



SEMAINE 6 : GÉOTHERMIES

Ce document contient les transcriptions textuelles des vidéos proposées dans la partie « La géothermie très basse température » de la semaine 6 du MOOC « Énergies renouvelables ». Ce n'est donc pas un cours écrit au sens propre du terme ; le choix des mots, l'articulation des idées et l'absence de chapitrage sont propres aux interventions orales des auteurs.

La géothermie très basse température

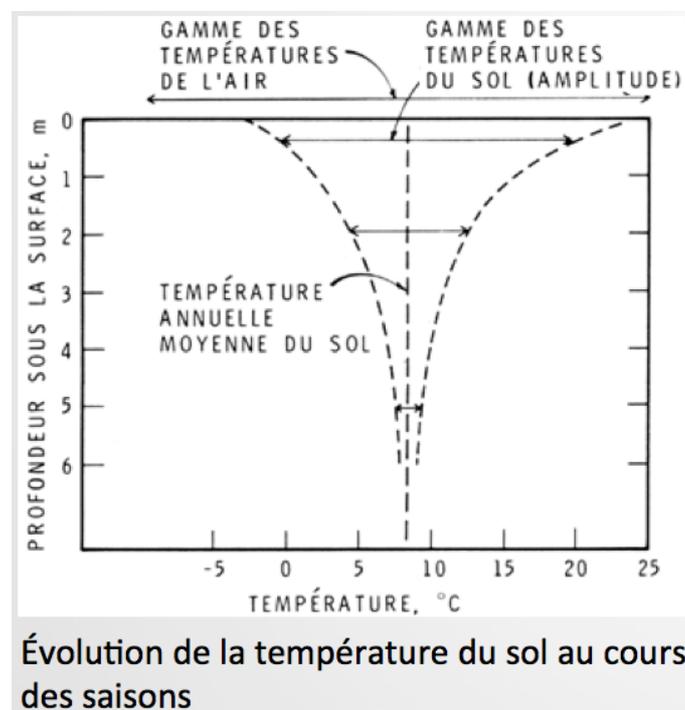
Sandrine PINCEMIN

Enseignante-Chercheuse – EPF Ecole d'ingénieurs-E-S

La géothermie se compose de différentes catégories. On constate qu'il y a quatre catégories principales :

- la géothermie moyenne température et haute température qui sont principalement dédiées à la production d'électricité ;
 - la géothermie basse et très basse température, qui elle est dédiée à la production de chaleur ou la production de froid.
- Pour faire une application géothermique, il est nécessaire d'avoir différents éléments : une boucle géothermique, une pompe à chaleur et un système de distribution.
- La pompe à chaleur est le système qui est utilisé pour la production de chaleur dans le cadre d'applications géothermiques basse, très basse température.
- Les applications principales sont le chauffage - dans ces cas-là, la pompe à chaleur est couplée à un système de distribution de type plancher chauffant ou ventilo-convecteur -.
- On peut utiliser la géothermie pour la production d'eau chaude sanitaire, dans ces cas-là on récupérera de l'eau pour le chauffage ou le préchauffage de l'eau chaude sanitaire.

- Enfin, on peut utiliser ces solutions : échangeurs géothermiques plus pompes à chaleur, pour le rafraîchissement.
- ⇒ Donc on pourra, dans ces cas-là, imaginer un puisage soit sur l'extérieur, soit dans une nappe phréatique par exemple.
- Les éléments de base pour développer cette installation géothermique, c'est déjà de connaître le sol. Dans quel style de sol on va pouvoir faire notre prélèvement et connaître les propriétés de ce sol.
- Différentes propriétés sont donc à vérifier :
 - la conductivité thermique, symbolisée par le λ ;
 - la diffusivité thermique, symbolisée par le α .
- ⇒ Ces propriétés connues, il sera possible de déterminer le profil précis de température du sol.
- Vous avez, sur le graphe (présenté en bas, à gauche de ce slide), l'évolution de la température en fonction de la profondeur et les différentes courbes représentent l'évolution en fonction des différentes saisons.

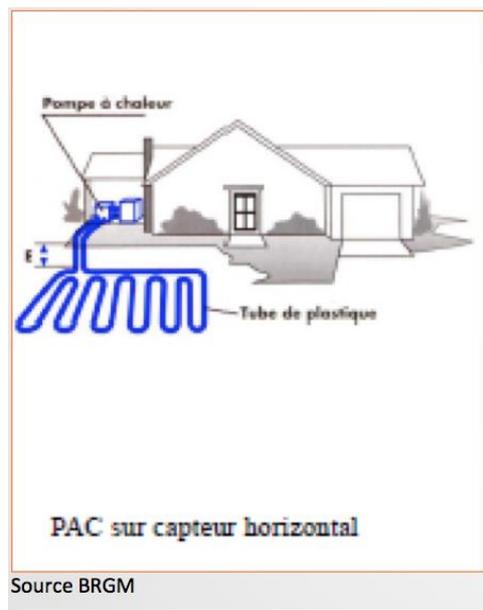


- Ce que l'on voit sur ce graphe, c'est qu'en fonction de la saison et en fonction de la profondeur, on va quand même converger vers un niveau de température assez stable.
- ⇒ Au-delà d'une certaine profondeur, la température dans le sol reste à un certain niveau constant.

⇒ L'ordre de grandeur est d'environ 10°C.

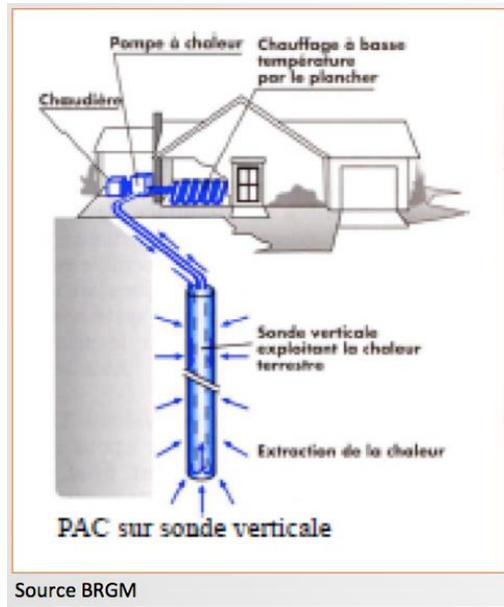
- Les éléments clés qui vont donc nous permettre de développer nos installations géothermiques et nos installations basse, très basse température, c'est donc la bonne connaissance du sol par le tracé de ce type de profil, la connaissance de la puissance maximale que l'on souhaite extraire de notre installation et la stabilité de ces propriétés.

Au niveau des échangeurs qui vont être utilisés pour récupérer l'énergie présente dans le sol, on peut dans un premier temps pour des applications maisons individuelles, utiliser des échangeurs horizontaux ou capteurs horizontaux.



- Ces échangeurs sont placés à une certaine profondeur entre 0,5 et 3 mètres, la température à cette profondeur va être soumise à différentes variations.
 - On est sur des applications que l'on qualifiera plus de type géosolaire que géothermique mais ça rentre bien dans des applications géothermiques.
 - Ici, les échangeurs sont constitués d'une nappe de tubes ou de serpentins. On fait circuler un fluide dans ces serpentins. Au fur et à mesure ce fluide se charge et va nous servir de source froide ou de source chaude pour la pompe à chaleur qui servira à la production de chaleur ou de froid en fonction de son application.
 - La mise en œuvre nécessite un terrassement et est soumise à certaines normes.
- ⇒ Il est nécessaire de respecter certaines distances en fonction du bâtiment, en fonction du champ de nappes, en fonction des implantations qui sont faites au niveau du bâtiment.
- ⇒ Toutes ces normes sont, bien sûr, spécifiées dans des documents dédiés.

L'autre installation classique pour la production géothermie très basse température, c'est l'utilisation d'échangeurs verticaux ou capteurs verticaux ou sondes.

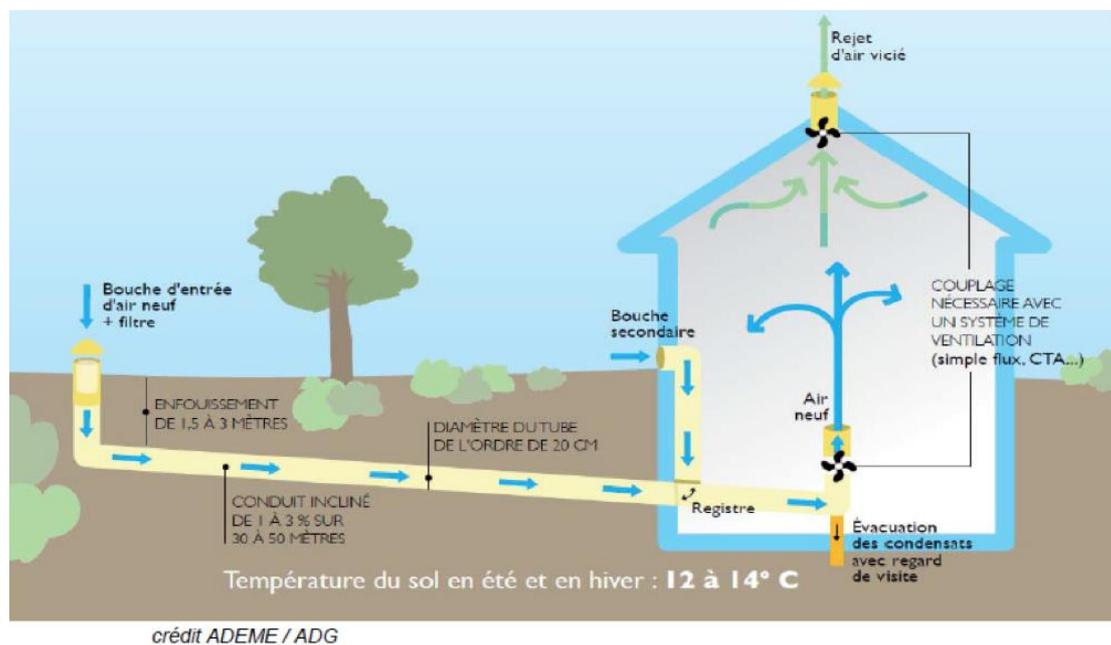


- Ces sondes sont des échangeurs qui sont placés dans le sol à une certaine profondeur.
 - Ici, on va donc bénéficier des propriétés évoquées précédemment, c'est-à-dire une forte stabilité de la température au niveau de cet échangeur.
 - Le principe est le même que précédemment, on a un fluide qui passe au sein de cet échangeur, il se charge et ensuite il est renvoyé vers la pompe à chaleur pour les applications que l'on souhaite faire.
- ⇒ Vous avez à droite du slide, une présentation des différents types d'échangeurs.
- En fonction de la configuration que l'on choisira (U, simple U ou double U), on aura des niveaux d'extractions qui seront beaucoup plus importants.
 - Les applications avec des champs de sondes sont des applications où on arrivera à extraire beaucoup plus d'énergie que dans les applications précédentes, où on utilise des échangeurs horizontaux.

Il existe d'autres variantes de capteurs, ces capteurs sont moins utilisés.

- on aura, par exemple, des corbeilles qui sont utilisées en Allemagne mais très rarement en France ;
- ou l'utilisation de pieux ou de fondations et qui sont de nouveau très rarement utilisés en France.

- Les corbeilles, c'est une solution intermédiaire, on est sur un mixte entre l'échangeur vertical et l'échange horizontal.
- ⇒ Vous imaginez un système où on a une spirale qui est développée et cette spirale va être implantée dans le sol à des niveaux de profondeur assez faibles (entre 2 et 3 mètres), ce qui nous permet des implantations beaucoup plus simples mais on bénéficie des propriétés que l'on a pu évoquer précédemment au niveau du champ de sonde, c'est-à-dire des possibilités de puissances extraites qui vont être un petit peu plus importantes du fait d'une surface d'échange un peu plus élevée.
- Au niveau des pieux et des fondations, ici on va utiliser la structure du bâtiment pour récupérer l'énergie.
- ⇒ Un échangeur sera donc placé dans la structure du bâtiment.
- De façon générale, ces solutions ne sont pas forcément privilégiées en France afin de préserver l'intégrité du bâtiment et éviter, en cas de mauvais dimensionnement, une destruction du bâtiment, en tout cas de sa stabilité mécanique.
- Une autre variante, c'est le puit canadien ou le puit provençal.



- ⇒ Ici, on va récupérer l'air pris à l'extérieur, cet air pris à l'extérieur va circuler dans des tubes placés dans le sol (on bénéficiera de nouveau de la stabilité thermique du sol), et cet air va ensuite être injecté dans le bâtiment par le biais d'une ventilation simple ou double flux.
- ⇒ Cette ventilation va nous permettre soit de faire un préchauffage de l'air en hiver, soit un rafraîchissement en été.

- Ce système n'est pas un système comme précédemment permettant un chauffage total de l'installation, on est plus sur un système complémentaire qui va nous permettre de faire des économies au niveau de la facture énergétique du bâtiment.

En termes de dimensionnement, voici quelques ordres de grandeur pour les échangeurs horizontaux et pour les échangeurs verticaux.

- On voit qu'en fonction de la nature du sol, on aura des puissances extraites qui seront différentes.
- Si le sol présente des caractéristiques d'humidité plus importantes, on aura des possibilités d'extractions beaucoup plus élevées.
- ⇒ On remarque qu'un sol saturé en eau a une possibilité d'extraction beaucoup plus élevée que sur un sol sec.
- Au niveau des capteurs horizontaux et verticaux, le choix, si l'on souhaite extraire de fortes puissances, sera sur des échangeurs verticaux puisque la puissance d'extraction va être beaucoup plus élevée.
- Enfin, au niveau des modes de fonctionnement et notamment pour l'utilisation de capteurs verticaux ou de sondes, on est obligés de penser à la recharge.
- ⇒ En effet, de façon naturelle, avec un écoulement d'eau, il sera possible de recharger notre sol et de permettre un équilibre thermique au fur et à mesure des cycles de charge et de décharge.
- Mais s'il n'y a pas d'écoulement ou si la recharge ne se fait pas de façon naturelle, il sera nécessaire de penser à un système de recharge afin de permettre une utilisation au long terme de notre installation géothermique.
- ⇒ Une installation qui peut être utilisée, c'est le couplage avec une installation solaire/thermique, afin de réinjecter de la chaleur dans le sol pour permettre une stabilisation au fur et à mesure des années.
- Si la recharge n'est pas bien optimisée, si aucune recharge n'a été pensée au préalable, les risques que l'on pourra avoir, c'est une dégradation des performances thermiques à court terme.
- ⇒ A long terme, les risques, c'est un endommagement du sol et donc un endommagement au niveau de la structure des bâtiments qui sont connectés à ces installations.

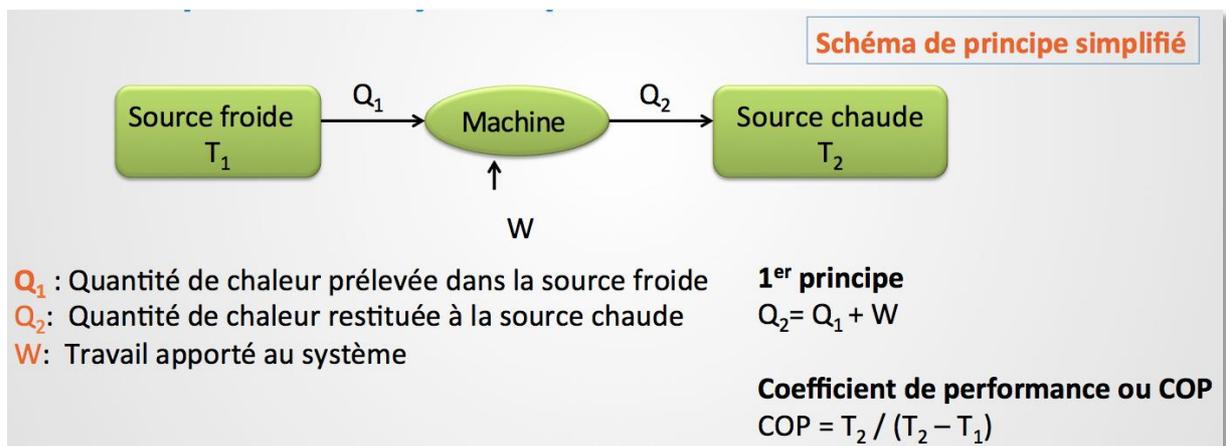
Les pompes à chaleur géothermiques

Sandrine PINCEMIN

Enseignante-Chercheuse – EPF Ecole d'ingénieurs-E-S

La géothermie basse température est couplée à des systèmes thermodynamiques. Le système thermodynamique le plus souvent utilisé est la pompe à chaleur, pompe à chaleur géothermique. L'objet de cette présentation est donc la présentation de ces différentes pompes à chaleur.

- Le principe de fonctionnement d'une pompe à chaleur est présenté sur ce slide, il y a ici donc un schéma simplifié d'une pompe à chaleur qui est composée d'une machine et cette machine est entourée de deux types de sources.



- L'objectif de la pompe à chaleur est de prélever de l'énergie d'une source froide afin de la porter vers une source chaude.

⇒ On cherche donc à maximiser les transferts d'énergie.

Différents éléments doivent donc être pris en compte :

- Q1. La quantité de chaleur prélevée dans la source froide ;
- Q2. La quantité de chaleur restituée à la source chaude.

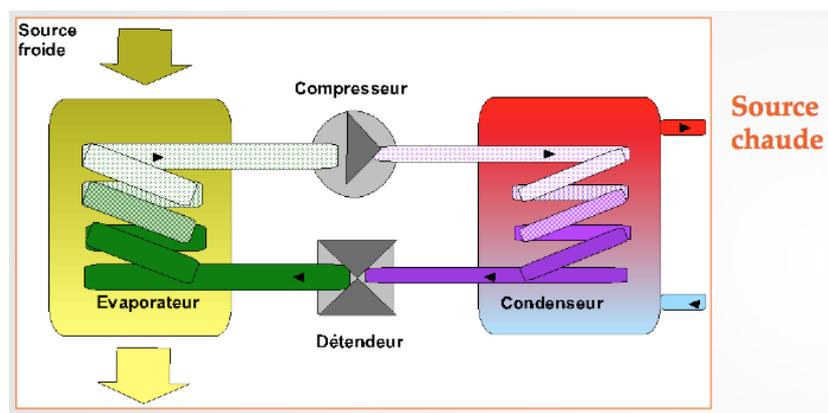
⇒ Et pour que ce système puisse fonctionner, il est nécessaire d'apporter un travail au système. Ce travail est symbolisé par le symbole W .

- Au niveau des évaluations des performances de ce type de système, on doit donc faire un bilan énergétique. Pour faire ce bilan, on se base sur le premier principe, le principe de conservation de l'énergie qui nous dit que l'énergie restituée à la source chaude est égale à l'énergie prélevée à la source froide plus le travail.

- À partir de ce premier principe, on pourra évaluer les performances de notre installation par le biais d'un COP dont le calcul peut se faire comme étant le rapport de la température de la source chaude sur la variation entre la température de la source chaude et la source froide.
- ⇒ Un COP est un élément qui est fondamental pour évaluer les performances de notre installation.
- ⇒ De façon générale, l'ordre de grandeur d'un COP est compris entre 3 et 5.
- Au niveau de ces ordres de grandeur, on se base souvent sur les COP théoriques, néanmoins il est important de prendre en compte le fait qu'un COP théorique est très supérieur à un COP mesuré de façon réelle.
- L'évaluation des COP réels et donc des performances réelles de notre installation est soumise à l'ajout d'un coefficient compris entre 0,4 et 0,7.
- ⇒ De cette façon, on pourra évaluer les performances réelles de notre installation.
- L'objectif de ces systèmes, c'est d'avoir un COP qui soit le plus élevé possible.
- ⇒ Plus le COP sera important, plus notre système sera efficace et plus les économies, si on parle en termes financiers, plus les économies pourront être importantes.
- ⇒ C'est ce que l'on voit sur le tableau présenté sur ce slide.

Au niveau des pompes à chaleur, il existe différentes catégories.

- La première catégorie est la pompe à chaleur à compression.
- Cette pompe à chaleur est celle qui est la plus représentée sur le marché et on a quasiment en France que cette pompe à chaleur qui est utilisée.
- Le schéma de principe de cette pompe à chaleur est présenté ici en haut à gauche, on a différents éléments qui composent cette pompe à chaleur et ces éléments composent les différentes étapes.



- La première étape consiste à la compression ;
 - deuxième étape, on passe au niveau du condenseur ;
 - ensuite une détente ;
 - et enfin, on récupère de la chaleur au niveau de l'environnement.
- La première étape consiste donc à prendre le fluide frigorigène qui est sous la forme d'une phase gazeuse et l'objectif du compresseur est de permettre à ce fluide frigorigène d'avoir sa pression et sa température qui augmentent.
 - Une fois la pression et température augmentées et le niveau que l'on souhaite au niveau de notre installation obtenu, le fluide frigorigène est envoyé au niveau du condenseur.
 - ⇒ L'objectif ici est de permettre au fluide frigorigène de transférer son énergie vers un autre fluide qui nous servira pour nos applications.
 - ⇒ Ce fluide frigorigène va donc avoir sa température qui diminue et sa pression qui diminue.
 - ⇒ À la sortie du condenseur, le fluide frigorigène sera passé en phase liquide.
 - La troisième étape est l'étape de détente.
 - ⇒ La température et la pression de ce fluide diminuent et en sortie du détendeur, on aura une étape où on va pouvoir régénérer ce fluide - si on peut le dire comme ça -, on va le passer au niveau de l'évaporateur, il va de nouveau échanger par le biais d'un échangeur de l'énergie avec un fluide qui va lui permet de repasser en phase gazeuse avant de rentrer de nouveaux au niveau du compresseur.
 - ⇒ On pourra ensuite reproduire à nouveau le cycle.

Quels sont les fluides frigorigènes qui sont utilisés ?

- Ils sont de différentes sortes et la sélection se fera en fonction de la température de compression et la température de condensation ou de la température de vaporisation.
- Différentes catégories de fluides existent, mais il apparaît que certains de ces fluides comme les CFC ou les HFC présentent un fort impact environnemental et dans des objectifs d'efficacité énergétique, on cherche à avoir des fluides qui soient le moins impactants possibles.
- ⇒ Aujourd'hui, on utilisera donc des composés qui seront différents et de façon organique, ces composés seront à base de CO₂ ou à base d'ammoniac.
- L'autre catégorie de pompe à chaleur, c'est la pompe à chaleur à absorption.

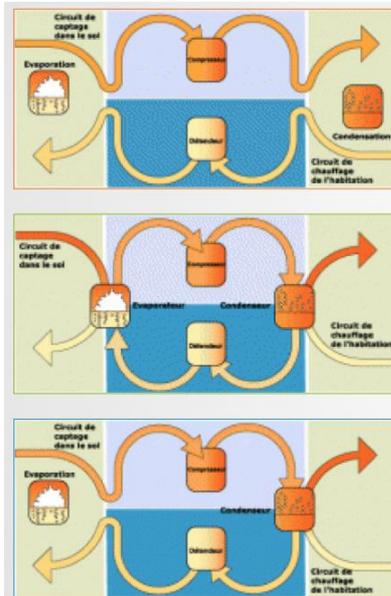
- Ici, la différence principale réside dans le fait que l'apport on ne va pas se faire sous la forme d'une énergie mécanique mais sous la forme d'une énergie thermique.
- ⇒ Vous avez un schéma de principe présenté sur ce slide et, de nouveau, quatre étapes seront nécessaires pour la production d'énergie.
- La première et la dernière étape seront différentes puisqu'ici, on fera des étapes où on cherchera à séparer ou à regrouper deux particules afin de produire cette énergie dont on a besoin.
- Le principe de fonctionnement, on utilise donc ici des réactions thermochimiques ou des réactions de sorption.
- ⇒ On va donc mettre deux fluides en présence, que l'on va séparer par rapport à une énergie thermique ou que l'on va regrouper.
- ⇒ En fonction de ces séparations (donc la phase 1 dans le désorbeur) on va séparer les deux fluides, on obtiendra donc notre fluide frigorigène qui va repartir sous phase gazeuse dans le condenseur, il va se condenser comme précédemment (c'est-à-dire sa température et sa pression vont diminuer suite à un échange avec un autre fluide), il va ensuite aller dans une autre étape où il va de nouveau pouvoir se recharger et repartir sous la forme évaporation, sous la forme gaz, et enfin, une phase de régénération, mais ici ce sera une phase de régénération au niveau d'un absorbeur où on remettra les deux éléments en présence.

Les deux types de pompe à chaleur sont utilisés de manière différente. De façon générale, on trouvera essentiellement des applications avec des pompes à chaleur à compression.

Au niveau des installations, on aura donc différentes installations qui pourront être mises en place, on va coupler notre pompe à chaleur avec un échangeur qui va être soit horizontal, soit vertical, l'objectif étant la récupération de l'énergie contenue dans le sol.

- Cette récupération de l'énergie dans le sol va se faire en couplant la pompe à chaleur avec des capteurs horizontaux.
- ⇒ Donc dans le premier cas, on aura un couplage pour les procédés à détente directe uniquement possible avec des capteurs horizontaux.
- ⇒ Si on utilise des fluides intermédiaires, dans ces cas-là on pourra utiliser différents types d'échangeurs (ici on utilisera le fluide frigorigène qui sera utilisé sera uniquement utilisé au niveau de la pompe à chaleur, il ne sera pas propagé dans les capteurs horizontaux, verticaux ou compacts qui auront été utilisés).

- Enfin, une autre installation possible, c'est un procédé mixte qui sera uniquement utilisable avec des capteurs horizontaux.
- ⇒ De nouveaux ici, le fluide frigorigène, comme dans le premier cas pourra être utilisé tant au niveau de la pompe à chaleur qu'au niveau de l'installation globale.



Le procédé à détente directe

Capteurs horizontaux

Pas d'utilisation avec les capteurs verticaux.

Le procédé avec fluide intermédiaire

Courant pour les échangeurs fermés (horizontaux, verticaux ou compacts).

Le moyen terme ou procédé mixte

Utilisable uniquement avec des capteurs horizontaux.

Source [Ademe](#)