

La géothermie : l'avenir de la Guadeloupe

Encadrement : **Jérôme CAFAFÀ (SVT)** **Laurent ROUQUIER (Physique Chimie)**



RESUME

Nous avons réalisé un projet d'étude sur la géothermie avec des élèves de l'école alternative « Le Mirail » à Montréal au Québec (Canada). Au cours de nos échanges, nous avons pu constater que nos utilisations de la géothermie dans nos régions respectives, n'étaient pas du tout les mêmes. Nous l'utilisons pour produire de l'électricité, eux pour le chauffage. Pourrions-nous utiliser leur technique pour, en plus de la production d'électricité, utiliser aussi la géothermie...pour climatiser nos maisons ?



En visioconférence avec nos camarades Canadiens

Introduction

Bien que la Terre ne soit pas une étoile, elle est pourtant une planète « vivante » qui libère de l'énergie. En effet, à l'intérieur du manteau, on trouve des éléments radioactifs qui libèrent en permanence de l'énergie sous forme de chaleur. Cette chaleur interne chauffe les couches superficielles du globe : Cette énergie peut alors être utilisée par l'Homme, c'est la **géothermie**. Non polluante et totalement durable, la géothermie pourrait s'avérer pour nous, un véritable pilier de la transition énergétique.

Nous avons travaillé avec des élèves du Québec, afin de comparer les utilisations de la géothermie dans nos régions respectives. Ces échanges enrichissants nous ont emmené à nous poser la question suivante :

Quelles utilisations de la géothermie pouvons-nous faire en Guadeloupe pour limiter notre consommation en énergies fossiles?

Partie 1 : A la recherche d'indice de la chaleur de la Terre

Les eaux s'infiltrent dans les roches de la croûte terrestre. Elles en ressortent au niveau des sources. Nous nous sommes rendus sur le terrain, pour effectuer des mesures et faire des prélèvements au niveau de deux sources, en Guadeloupe.

A- La source de Poucet, au gosier, près de notre collège

Nous nous sommes d'abord rendus à la source de Poucet, située au Gosier, en Grande-Terre, en compagnie d'Yves MAZABRAUD, géologue et professeur à l'Université des Antilles.



Sur le terrain en compagnie d'Yves MAZABRAUD qui nous livre des explications sur la roche observée

La roche observée au niveau de cette source et une roche blanche, qui fait effervescence à l'acide chlorhydrique : c'est du **calcaire**.



Test à l'acide chlorhydrique sur un échantillon récolté sur place : effervescence



Méyann mesure la température de la source

La température de l'eau au niveau de la source était de 27°C, soit légèrement inférieure à la température de l'air ambiant.

B- La source des bains Thomas

La source des bains Thomas se situe sur la commune de Bouillante, en Basse-Terre. Les roches observées sur le terrain sont des roches volcaniques.



Les bains Thomas, commune de Bouillante



Test à l'acide sur un échantillon récolté sur place : pas d'effervescence

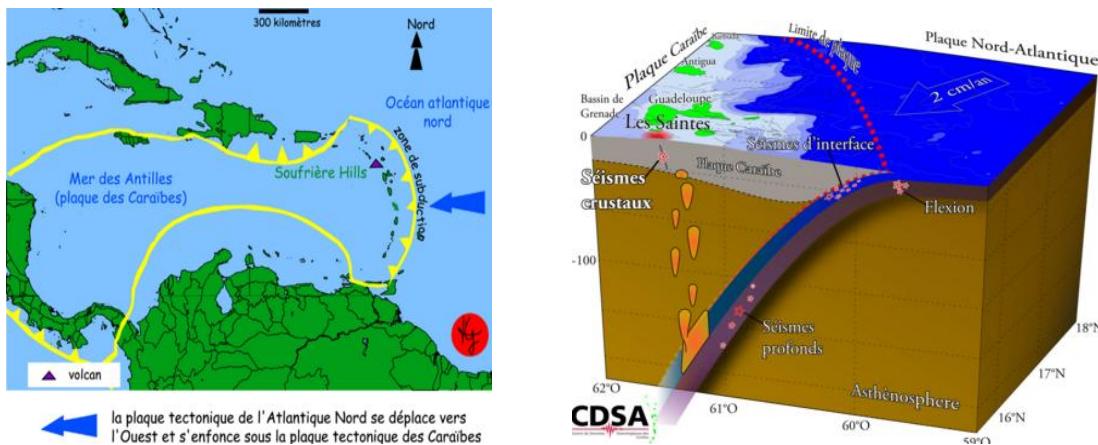


Nous mesurons la température sous les roches, juste au niveau de la sortie de la source

Nous avons pu mesurer une température cette fois-ci, de 76°C, soit très supérieure à la température de l'air ambiant ! **Comment expliquer une telle différence ?**

C- Le contexte géologique

Les îles caribéennes ont été édifiées par le frottement constant des plaques géologiques. La plaque Nord-Américaine s'enfonce sous la plaque Caraïbe, c'est la **subduction**.



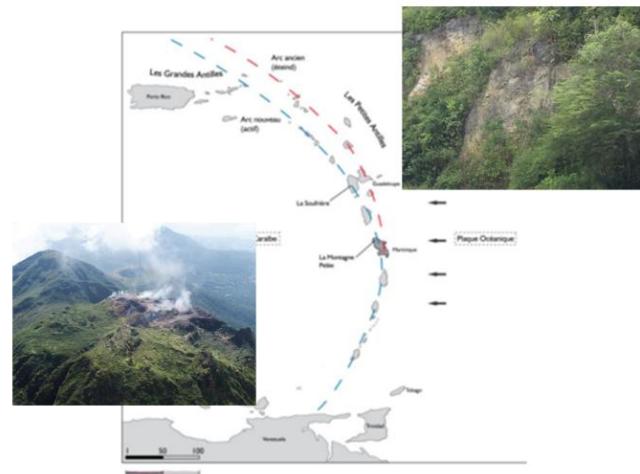
La zone de subduction des Antilles (images archives de Vicki et CDSA)

Cela crée du magma qui remonte à la surface et permet l'apparition de volcans, qui, lorsqu'ils deviennent suffisamment hauts sortent de l'eau et donnent ainsi nos îles.

Il y a eu premièrement l'apparition de nos premières îles qui forment **l'arc ancien**. Au cours du temps, l'axe des remontées magmatiques s'est déplacé et a créé de nouvelles îles qui forment **l'arc récent**.

Les îles de l'arc ancien ont été submergées et recouvertes par une plateforme calcaire, puis à cause de mouvements tectoniques, ces dernières sont remontées à la surface. C'est pourquoi l'arc ancien est composé d'îles dont la surface est calcaire, comme la Grande-Terre, Antigua, Saint-Martin etc...

Nous avons ensuite l'arc récent qui est composé d'îles avec des volcans toujours actifs comme la Basse-Terre, la Dominique ou Montserrat dont le volcan était en éruption encore récemment.



Les deux arcs volcaniques des Petites Antilles (image Atlas des paysages de Martinique modifiée)

L'axe de l'arc récent est fracturé et permet l'infiltration d'eau en profondeurs, ce qui produit des réservoirs de fluide géothermal.



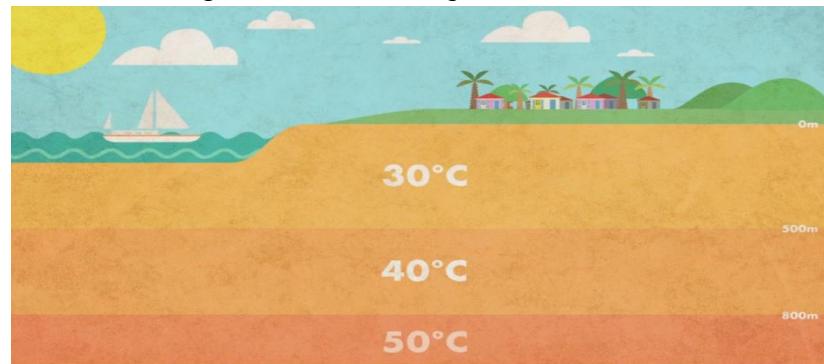
Le système de faille de l'arc récent (image Géothermie Caraïbe 2)



Des fractures qui permettent à l'eau de s'infilttrer en profondeur, et au fluide géothermal de remonter.

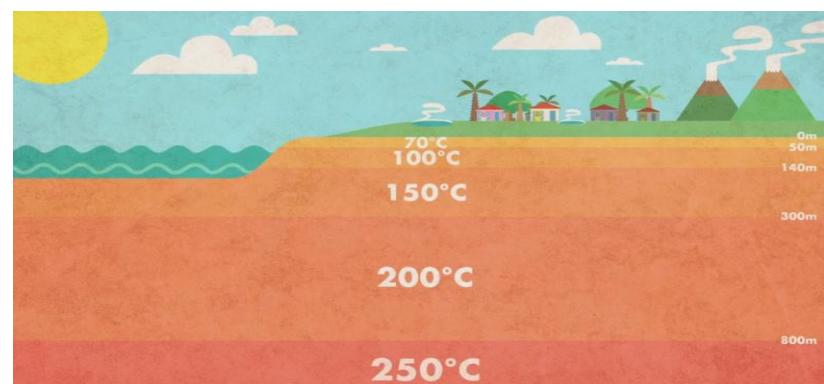
Plus on s'enfonce dans le sous-sol, plus la température augmente : c'est le **gradient géothermique**.

En Grande-Terre, on observe un gradient géothermique normal, c'est-à-dire que la température augmente de 15 à 45°C par kilomètre, lorsqu'on s'enfonce dans le sous-sol.



Un gradient géothermique normal en Grande-Terre (image Géothermie Caraïbe 2)

Dans la zone de Bouillante, le gradient géothermique est beaucoup plus important : de 100°C à 200 °C par kilomètre.



Dans la zone de Bouillante, un gradient géothermique plus important (image Géothermie Caraïbe 2)

Bilan : La Guadeloupe est composée de deux îles principales dont l'âge et la nature géologique sont différents. Si le gradient géothermique de la Grande-Terre est normal, celui de la côte ouest de la Basse-Terre est beaucoup plus important à cause de remontés magmatiques récentes et d'infiltrations d'eau qui s'en rapprochent.

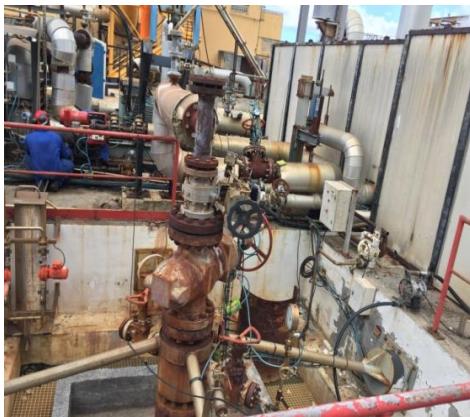
Partie 2 ; La géothermie au service de la production d'électricité en Guadeloupe : vers une autonomie énergétique.

Nous avons pu nous rendre à la Centrale Géothermique de Bouillante afin d'en savoir plus sur le principe de la géothermie ainsi que son fonctionnement.



Notre visite à la centrale géothermique de Bouillante

Tout d'abord, une centrale géothermique récupère de l'eau à très haute température contenue dans des réservoirs présents dans le sous-sol, grâce à un puits profond.



Le premier puits de forage Bouillante 1 (400m de profondeur, fluide à 245°C)

Ensuite, l'eau chaude, en remontant à la surface perd de sa pression et se transforme en vapeur.

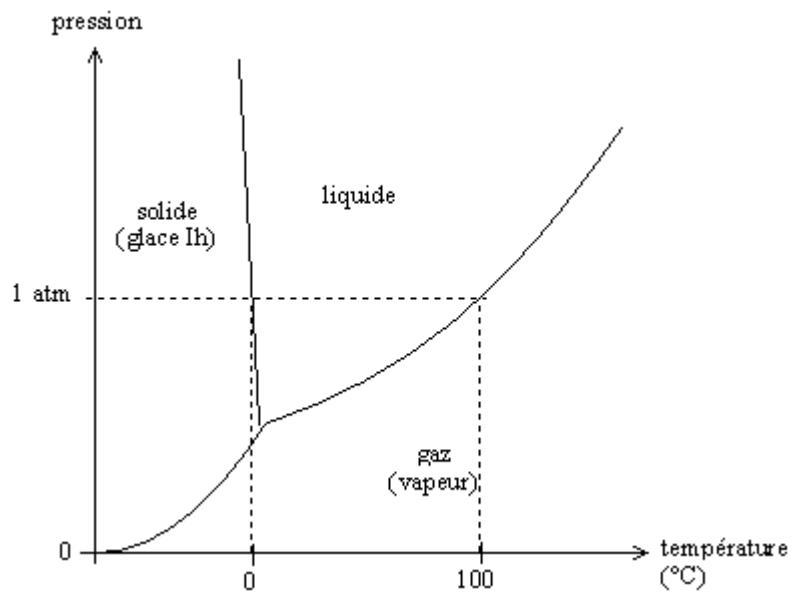


Diagramme pression température pour l'eau

A la sortie du puits, l'eau et la vapeur sont séparées. La vapeur va permettre de faire tourner une **turbine** qui, à son tour va faire tourner un **alternateur** et produire du **courant électrique**.

Ce courant électrique est ensuite dirigé vers un transformateur qui va éléver sa tension pour lui permettre de se déplacer facilement à travers des lignes à hautes tension du réseau d'électricité. La vapeur à basse pression (revenue à l'état liquide) est dirigée vers le condenseur où l'eau chaude va être refroidie par de l'eau puisée dans la mer. Lorsque l'eau aura passé le seuil des 45 degrés, elle sera rejetée à la mer.



La conduite qui emmène l'eau pompée dans la mer



Le bassin de refroidissement



Le rejet du mélange de l'eau géothermale et de l'eau de mer dans l'environnement ($T^{\circ} = 42.9^{\circ}\text{C}$)

Grâce au rachat de l'usine par le groupe américain Ormat (leader mondial dans le domaine de la géothermie) et les nouvelles technologies qui vont être utilisées, la centrale devrait considérablement augmenter sa production d'ici 2021. La quantité d'électricité produite aujourd'hui correspond à 4.8% de la consommation Guadeloupéenne, l'objectif est de passer à 30%.

De plus, ils se sont rendus compte que nous possédions dans les nappes souterraines de la Basse-Terre, de grands réservoirs de fluide géothermal que nous pourrions utiliser afin de produire plus d'électricité.



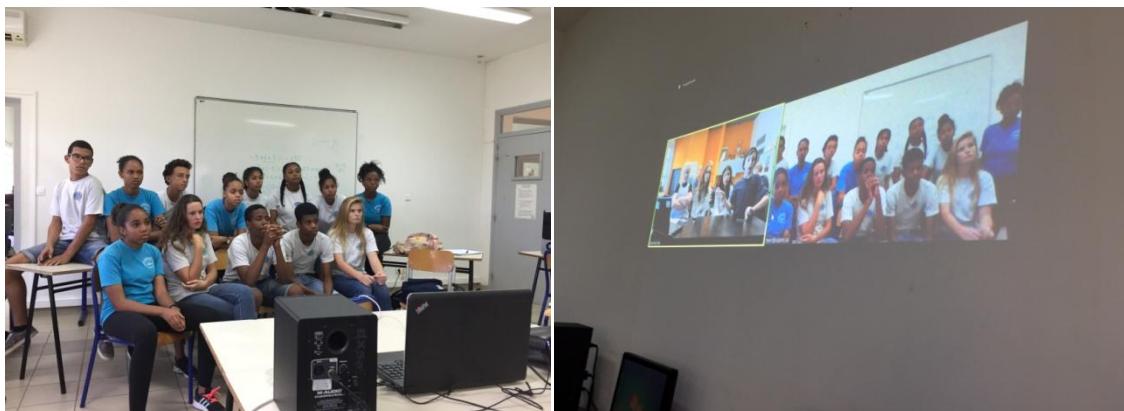
Un potentiel géothermique important (image Géothermie Caraïbe 2)

La Dominique voisine, possède un potentiel géothermique encore plus important. A terme, un réseau de coopération interrégionale pourrait permettre l'autonomie énergétique des îles de la Caraïbe en assurant une production pour toute la Guadeloupe et ses îles voisines.

A l'échelle humaine, cette utilisation de l'énergie de la Terre est renouvelable. Sans émission de gaz à effet de serre elle permet aussi une fourniture d'énergie constante et indépendante de la météo.

Bilan : La géothermie est une source d'énergie renouvelable. Son exploitation ne dégage de gaz à effet de serre. Contrairement aux autres sources de ce type, c'est une énergie de base. En effet, elle ne dépend pas des phénomènes climatiques et demeure constante. Si elle nécessite des investissements couteux au départ, son exploitation, elle, s'avère très peu cher et donc très rentable. La taille importante de notre réservoir potentiel en fait une ressource véritablement providentielle pour nous.

Partie 3 : Le puits canadien

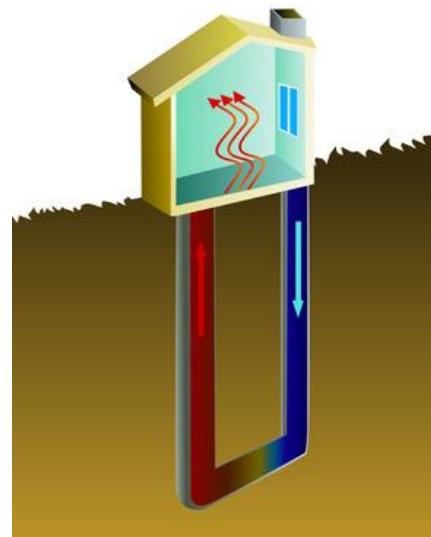


En visioconférence avec nos camarades Québécois

Nos camarades du Canada nous ont expliqué qu'ils utilisaient la géothermie de façon très différente. Chez eux, ils produisent l'électricité grâce à des barrages hydroélectriques. Ils utilisent la géothermie **peu profonde**, dite « à basse température » pour **chauffer les maisons**.

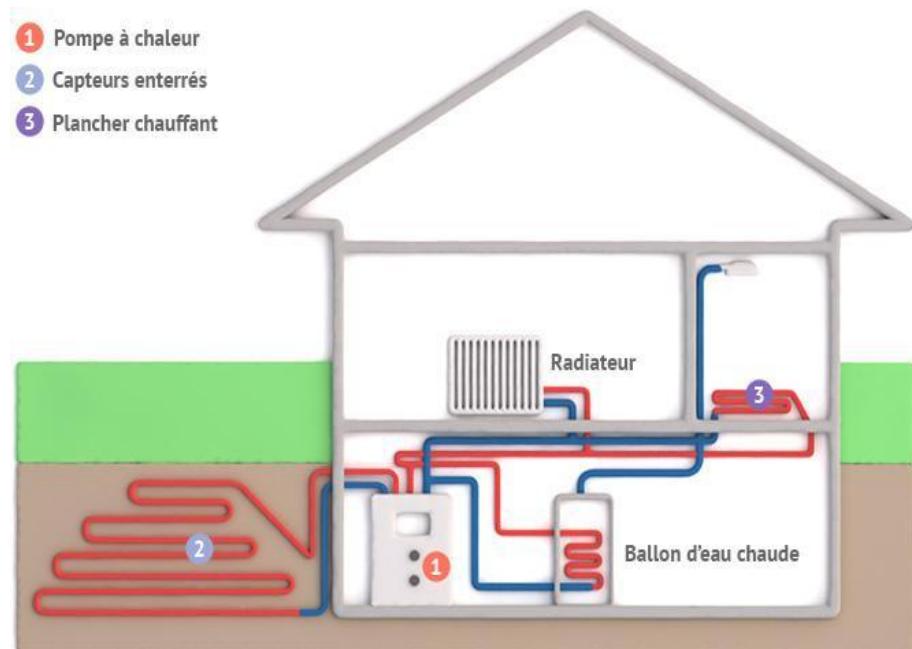
En effet, contrairement à la température extérieure, la température des roches du sous-sol varie peu. A faible profondeur, l'hiver, leur température reste entre 10 et 20°C...ce qui est loin d'être le cas de l'air extérieur au Canada !

Pour utiliser cette chaleur, un long tube en U est installé sous le bâtiment (les puits peuvent aller jusqu'à 80 à 400m de profondeur). Un fluide passe dedans. Réchauffé par la chaleur du sous-sol il est pompé pour remonter et chauffer le bâtiment.



Principe du puits canadien

Il est aussi possible d'utiliser des puits moins profonds et de valoriser l'énergie grâce à une pompe à chaleur.



Chauffage grâce à la géothermie, couplée à une pompe à chaleur

Bilan : Au Québec, ils utilisent la géothermie basse profondeur pour réchauffer les bâtiments en hiver.

Partie 4 : La Géo Gwada clim

L'air atmosphérique est chauffé par le Soleil, ainsi que les roches d'extrême surface, alors que plus en profondeur, les roches sont chauffées par la chaleur de la Terre. Chez nous, cependant, les roches peu profondes sont plus fraîches que l'air extérieur. Nous nous sommes demandés si nous ne pouvions pas utiliser le système canadien...mais pour refroidir nos **maisons** !

Un trou, sous le préau de notre collège peut nous permettre d'accéder aux roches situées au niveau des fondations. Nous nous y sommes rendus avec un thermomètre, afin de mesurer l'écart de température avec l'extérieur.



En exploration sous notre collège



Température extérieure au Soleil



Température extérieure à l'ombre

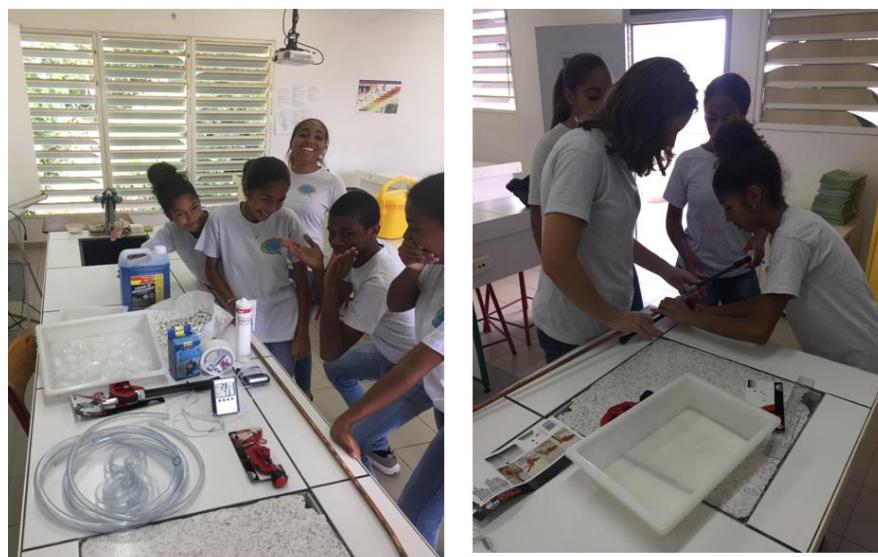


Température dans les roches du sous-sol

On constate qu'à la même heure, les roches situées juste sous les fondations ont une température entre 1 et 3°C plus fraîche qu'à l'extérieur.

Nous avons ensuite tenté de réaliser des modèles pour expérimenter sur des systèmes géothermiques de climatisation.

Nous avons utilisé pour nos modèles une boîte à chaussure représentant la maison, un bac rempli de roches représentant le sous-sol, sous lequel on place un bac contenant des glaçons pour le refroidir (afin de modéliser la température plus basse des roches du sous-sol).



Au travail...

A- Un modèle à air

Une pompe propulse de l'air dans un tuyau qui circule d'abord dans le sous-sol, avant de rentrer dans la maison. Afin d'optimiser les échanges thermiques, dans le sous-sol, nous avons installé un tuyau plus gros, rempli d'eau, dans lequel circule notre tuyau à air.



La préparation des tuyaux

Un thermomètre mesure la température extérieure, un autre, la température du sous-sol et enfin, un troisième, mesure la température dans la maison.



Installation du tuyau qui sera enfoui et recouvert d'aluminium pour isoler

Température dans le sous-sol et la maison en début d'expérience

Température dans le sous-sol et la maison après 15 min

Température extérieure	Température du sous-sol	Température dans la maison en début d'expérience	Température dans la maison après 15 min
26,5°C	25,4°C	26,5°C	26,0 °C

Résultats obtenus avec le système à air après 15 min d'expérience

B- Un modèle à circuit fermé

De l'eau circule, grâce à une pompe, dans un tuyau en cuivre qui passe dans le sous-sol puis dans la maison, au niveau du plafond.



Fabrication du système

Température dans la maison juste après le début de l'expérience

Température dans la maison après 15 min d'expérience

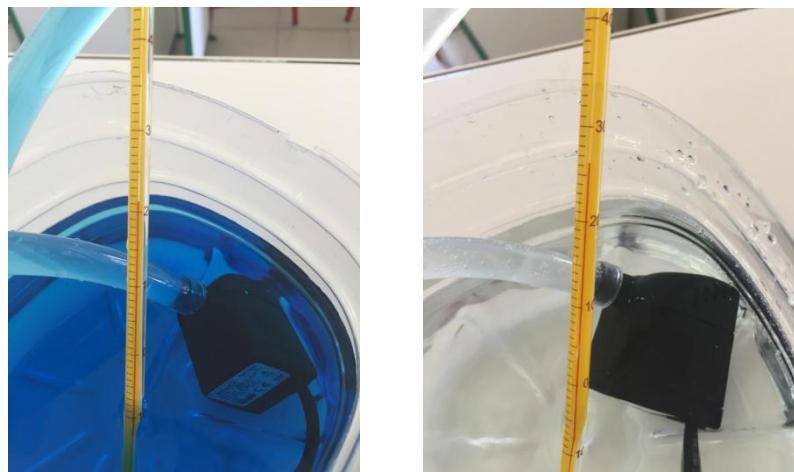


Le bac de roches dans lequel circule le tuyau est posé sur un bac contenant de la glace. Le sol de la maison est isolé de la roche par une planche en bois. Le tuyau circule au plafond de la maison avant de ressortir pour aller à la pompe

Température extérieure	Température du sous-sol	Température dans la maison en début d'expérience	Température dans la maison après 15 min
27,5°C	26.3°C	27.5°C	26.3 °C

Résultats obtenus avec le système à eau après 15 min d'expérience

Au bout de 15 minutes, la température dans la maison est la même que celle du sous-sol. Notre système est même plus performant que ce que l'on imaginait. Nous avions prévu de remplacer l'eau douce par de l'eau salée ou du liquide de refroidissement.



Le liquide de refroidissement devient rapidement plus froid mais des dysfonctionnements techniques nous ont empêché de mener l'expérience jusqu'à son terme.

Bilan : Le modèle par circulation d'eau semble plus performant, puisqu'il permet de descendre la température dans la maison de plus de 1°C en 15 min (pour 0.5°C avec le système à air). Nous avons refait l'expérience avec de l'eau salée, du liquide de refroidissement pour voiture, ce qui améliorerait probablement la performance. Dans la réalité, la pompe serait alimentée par l'électricité géothermique ou par un panneau solaire pour un système 100% écologique.

Partie 5 : Un isolant vert

Dans les pays du grand nord, afin d'isoler les maisons et se protéger du froid, ils couvrent les maisons d'un sol, sur lequel pousse de l'herbe. Nous avons voulu tester pour voir si ce système d'isolation écologique pouvait, en complément de notre système de climatisation, nous isoler de la chaleur.



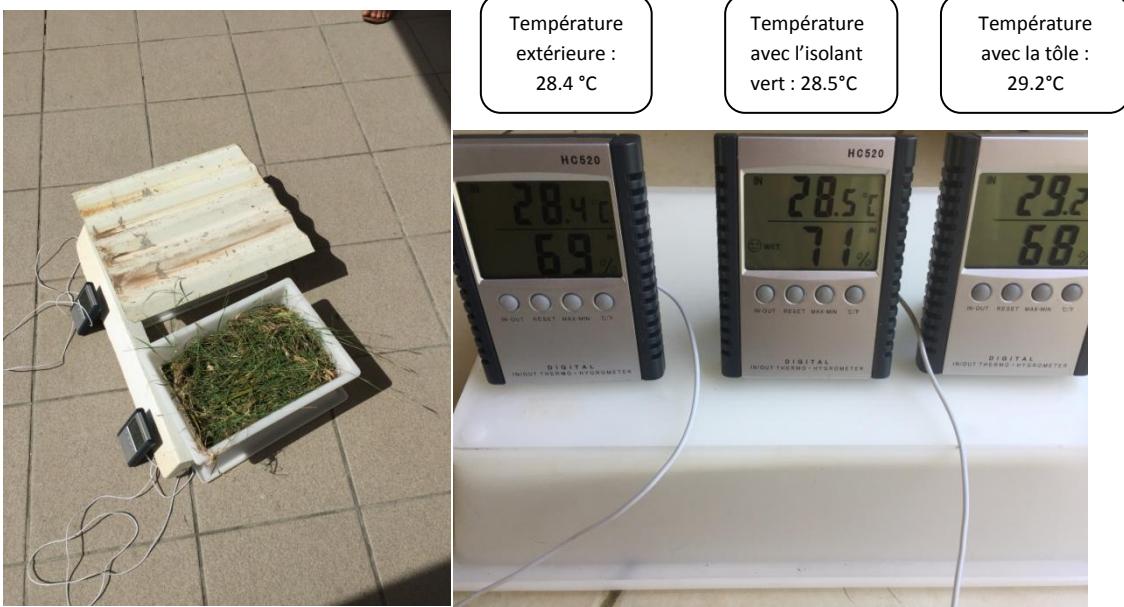
Toit recouvert d'herbe pour isoler du froid

Nous avons placé deux bacs au soleil, tous deux orientés parallèlement à l'ombre d'un poteau (pour avoir la même incidence des rayons lumineux). Un des bacs était recouvert par une tôle, l'autre par une couche de terre. Deux thermomètres permettaient de mesurer la température dans les bacs.



Une expérience pour tester un isolant écologique

En quelques minutes, le bac recouvert de terre s'est avéré 2°C plus frais que le bac recouvert de tôle. Cependant, nous avons ensuite constaté que sa température commençait à augmenter : nous pensons que cela est dû à la couleur noire de la terre qui absorbe la chaleur. Nous avons donc recommencé l'expérience avec une vraie couverture végétale, pour valider ou invalider l'efficacité du système.



Expérience pour tester l'isolant vert

En laissant l'expérience se dérouler durant longtemps, on observe une différence de température stable, mais qui est juste de l'ordre de 0.7°C.

Bilan : Notre système d'isolation écologique fonctionne, mais avec des performances modestes.

Conclusion générale

La géothermie profonde est une source d'énergie renouvelable, propre et dont l'exploitation est très rentable, même si elle nécessite des investissements de départ onéreux. Nous bénifions, en Guadeloupe, d'un important réservoir, qui pourrait nous permettre une autonomie énergétique et nous permettre de nous affranchir de l'utilisation d'énergies fossiles pour notre production d'électricité. Si nous sommes riches d'avoir du soleil et du vent pour produire de l'électricité de façon durable et propre, ces ressources sont dépendantes de la météo, ce qui n'est pas le cas de la géothermie, source d'énergie de base.

Nous pourrions également utiliser la géothermie de basse profondeur afin de rafraîchir nos maisons, permettant ainsi de diminuer notre consommation d'énergie pour la climatisation, l'autre axe de la transition énergétique.

La géothermie est donc à développer sur notre île et constituerait un très bon point pour l'avenir de la Guadeloupe.

L'équipe : BERTHELOT Laureen, CAFAFA Laetitia, CASSIN Anna, CASSIN Emy, CRUSOE Cassandre, DE LA CRUZ Gabrielle, FIFILS Tom, GANE Ganaël, JOUYET Méyann, LELLOUCHE Laura, MINOT Ethel, POPOTTE-JULISSON Loan, TALLON Capucine, THEOPHILE Fleur

Remerciements

Nous tenons à remercier :

Madame N'GORE, Principale du collège Edmond BAMBUCK

L'équipe de l'Université des Antilles et particulièrement Thomas FORISSIER,

Yves MAZABRAUD, Lamprini CHARTOFYLAKA, Claire ANJOU

L'équipe québécoise et particulièrement Philippe SAVARD et Frédéric FOURNIER

Bernard HIRA de la centrale Géothermique de Bouillante