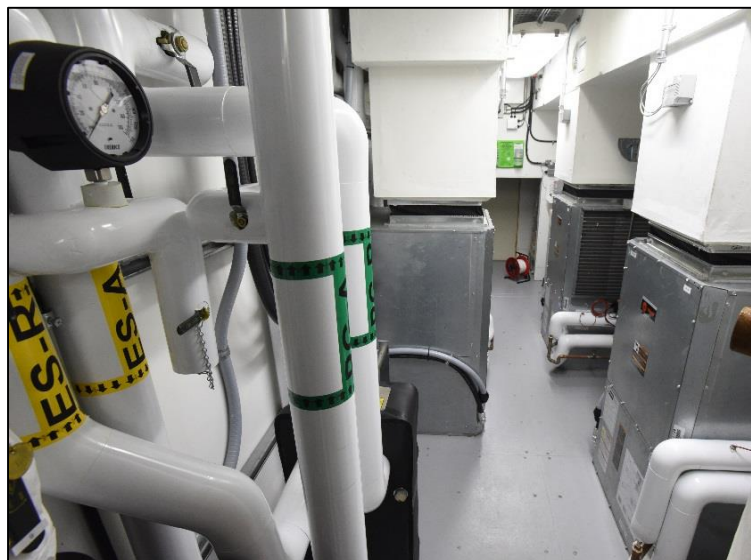
Introduction

Unité de géothermie

Programme de recherche

Mot de la fin

UNITÉ – SALLE MÉCANIQUE



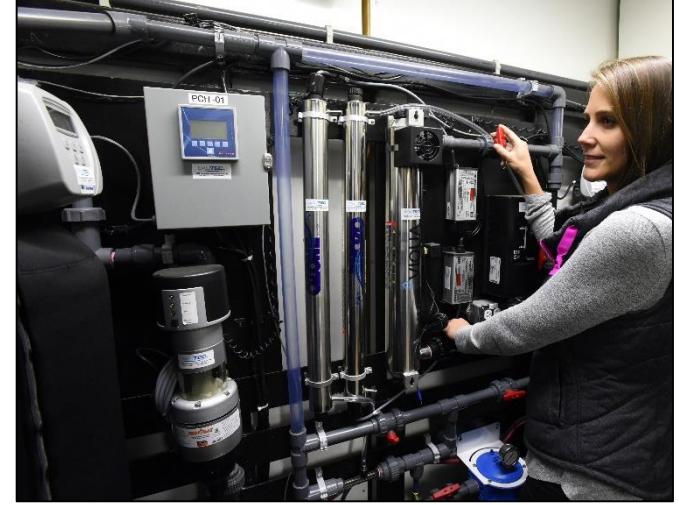
Introduction

Unité de géothermie

Programme de recherche

Mot de la fin

UNITÉ – SYSTÈME DE TRAITEMENT ET CONTRÔLE



Introduction

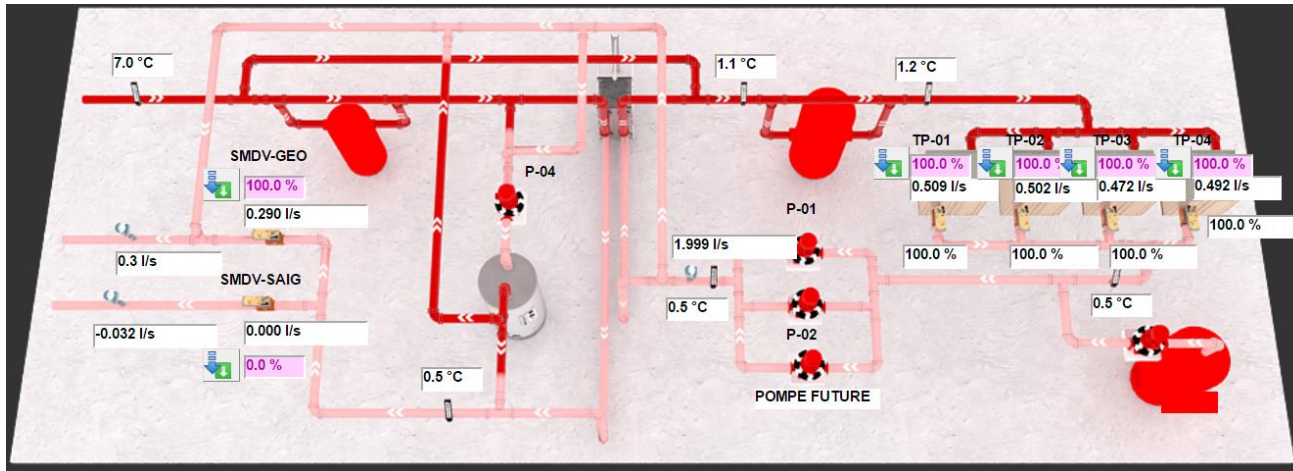
Unité de
géothermie

Programme de
recherche

Mot de la fin

UNITÉ – ACCÈS À DISTANCE

Un système de contrôle et d'acquisition de données permet de modifier à distance l'opération des équipements.



A detailed view of the heat exchanger units. The top left shows 'EAU HYDRAULIQUE' with Stage #1 and Stage #2 controls. The top right shows 'Conditions extérieures' with external temperature (22.3 °C) and humidity (36.7 %). The middle left shows a unit with a fan and coils, with temperature and humidity readings. The middle right shows a unit with a fan and coils, with temperature and humidity readings. The bottom left shows a unit with a fan and coils, with temperature and humidity readings. The bottom right shows a unit with a fan and coils, with temperature and humidity readings. Control panels for TP-03 and TP-04 are shown in the center, with Mode: Chauffage, Commande: Marche, Ampérage, and Priorité.

PUITS À COLONNE ET PUIITS D'INJECTION



Introduction

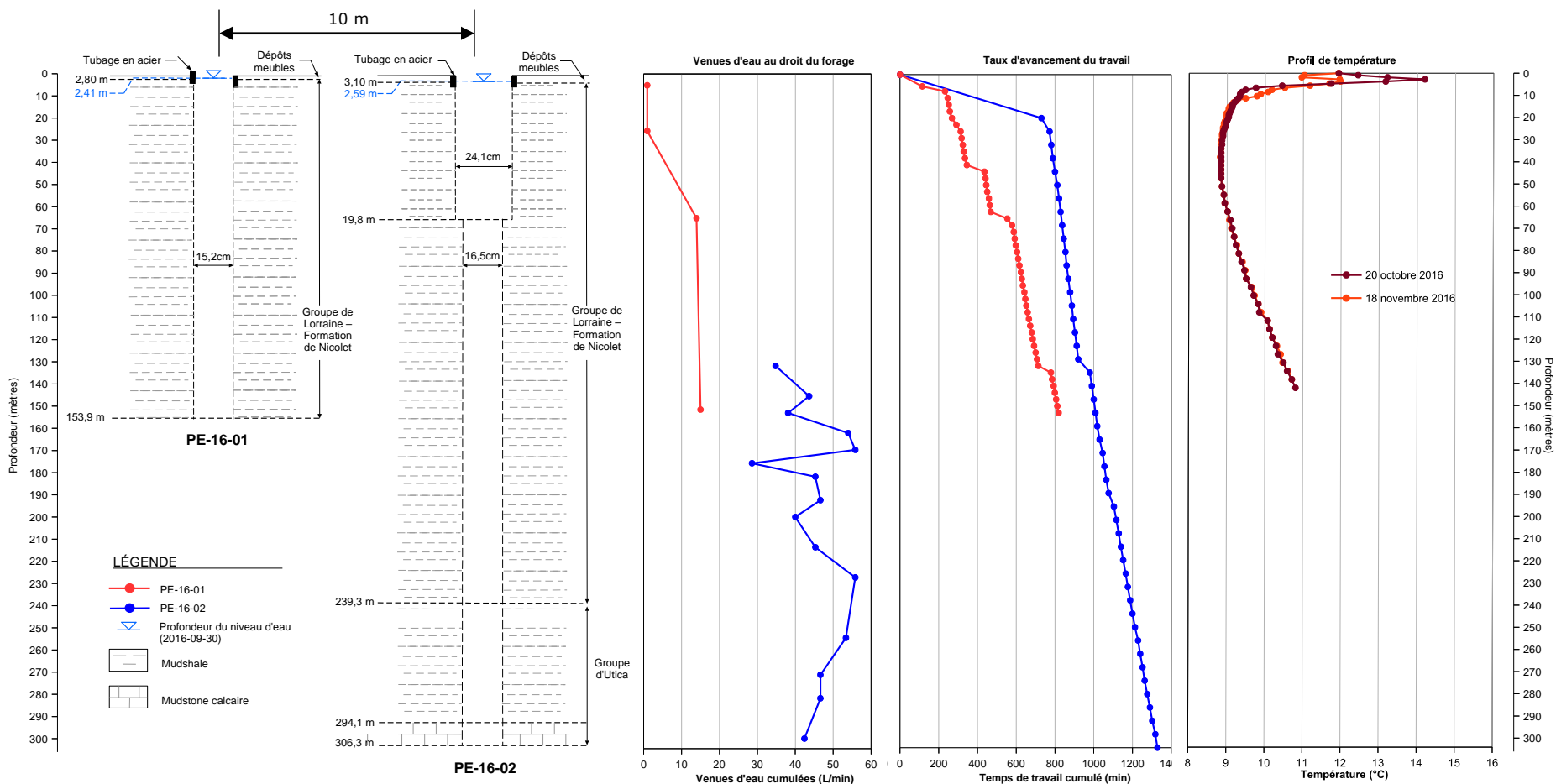
Unité de
géothermie

Programme de
recherche

Mot de la fin

PUITS À COLONNE ET Puits D'INJECTION

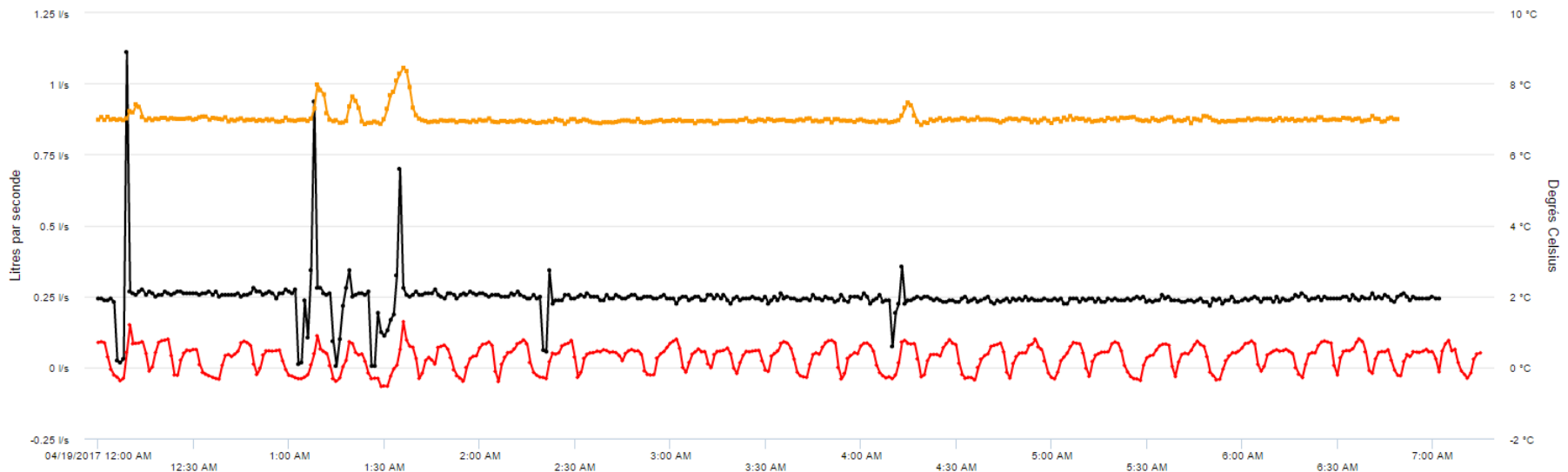
L'unité est installée sur les terrains de CanmetÉnergie à Varennes et reliée à un puits à colonne (PE-16-02 : 300 m) et à son puits d'injection (PE-16-01 : 150 m).



UNITÉ – PRINCIPAUX ÉQUIPEMENTS

Les principaux équipements de l'unité de géothermie comprennent :

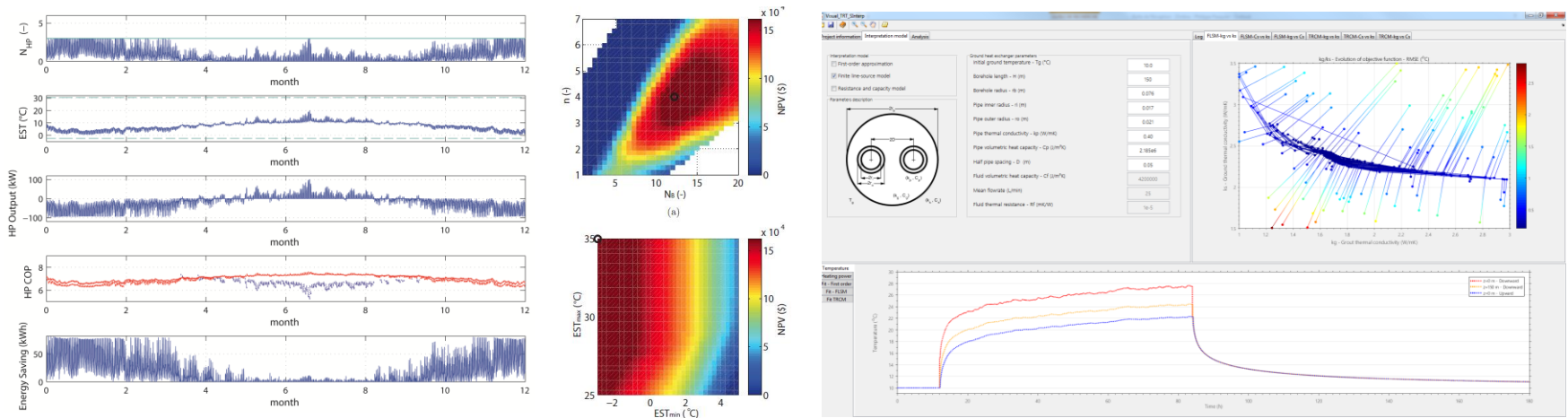
- 4 thermopompes de 14 kW
- 2 pompes de circulation
- 1 réservoir de 3000 litres de propylène glycol
- 1 échangeur de chaleur à plaque
- 1 chauffe-eau de 24 000 Watts
- 1 système de contrôle et d'acquisition de données
- 1 système de traitement de l'eau souterraine
- 1 puits à colonne de 300 m avec 1 pompe submersible
- 1 puits d'injection de 150 m



PROGRAMME DE RECHERCHE

Un important programme de recherche expérimentale est prévu avec l'unité de géothermie. À long terme, l'unité permettra de :

- valider et d'améliorer des logiciels de conception
- valider des logiciels d'interprétation d'essais de réponse thermique
- quantifier le potentiel des échangeurs de chaleur immergés dans le St-Laurent
- mesurer la température de systèmes horizontaux

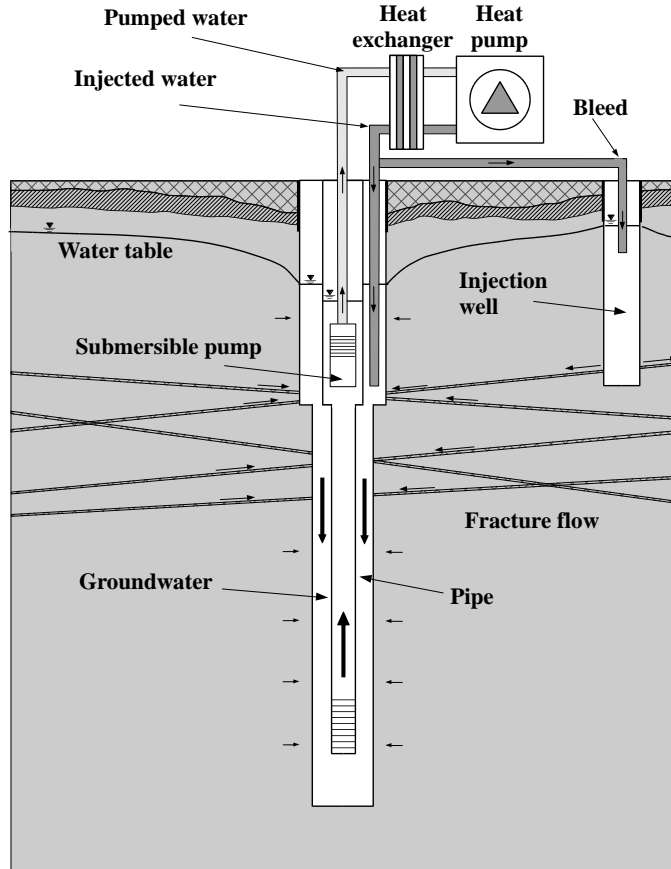


À court terme, les activités de recherche se concentreront sur les puits à colonne permanente (PCP).

Source:
Pasquier, P., 2015. Stochastic interpretation of thermal response test with TRT-SInterp. Computers & Geosciences 75, 73–87.
Pasquier, P., Marcotte, D., 2014. Joint use of quasi-3D response model and spectral method to simulate borehole heat exchanger. Geothermics 51, 281–299.
Pasquier, P., Marcotte, D., Bernier, M., Kummert, M., 2013. Simulation of Ground-Coupled Heat Pump Systems Using a Spectral Approach. Proceedings of BS2013. France, pp. 2691–2698.

LES PUITES À COLONNE PERMANENTE

Les puits à colonne permanente (PCP) sont apparus aux États-Unis à la fin des années 1980.



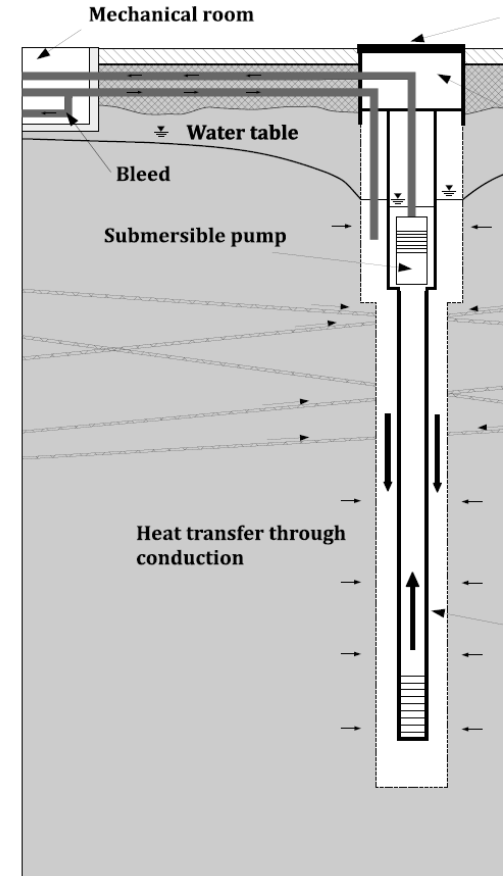
- Un PCP est un puits de 75 à 450 m de profondeur.
- L'eau est pompée à la base du puits et réinjectée à son sommet.
- En pointe, le puits est *saigné*, ce qui favorise un apport d'eau souterraine.
- L'efficacité thermique d'un PCP est environ trois fois celle d'un puits en boucle fermée.
- La construction d'un champ de PCP est 2 à 5 fois moins coûteuse que pour les puits en boucle fermée.

LES PUITTS À COLONNE PERMANENTE

Selon Carl Orio (Comm. Pers., 2015), 30 000 installations de PCP ont été réalisées dans le nord-est des États-Unis.

Des mesures effectuées sur des systèmes en opération ont montré que:

- Six PCP de 455 m pouvaient générer des économies d'énergie de 686 820 kWh/an pendant neuf ans pour un système de 200 tonnes (Orio et al, 2006): **33 tonnes/puits !**
- Des économies similaires sur un système de 615 tonnes de 16 PCP et 326 pompes à chaleur (Orio et Patnaude, 2014) : **38 tonnes/puits !**



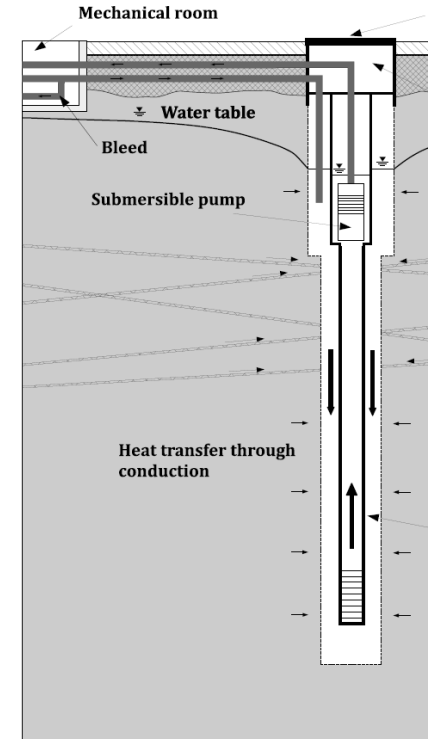
Source:

Orio, C.D., Johnson, C.N., Poor, K.D., 2006. Geothermal standing column wells: ten years in a New England school. ASHRAE Transactions 112 (2), 57-64.

Orio, C.D., Patnaude, Z.J., 2014. Eight Years of Operation of 615 Ton Geothermal Nursing Home in Northern Tier. ASHRAE Transactions 120.

LES PUITTS À COLONNE PERMANENTE

Le réel potentiel des PCP réside dans leur capacité à être intégré aux bâtiments déjà construits dans les zones urbaines denses.



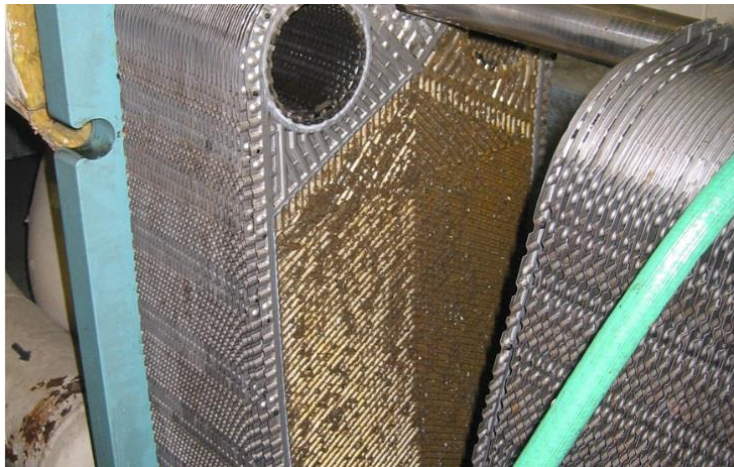
Un système bien conçu ne laisse apparaître qu'une boîte de service sur les lieux publics.

Source: <http://www.litchfieldgeothermal.com/>
Pasquier, P., Nguyen, A., Eppner, F., Marcotte, D., Baudron, P., 2016. Standing column wells. In : Rees, S. ed. Advances in Ground-Source Heat Pump Systems. Elsevier.

LES PUITTS À COLONNE PERMANENTE – LES DÉFIS À RELEVER

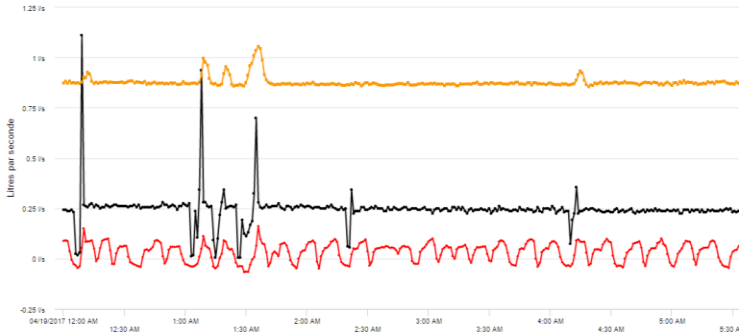
Malgré leur potentiel élevé, les PCP sont peu utilisés au Canada. Plusieurs raisons peuvent expliquer ce manque apparent d'intérêt par les praticiens:

- l'absence d'outils de conception validés expérimentalement;
- l'absence de projets de démonstration et d'expertise à l'extérieur des États-Unis;
- des stratégies de contrôle peu adaptées à l'opération de PCP en climat nordique;
- les risques géochimiques inhérents à l'utilisation de l'eau souterraine en milieu carbonaté et les risques environnementaux.



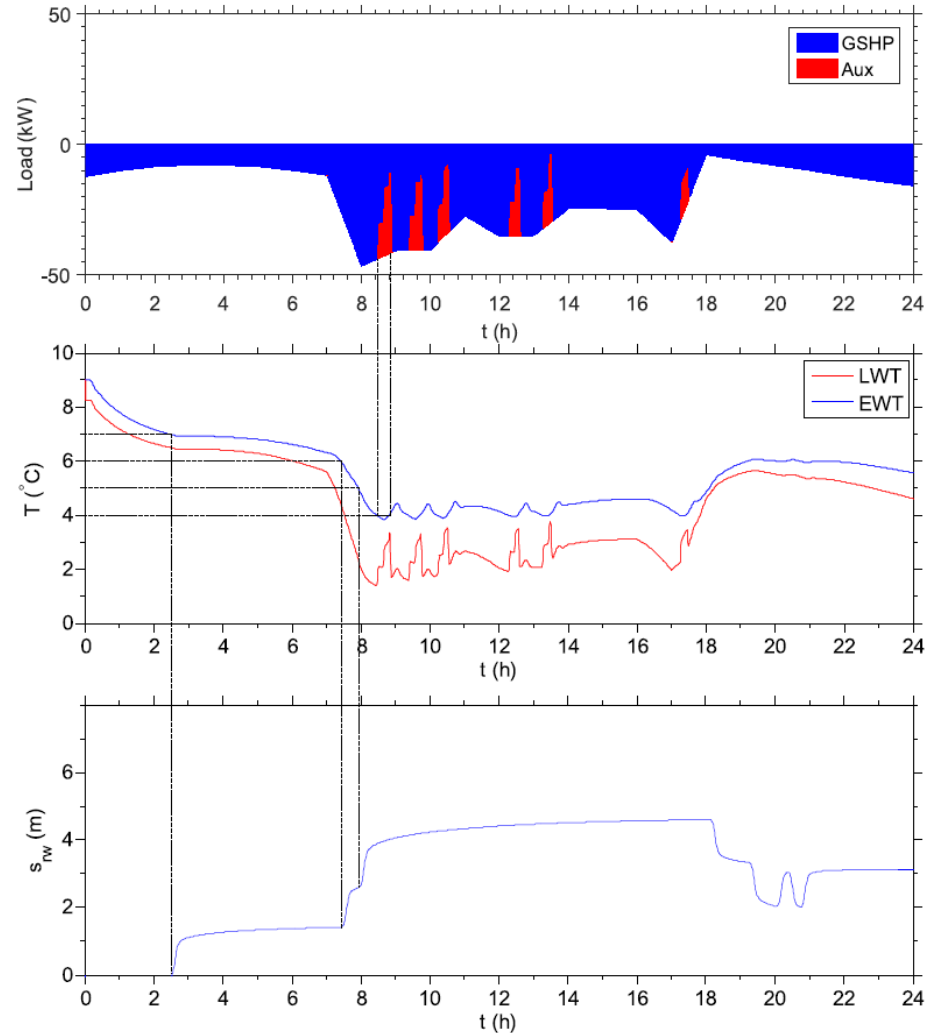
PROGRAMME DE RECHERCHE – VALIDATION DE MODÈLE TH

La simulation d'un PCP doit coupler le transfert de chaleur et l'écoulement de l'eau.



?

||

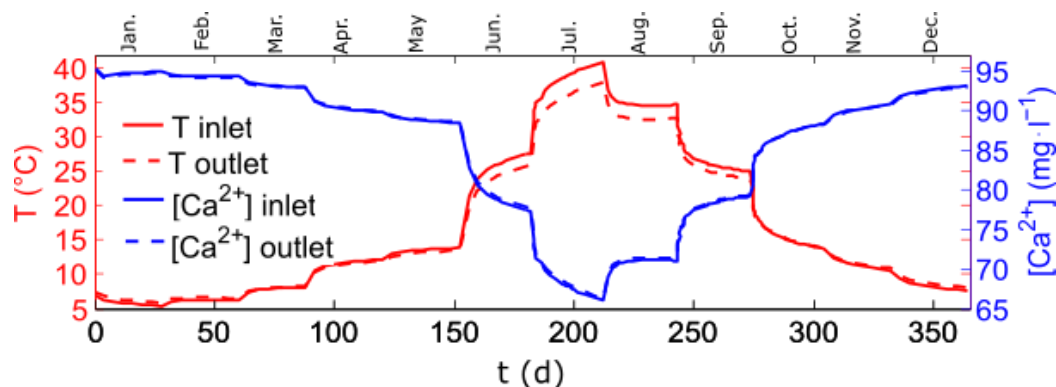


Source:

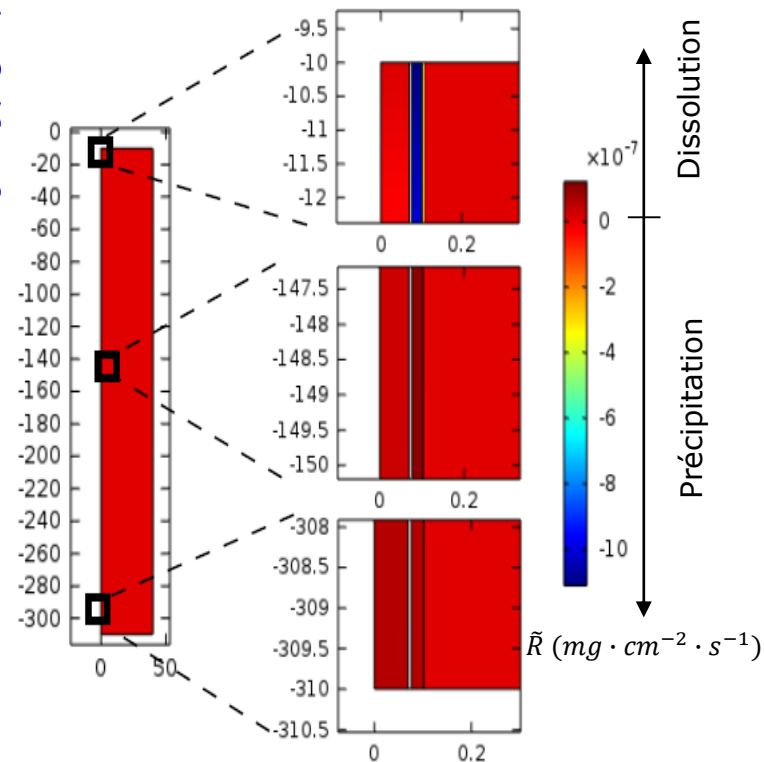
Pasquier, P., Nguyen, A., Eppner, F., Marcotte, D., Baudron, P., 2016. Standing column wells. In : Rees, S. ed. Advances in Ground-Source Heat Pump Systems. Elsevier.
Nguyen, A., Pasquier, P., Marcotte, D., 2015. Thermal resistance and capacity model for standing column wells operating under a bleed control. Renewable Energy 76, 743–756.
Nguyen, A., Pasquier, P., 2015. An adaptive segmentation Haar wavelet method for solving thermal resistance and capacity models of ground heat exchangers. ATE, 89, 70–79.

PROGRAMME DE RECHERCHE – VALIDATION DE MODÈLE THG

Les réactions chimiques sont sensibles aux changements de température. F. Eppner a développé un modèle THG couplant 9 réactions chimiques et 9 espèces en solution.



|| ?



Source: F Eppner, P Pasquier, P Baudron, 2017, [Investigation of thermo-hydro-geochemical processes in a standing column well intersected by a fracture](#). International Ground Source Heat Pump Association Conference, Denver, Colorado.

Introduction

Unité de géothermie

Programme de recherche

Mot de la fin

UN PROGRAMME DE RECHERCHE SUR LES PCP

Un programme recherche visant l'étude, la conception et la réduction des coûts de construction et d'opération des PCP a débuté en 2010 et se poursuivra jusqu'en 2020.

Les quatre premiers projets réalisés avec l'unité sont financés par l'IET:

1. Stratégie de traitement de l'eau souterraine (B. Courcelles et P. Pasquier)
2. Validation expérimentale d'un modèle TH (P. Pasquier et D. Marcotte)
3. Contrôle prédictif de PCP en milieu froid (M. Kummert et P. Pasquier)
4. Validation expérimentale d'un modèle THG (P. Baudron et F. Barbecot)



MOT DE LA FIN

Une salle mécanique mobile conçue pour étudier les puits géothermiques en conditions réelles d'opération.

À long terme, les activités de recherche de l'unité visent à:

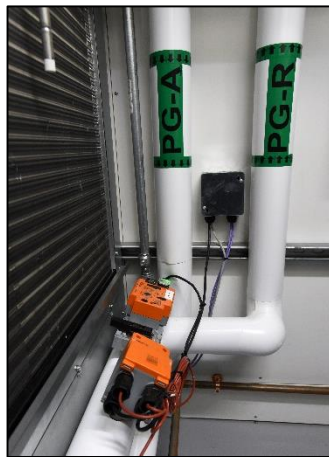
- réduire l'incertitude associée à la conception
- diminuer les coûts de conception, de construction et d'opération
- développer une expertise locale via la formation de spécialistes
- favoriser les échanges et fédérer la recherche autour d'une infrastructure unique



www.proment.com/fr/vistal/

Pasquier, P. Cours MEC6216 – Géothermie et applications. Polytechnique Montréal.

MOT DE LA FIN



IET INSTITUT
DE L'ÉNERGIE
TROTTIER

UNITÉ DE GÉOTHERMIE

POLYTECHNIQUE
MONTRÉAL 

INNOVATION.CA
CANADA FOUNDATION
FOR INNOVATION | FONDATION CANADIENNE
POUR L'INNOVATION

Canada

BELIMO

 bouthillette
parizeau

 **TRANE**

Québec 

 **MécánicoAction**

EAUTEC



Introduction

Unité de
géothermie

Programme de
recherche

Mot de la fin

POLYTECHNIQUE
MONTRÉAL

