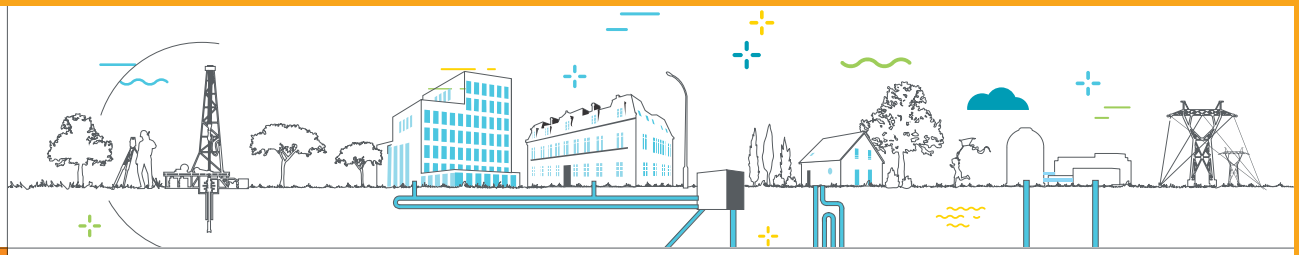
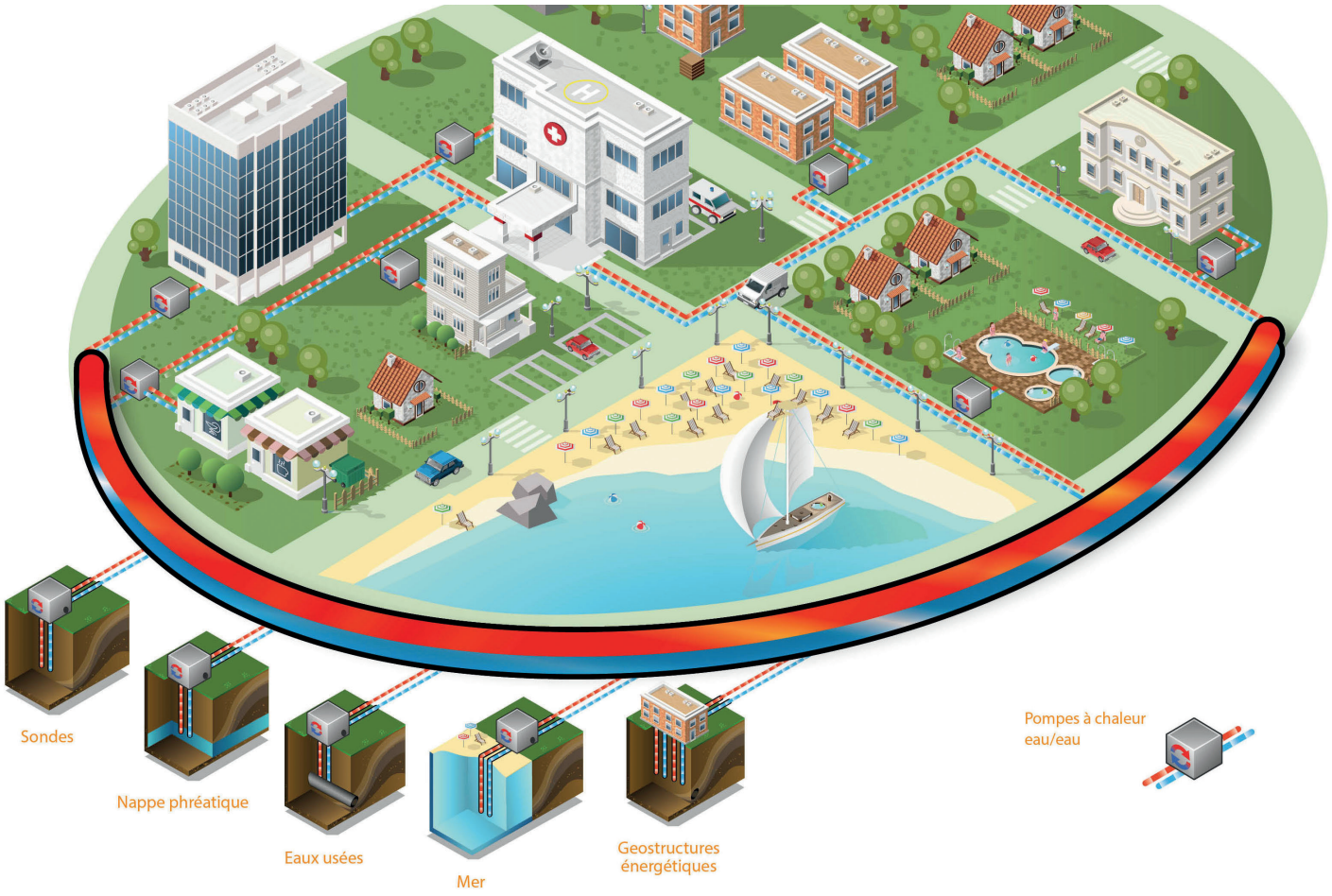


MARS 2020

LES GUIDES TECHNIQUES AFPG

1ÉRE ÉDITION

LA BOUCLE D'EAU TEMPÉRÉE À ÉNERGIE GÉOTHERMIQUE



Réf : 01/ RGEOTBE01
XM-HL-JMP

La géothermie,
l'énergie de demain dès aujourd'hui !

afpg
ASSOCIATION FRANÇAISE DES PROFESSIONNELS DE LA GÉOTHERMIE

« **La géothermie est une solution énergétique qui gagne à être plus connue de l'ensemble des prescripteurs et maitres d'ouvrage.** Elle permet d'assurer le confort toute saison comme de nombreux process thermiques grâce à ses productions de chaleur et de froid renouvelables, disponibles et exploitables sur l'ensemble du territoire français de manière locale et décarbonée. Grâce à ce Guide technique les professionnels de la géothermie nous livrent leur vision d'une géothermie innovante, partie intégrante des solutions énergétiques de demain, celle des Smart grid thermiques. La Boucle d'eau tempérée à énergie géothermique compte en effet parmi les dispositifs intelligents de mutualisation de la ressource géothermique et des besoins énergétiques de chaud et de froid des bâtiments. L'optimisation énergétique et environnementale du marché de la construction est au cœur des réflexions. L'usage de ce Guide rappellera les contours technique, règlementaire et juridique d'un projet de Boucle d'eau tempérée à énergie géothermique et permettra aux différentes parties prenantes d'aborder avec simplicité et méthodologie l'intégration de la géothermie à leurs programmes immobiliers.»

AFPG

La géothermie, *l'énergie de demain dès aujourd'hui !*

L'Association Française des Professionnels de la Géothermie (AFPG) est une association « loi 1901 » créée le 15 juin 2010 à Paris, à l'initiative de l'ADEME. Elle compte une centaine d'adhérents représentatifs des différents métiers de l'énergie géothermique en France métropolitaine et dans les DROM : foreurs, fabricants et installateurs de pompes à chaleur, gestionnaires de réseaux de chaleur, bureaux d'études (fluides/thermique et sous-sol/hydrogéologie), universités et organismes de recherche, fabricants de matériel, investisseurs.

Nos missions

- Représenter et fédérer les professionnels de la filière française.
- Informer les collectivités, les industriels, les associations, et les particuliers des ressources et de la diversité de l'offre géothermique.
- Accompagner les pouvoirs publics en matière de réglementation, de législation et de certification.

Notre rôle

- Promouvoir et accélérer le recours à la géothermie, conformément aux objectifs fixés par la programmation pluri-annuelle de l'énergie (PPE).

Nos actions

- Réfléchir et proposer,
- Communiquer et sensibiliser,
- Former,
- Concrétiser le passage à l'acte en relayant vers nos adhérents.

L'AFPG est structurée en deux filières : la géothermie profonde (usages directs de la chaleur, production d'électricité, co-génération) et la géothermie de surface (production de chaleur et de fraîcheur pour le bâtiment et les process).

Sommaire

1.	**La boucle d'eau tempérée à énergie géothermique**	**10**
1.1	La BETEG	10
1.2	Les ressources géothermiques associées	11
1.3	Ses différents modes de production	12
1.4	Sa capacité à mutualiser l'énergie entre bâtiments	13
1.5	Son évolutivité et sa modularité	13
1.6	Sa valorisation du stockage thermique	14
1.7	Sa régulation	14
1.8	Intégratrice d'EnR & R - Multi-Energies	15
1.9	La BETEG versus Réseau de chaleur	16
2.	**Détails des dispositifs équipant une BETEG**	**17**
2.1	Le dispositif de Captage	17
2.1.1	Les captages	17
2.1.2	Les stockages inter-saisonniers	20
2.2	Le dispositif de Mutualisation – boucle d'eau tempérée	20
2.2.1	La boucle d'eau tempérée	20
2.2.2	Les pompes de circulation de la boucle d'eau tempérée	20
2.3	Le dispositif de Production	22
2.3.1	La Production	22
2.3.2	La Thermopompe ou PAC Géothermique	23
2.3.3	Ses usages et ses rendements	24
2.3.4	Ses modes de fonctionnement et ses performances	26
2.4	Le dispositif de régulation	27
2.4.1	La régulation	27
2.4.2	L'analyse fonctionnelle	28
2.4.3	La supervision ou l'hypervision	29
2.4.4	La régulation de la boucle d'eau tempérée	30
2.4.5	La régulation de la sous-station	30
2.4.6	Les interactions entre sous-stations	31
2.4.7	Monitoring et Analyse	31
2.4.8	Le comptage	31
3.	**Le principe d'une boucle d'eau tempérée**	**33**
3.1	Première étape – Mise en communication	33
3.2	Seconde étape : alimenter, stocker, valoriser	34
3.3	Troisième étape – la décentralisation de la production	35
4.	**Les cas d'application d'une opération de BETEG**	**38**
4.1	Définition du périmètre de l'opération	38
4.2	A l'échelle de quelques bâtiments	38

4.3	A l'échelle d'un nouvel éco-quartier/ZAC	39
4.4	A l'échelle d'un quartier existant	40
5.	**Evaluation et définition des besoins énergétiques**	**41**
5.1	Evaluation des besoins énergétiques et approche de dimensionnement	41
5.2	Définition des besoins énergétiques au stade de la conception de la BETEG	43
6.	**Cadre juridique d'un réseau d'énergie**	**47**
6.1	Le classement d'un réseau d'énergie	47
6.1.1	Cadre juridique	38
6.1.2	Conditions et principe de fonctionnement	48
6.2	Définition technique	48
6.3	Définition juridique	49
6.4	Cadre juridique pour une collectivité	49
6.4.1	La régie	50
6.4.2	La Délégation de Service Public	51
6.4.3	La gestion par AFUL	51
6.4.4	La SEM ENERGIE	53
6.4.5	Le bail emphytéotique administratif (BEA)	53
7.	**Phasage, intervenants et financements**	**54**
7.1	Le phasage et l'ordonnancement	54
7.1.1	En phase d'avant-projet,	54
7.1.2	En phase de Conception	55
7.1.3	En phase d'Exécution	55
7.1.4	En phase de Maintenance et d'Exploitation	55
7.2	Les acteurs d'un projet de BETEG	56
7.2.1	Le maître d'ouvrage	56
7.2.2	Les bureaux d'études	59
7.2.3	Les promoteurs	60
7.2.4	Les opérateurs énergétiques	61
7.3	Les financements	61
7.3.1	Les aides générales mobilisables	61
7.3.2	Le Fonds Chaleur	61
7.3.3	La TVA à taux réduit pour vente d'énergie calorifique sur un réseau	62
7.3.4	Les CEE	62
8.	**Le cadre réglementaire de la Géothermie de Surface**	**64**
8.1	La réforme réglementaire	64
8.2	La Géothermie de Minime Importance (GMI)	64
8.2.1	Des techniques encadrées	64
8.2.2	Cartographie Réglementaires : Découpage du territoire en 3 zones (Vert/Orange/Rouge)	65
8.3	Les démarches réglementaires	65
8.3.1	Déclaration d'un forage au titre de la GMI	65
8.3.2	Expertise réglementaire	66
8.3.3	Dossier d'Autorisation	66
9.	**Retours d'expérience**	**67**

Figures

Fig.	Titre	Source	Page
1	Synoptique de la BETEG	APFG	10
2	Synoptique de la BETEG Multi énergies/multipoints	BURGEAP	12
3	Synoptique Multi énergies – Production décentralisée – stockage thermique	Accenta	15
4	Schéma de principe d'un doublet géothermique sur nappe		17
5	Schéma de principe de Sondes Géothermiques Verticales		18
6	Schéma de principe de Sondes Géothermiques Coaxiales Profondes		18
7	Schéma de principe de « géostructures » (Pieux énergétiques - Parois-moulées énergétiques)		18
8	Schéma de principe de collecteurs d'Eaux Usées récupérant l'énergie des effluents et du terrain		18
9	Schéma de principe d'échangeurs à plaques couplés au réseau d'eau épurée de rejet d'une STEP		19
10	Schéma de principe d'un système d'Energie Thermodynamique sur eau de Mer (ETM)	AFPG	19
11	Photos de terrassement et de pose de réseaux de connexions d'un champ de SGV	BURGEAP/AFPG	19
12	Photo d'un atelier de forage	Augsburger Forages	19
13	BTES (« Borehole Thermal Energy Storage » ou Stockage d'Energie Thermique sur Champ de SGV)		20
14	ATES (Aquifer Thermal Energy Storage » ou Stockage d'Energie Thermique sur Aquifère)		20
15	Synoptique de la BETEG – Production décentralisée	BURGEAP	21
16	Synoptique hydraulique du local pompe d'une boucle d'eau tempérée – Projet AIRBUS	BURGEAP	21
17	Synoptique hydraulique de principe d'un dispositif de production géothermique standard	AFPG	23
18	Cycle thermodynamique d'une PAC	Guide ADEME/AFPG	23
19	Schéma de principe de la production en sous-station, illustrant les différents échangeurs et circulateurs	AFPG	25
20	Photo panoramique d'une station de production géothermique	BURGEAP/MINO/WATER-KOTTE	26
21	Synoptique réseau de la Régulation – GTC d'une installation		27
22	Synoptique réseau d'hyper vision	©Accenta	30
23	Synoptique – équilibre de transfert d'énergie injectée et extraite entre sous-station sur la boucle d'eau	©Accenta	31

24	Principe d'interconnexion	Accenta	33
25	Synoptique simplifié avec stockage inter-saisonnier	Accenta	34
26	Synoptique transfert d'énergie thermique	Accenta	35
27	Réserve d'eau enterrée	FRANK	35
28	Synoptique simplifié – captage unique	Accenta	36
29	Synoptique d'une sous-station géothermique	Accenta	37
30	Exemple de répartition des besoins en énergie thermique par typologie de bâtiment	BURGEAP	42
31	Exemple de monotones de chauffage/ECS et climatisation pour un éco-quartier de 100 000m² de SdP	BURGEAP	43
32	Représentation graphique des besoins en chauffage et en climatisation d'un bâtiment de bureaux de 25 000 m²		45
33	Représentation graphique de la courbe monotone de chauffage d'un bâtiment de bureaux de 25 000 m²		46
34	Arbre des possibilités pour une collectivité dans le cadre du portage d'une opération de BETEG	SCET	49
35	Les montages Juridiques - Modes de Gestion et d'Exploitation des projets de production d'EnR	AFPG	50
36	Tableau des responsabilités contractuelles par rapport au portage juridique d'une opération de BETEG	AFPG	51
37	Portage juridique d'une BETEG par le biais d'une gestion par AFUL	AFPG	52
38	Mise en place d'une BETEG avec une SEM Energie	AFPG	53
39	Etudes - Signes de qualité RGE		55
40	Travaux - Signes de qualité RGE		56
41	Illustration de la cartographie réglementaire au sens de la GMI	geothermies.fr	65

Avant-propos

Ce guide technique a pour vocation de présenter le concept de la « boucle d'eau tempérée » alimentée énergétiquement par une ressource géothermique. Destiné aux maîtres d'ouvrage et à tout donneur d'ordres, ce guide technique présente la technologie de la boucle d'eau tempérée à énergie géothermique et explique comment élaborer et structurer le montage d'une opération. Il expose également le cadre juridique et le contexte économique dans lesquels s'inscrit la solution.

La boucle d'eau tempérée à énergie géothermique dite « BETEG » est assimilée à un réseau de chaleur. Le facteur différenciant de la boucle d'eau tempérée par rapport aux réseaux de chaleur est la température de distribution de l'eau qui y circule, ce qui permet à la fois de répondre facilement à des besoins de chaud comme de froid et d'avoir une autre approche des « pertes énergétiques » du réseau, qui peuvent se transformer en « gains énergétiques ». Selon la ressource EnR&R échangeant avec la BETEG, la température de l'eau dans la boucle est généralement comprise entre 5 et 30°C, même si elle peut être comprise entre -3°C et 40°C.

Elle peut être caractérisée par :

- Son évolutivité par rapport à un programme d'aménagement,
- Ses performances énergétiques, environnementales et économiques,
- Son adaptabilité aux différentes demandes selon les usages des bâtiments (chaud et/ou froid),
- Son aptitude à valoriser la mutualisation de l'énergie entre bâtiments et entre ressources,
- Sa valorisation du stockage d'énergie (stockage inter-saisonnier et court terme),
- Son alimentation par de la géothermie dite géothermie de surface ou très basse énergie,
- Sa capacité à intégrer différentes EnR&R (multi-énergies renouvelables, multipoints),
- Sa régulation intelligente (intégration des TIC).

L'ensemble de ses atouts confèrent à la boucle d'eau tempérée géothermique le terme de « smart grid thermique ».

Le marché de la construction et du bâtiment représente le cœur de marché de la géothermie de surface dans lequel s'inscrit la BETEG. A ce titre, la géothermie de surface constitue une solution énergétique qui répond à la problématique thermique du bâtiment (Réglementation Thermique du Bâtiment RT2012 et RE2020).

Ce qui caractérise la géothermie de surface réside dans la constitution de son système composé de 3 dispositifs :

- Un dispositif de captage de la ressource géothermique,
- Un dispositif de production,
- Un dispositif de régulation (contrôle-commande à chaque sous-station).

Lors de la mise en place d'une boucle d'eau tempérée, des dispositifs supplémentaires viennent s'ajouter à ceux d'un système de géothermie de surface classique :

- Un dispositif de mutualisation de la ressource géothermique,
- Un dispositif de régulation de la boucle (BETEG),
- Des dispositifs de production de chaleur et/ou de froid multiples.

L'ensemble de ces dispositifs constitue le périmètre technique d'un système de géothermie intégrant une boucle d'eau tempérée et développant un réseau « innovant » et « intelligent ».

La géothermie,
l'énergie de demain dès aujourd'hui !

afpg
ASSOCIATION FRANÇAISE
DES PROFESSIONNELS DE LA GÉOTHERMIE

L'intelligence de ce réseau repose sur une régulation spécifique permettant d'accroître les performances énergétiques, environnementales et économiques d'un réseau d'énergie.

La bonne intégration d'un système de géothermie associé au concept d'une boucle d'eau tempérée à l'échelle d'un projet de construction incite à étudier le système dans sa globalité. La constitution d'un lot technique de géothermie comprenant l'ensemble du système (captage, mutualisation, production et régulation) permet de regrouper l'ensemble des compétences nécessaires à la bonne conception et réalisation d'un tel « smart grid thermique ».

Ses atouts de modularité et d'évolutivité permettent un lissage des investissements à l'échelle de l'aménagement d'un programme immobilier en fonction de l'évolution des besoins énergétiques à satisfaire. Lorsque de nouveaux besoins apparaissent, il est possible d'étendre la BETEG, en créant si nécessaire une nouvelle sous-station de production qui viendra s'intégrer parmi les autres. Si la ressource géothermique devient insuffisante en raison de ces nouveaux besoins, il est possible d'ajouter de nouveaux ouvrages géothermiques ou d'autre sources d'énergie renouvelable pour augmenter la capacité énergétique de la boucle d'eau tempérée.

Ce « smart grid thermique » représente une solution énergétique innovante de premier plan dans la perspective du développement du concept de la ville durable.

Pour une optimisation énergétique de la BETEG dans sa mise en œuvre, il est nécessaire de penser au stade de l'étude de faisabilité aux avantages qu'offre la BETEG. Pour ce faire, cela nécessite de bien comprendre de quoi elle est composée, comment elle fonctionne et comment elle est pilotée.

Dans une première partie le guide présente de façon générale le fonctionnement d'une BETEG. Chaque dispositif est ensuite présenté plus en détail. La démarche pour le dimensionnement d'une BETEG étape par étape est également explicitée.

Bonne lecture

Merci à l'ensemble des rédacteurs et pourvoyeurs de références, au sein de la maîtrise d'ouvrage comme de la maîtrise d'oeuvre

Jean-Marc PERCEBOIS (Accenta),
Hervé LAUTRETTE (GINGER-BURGEAP),
Jean-Loup LACROIX (STRATEGEO),
Hélène GALIA (Hydrogéologues Conseil),
Christophe LUTTMANN (Weishaupt-Géoforage),
Christophe RODRIGUEZ (Dalkia Smart Building),
Marie GUEHL (ADEME),
Astrid CARDONA-MAESTRO (ADEME),
Virginie SCHMIDLE-BLOCH (AFPG),
Armand POMART (AFPG),
Xavier MOCH (AFPG)

PARTIE 1

La boucle d'eau tempérée à énergie géothermique

1.1 La BETEG

La boucle d'eau tempérée à énergie géothermique dite « BETEG » est assimilée à un réseau de chaleur.

Elle est constituée :

- D'un dispositif de captage (ressource géothermique),
- D'un dispositif de mutualisation (boucle d'eau tempérée),
- D'un dispositif de production (Thermopompes ou PACs Géothermiques eau/eau),
- D'un dispositif de régulation.

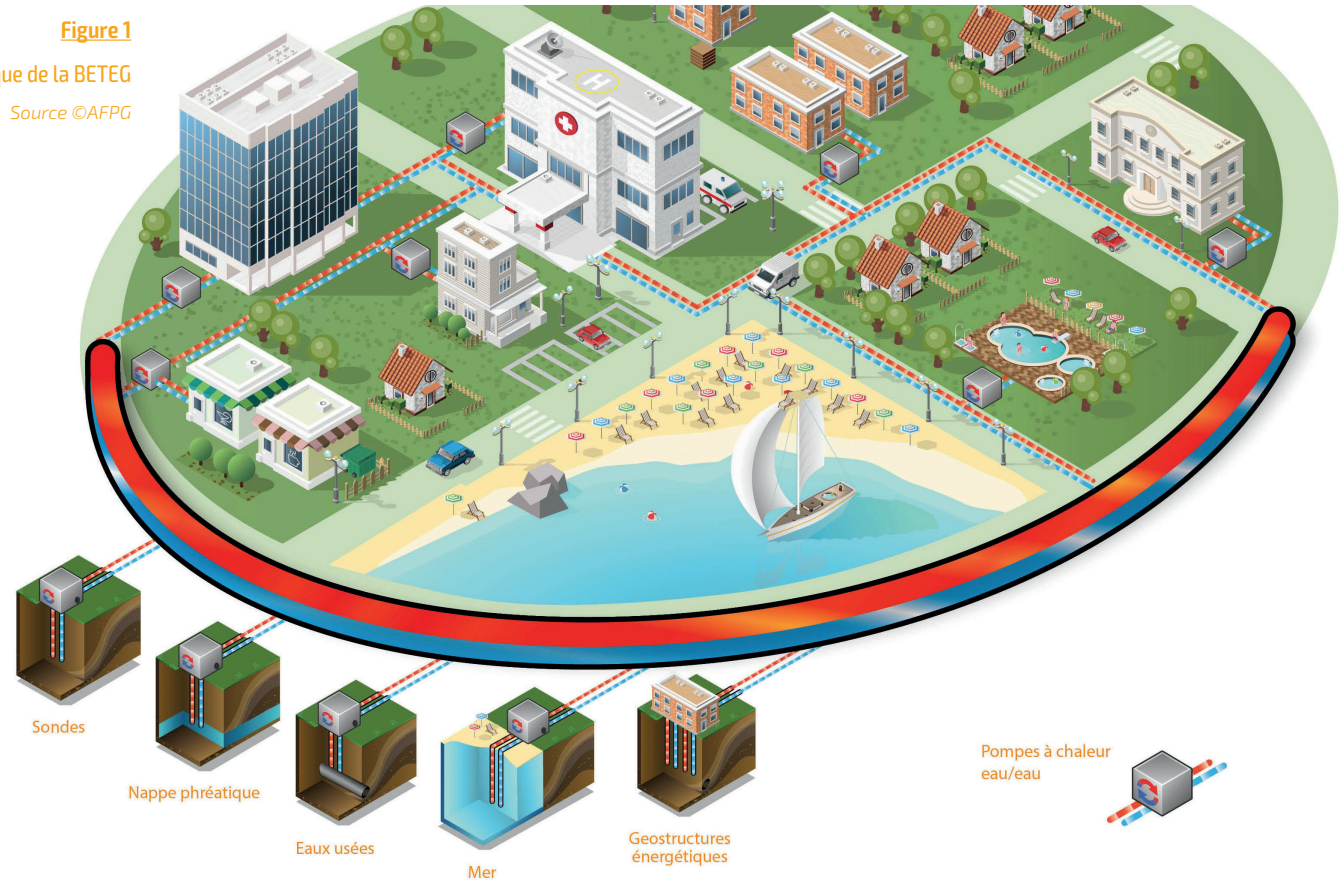
L'ensemble de ces 4 dispositifs représente le système énergétique constituant la boucle d'eau tempérée à énergie géothermique : BETEG.

La BETEG est un dispositif innovant basé sur une distribution de l'énergie thermique via le principe d'un réseau d'eau tempérée unique.

Figure 1

Synoptique de la BETEG

Source ©AFPG



Il s'agit d'une technologie émergente qui s'est développée ces dernières années en France au regard de l'atteinte des objectifs fixés par la loi de transition énergétique.

Elle constitue un réseau d'énergie thermique exploitant les ressources de la géothermie de surface. Elle permet aussi la valorisation des autres sources d'énergie renouvelable (solaire thermique, ...) ainsi que les sources d'énergie de récupération (EnR&R).

Elle se compose d'un réseau d'eau tempérée alimenté par une ou plusieurs ressources géothermiques couplées à des productions décentralisées.

Elle repose sur une distribution à basse pression d'une eau à très basse température (généralement inférieure à 30°C) ce qui caractérise la notion d'eau tempérée distribuée dans le réseau.

Ce réseau d'eau à très basse température alimente des sous-stations équipées de thermopompes eau/eau (PAC Géothermique). Ces équipements de production décentralisée (PACs Géothermiques) permettent une production de chaud, pour le chauffage et/ou l'eau chaude sanitaire (ECS), et de froid par bâtiment ou îlots de bâtiments. Le montage en « thermofrigopompe » de ces pompes à chaleur permet de répondre simultanément aux besoins de chaud et de froid en aval de la sous-station.

La BETEG peut être définie à partir du moment où est mise en œuvre une solution énergétique alimentant :

- A minima, deux bâtiments de typologies différentes (par exemple logement et tertiaire) ou bien identiques,
- Au plus, un quartier (bâtiments ou îlots) à l'échelle d'une ZAC.

La configuration de ce réseau d'énergie unique permet de mutualiser les échanges thermiques entre bâtiments et sources d'énergie. Par exemple, la consommation de froid d'un bâtiment rejettera des calories sur la boucle d'eau tempérée qui pourront être consommées par un bâtiment suivant.

De par la configuration des productions décentralisées et les différentes sources d'énergies qui l'alimentent, elle représente un « smart grid thermique » caractérisé par les spécificités de sa régulation.

Elle est juridiquement (réseau classé), réglementairement (RT2012 et RE2020) et économiquement (TVA à 5,5% si le taux d'EnR&R est supérieur à 50%) mise en œuvre sur le même principe que les réseaux de chaleur.

La BETEG constitue un réseau d'énergie innovant, évolutif, modulable, multi-énergies/multipoints, mutualisant l'énergie et doté d'une gestion « intelligente » du réseau.

1.2 Les ressources géothermiques associées

La boucle d'eau tempérée à énergie géothermique exploite les dispositifs de captage de la ressource géothermique de surface. Elle peut être développée à partir des dispositifs de captages géothermiques suivants :

- Sur nappe d'eau souterraine,
- Sur sondes géothermiques verticales (SGV),
- Sur collecteurs d'eaux usées,
- Sur eaux de rejet épurées des stations d'épuration (STEP),
- Sur fondations thermoactives (pieux, parois-moulées, radiers, voussoirs énergétiques),
- Sur fleuve ;
- Sur mer,
- Sur plan d'eau (lac, eau de mines ennoyées, ...),
- Sur infrastructures énergétiques (chaussées énergétiques).

La BETEG peut être constituée d'une seule ressource géothermique mais également de plusieurs ressources géothermiques et ce tout au long du réseau. Les ressources peuvent alimenter la boucle en différents points. La BETEG peut aussi être alimentée par de la chaleur dite « fatale » comme la chaleur émanant des data-centers, afin de compléter d'autres ressources.

Elle peut être multi-énergies et multipoints.

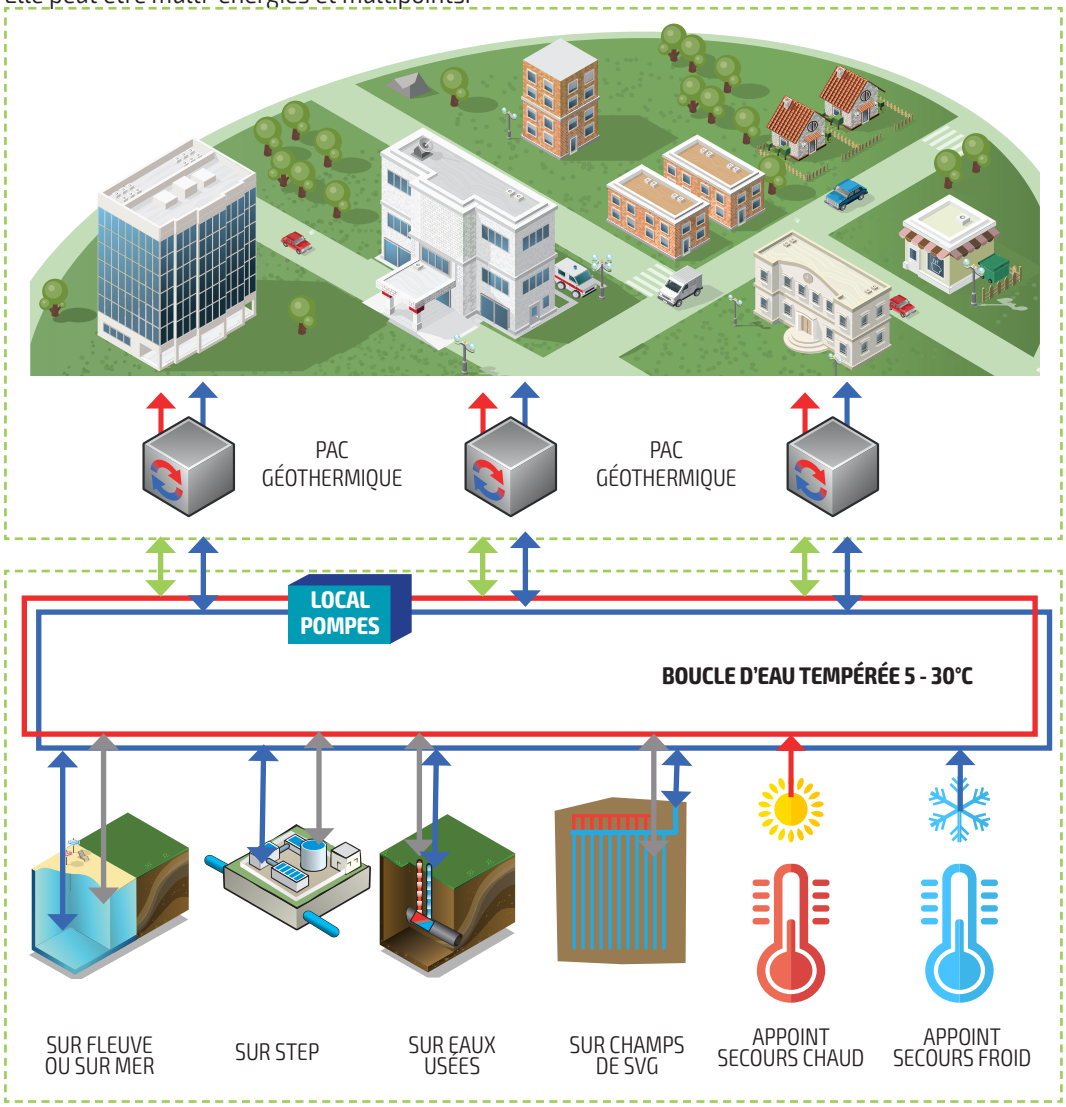


Figure 2

Synoptique de la BETEG Multi énergies et multipoints

Source ©AFPG d'après BURGEAP

1.3 Ses différents modes de production

Contrairement à un réseau de chaleur alimenté par une production centralisée, la boucle d'eau tempérée à énergie géothermique implique une production décentralisée par bâtiments ou par îlots de bâtiments (PACs Géothermiques décentralisées couplées à la boucle d'eau tempérée).

Cette production décentralisée permet de produire :

- Du chaud (chauffage, piscine, process, etc...),
- De l'eau chaude sanitaire,

- Du froid actif (climatisation, déshumidification et autres process),
- Du froid passif par géocooling (rafraîchissement).

Le mode de fonctionnement des dispositifs de production peut être simple (COP ou EER1) ou simultané par Thermo-Frigo Pompe (rendement constituant l'addition du COP et de l'EER de la PAC Géothermique en rapport avec les besoins simultanés appelés, par exemple la production d'ECS et de froid actif en été).

1.4 Sa capacité à mutualiser l'énergie entre bâtiments

L'atout majeur de la BETEG réside dans sa capacité à mutualiser les besoins énergétiques entre bâtiments. Lorsqu'un bâtiment produit du chauffage, il refroidit la boucle d'eau. Simultanément lorsqu'un autre bâtiment appelle des besoins de climatisation il réchauffe la boucle. Cette simultanéité de besoins permet ainsi de mutualiser les besoins énergétiques entre bâtiments et d'optimiser les rendements énergétiques des équipements de production.

La mutualisation des échanges thermiques entre bâtiments permet de foisonner les besoins énergétiques d'une opération. Le foisonnement des besoins en puissances à installer permet de réduire le dimensionnement des dispositifs de captage de la ressource géothermique. Les besoins n'étant pas forcément simultanés, la ressource géothermique peut servir de stockage comme décrit au paragraphe 1.6.

1.5 Son évolutivité et sa modularité

La boucle d'eau tempérée à énergie géothermique s'adapte à la programmation de l'aménagement d'un site.

En effet un de ses intérêts réside dans sa capacité à permettre l'étalement dans le temps de la mise en place des captages géothermiques comme des équipements en sous-stations. Ceci permet de lisser les investissements dans le temps, par exemple lorsque les bâtiments à relier à la boucle d'eau font eux-mêmes partie d'un programme de construction ou de rénovation dans la durée.

Le système de captage est dimensionné uniquement pour les besoins énergétiques connus. Si d'autres bâtiments venaient se greffer plus tard sur la boucle d'eau tempérée, le système de captage serait augmenté ou ajouté et connecté en n'importe quel point de la boucle, offrant ainsi une flexibilité totale.

Elle peut être multi-énergies, multipoints.

Elle constitue un réseau d'énergie thermique doté d'une grande évolutivité et flexibilité.

Deux des principaux atouts de la BETEG sont :

- Sa modularité (déploiement progressif) à travers sa capacité à pouvoir s'adapter à l'échelle de la programmation d'une opération d'aménagement d'un « éco-quartier »,
- Son évolutivité au niveau des sources d'énergies géothermiques et EnR&R qui l'alimentent.

Les investissements qui la composent peuvent être lissés en lien avec le phasage d'une opération. Cette modularité de la boucle d'eau tempérée permet d'optimiser les coûts d'investissement et de réduire le CAPEX2 de la solution.

1.6 Sa valorisation du stockage thermique

Le stockage de la chaleur ou froid donne une inertie thermique au système qui compose la BETEG.

Cette inertie thermique permet :

- De foisonner (diminuer ou annuler) les appels de puissances des bâtiments couplés à la BETEG,
- De diminuer le dimensionnement des ouvrages de captages de la ressource géothermique,
- De bénéficier d'une énergie neutre en impact environnemental,
- D'optimiser le fonctionnement de l'installation.

Plus largement, l'exploitation de la ressource géothermique composée d'une eau tempérée permet de faciliter le stockage de la chaleur et de froid. Le faible écart de température entre le stockage (dans la boucle et dans le sol) et son environnement permet de réduire les pertes énergétiques du système.

Sur ce principe, le stockage de l'énergie couplé à la BETEG se retrouve sur les équipements suivants :

- Le stockage intrinsèque à la boucle d'eau tempérée (Diamètre du réseau ; stockage additionnel sur la boucle).
- Le stockage adossé à la production (Ballon de stockage pour la gestion des court-cycles des Thermopompes (PACs Géothermiques)).
- Le stockage inter-saisonnier, sur aquifère (ATES - Aquifer Thermal Energy Storage) ou sur champ de SGV (BTES - Borehole Thermal Energy Storage), permet de valoriser l'inertie du sous-sol à travers le cycle saisonnier des besoins énergétiques des bâtiments. Le principe du stockage d'énergie thermique inter-saisonnier sur champ de SGV ou sur aquifère repose sur la notion de charge et décharge de calories sur le milieu exploité (sous-sol/nappe). Ce principe consiste en une extraction d'énergie en hiver pour recharger thermiquement la boucle d'eau tempérée (lors de la production des besoins calorifiques majoritaires des bâtiments) et en une injection d'énergie l'été pour évacuer le surplus de calories de la boucle d'eau tempérée (lors de la production de besoins frigorifiques majoritaires pour les bâtiments).

1.7 Sa régulation

La gestion des différentes sources de production et la régulation de la BETEG impliquent l'introduction d'équipements intelligents et NTIC (Nouvelles Technologies de l'Information et de la Communication).

Selon les différentes sources d'énergies exploitées, les smart grids électriques et thermiques peuvent être interconnectés afin d'optimiser les performances énergétiques et environnementales globales de la BETEG.

L'intégration des NTIC dans le Monitoring du système implique :

- La définition du principe de régulation de la BETEG (sous-station ou îlot de production/BETEG),
  - > Définition de l'analyse fonctionnelle des sous-stations,
  - > Définition de l'analyse fonctionnelle de la BETEG,
  - > Définition de l'analyse fonctionnelle selon les sources d'énergies exploitées.
- La définition du principe d'analyse et de supervision (connectiques et serveur associé local et distant),
- La définition des conditions d'exploitation (Gestion à distance de la maintenance du site).

La mise au point de cette régulation est la clé de l'assurance d'un fonctionnement optimal avec une maximisation des EnR&R et une consommation maîtrisée des énergies classiques.

1.8 Intégratrice d'EnR & R - Multi-Energies

La BETEG permet de valoriser l'intégration d'autres sources d'énergies renouvelables (EnR) ou de récupérations (EnR&R) à l'échelle de chaque opération avec la notion de 'Load balancing' (répartition de charges).

Les énergies complémentaires susceptibles d'être adossées à la BETEG peuvent être :

- L'énergie solaire :
  - Solaire thermique,
  - Solaire hybride.
- L'énergie fatale de :
  - Datacenter,
  - Patinoire,
  - Froid alimentaire,
  - Surabondance de besoins de climatisation sur une opération d'aménagement,
  - Process industriel.

A travers le déploiement d'une régulation dite « intelligente » qui lui octroie cette notion de « smart grid thermique », la BETEG peut être optimisée avec de l'autoconsommation procurée par des panneaux solaires photovoltaïques. A ce jour, l'autoconsommation d'électricité provenant de panneaux photovoltaïques installés dans le périmètre du projet n'est pas comptabilisée dans le calcul du taux d'EnR&R.

De par ces différentes sources d'énergies susceptibles de l'alimenter, la BETEG constitue un réseau multi-énergies, multipoints précepte de la ville durable.

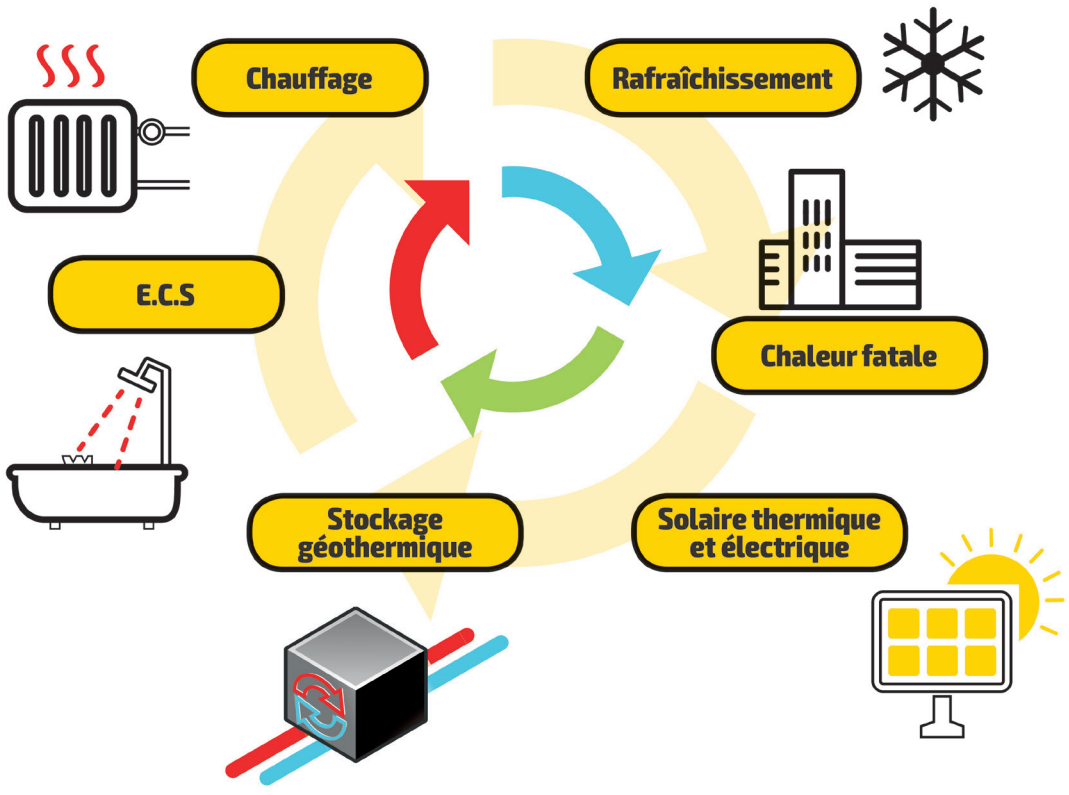


Figure 3

Synoptique Multi énergies – Production décentralisée – stockage thermique

Source ©AFPG d'après Accenta

1.9 La BETEG versus Réseau de chaleur

Les réseaux de chaleur classiques, même approvisionnés en énergies renouvelables (par exemple bois-énergie ou géothermie profonde), sont très différents d'une BETEG.

En effet ces premiers sont encore dans le schéma d'une production d'énergie centralisée et unidirectionnelle :

- Ils ne permettent pas d'échanges d'énergie entre bâtiments.
- Ils n'offrent pas de potentiel de synergie énergétique et de réduction de la demande.
- Ils doivent s'adapter à la température de fonctionnement du bâtiment le plus énergivore, entraînant souvent des températures de réseau élevées (80 à 140°C) et donc des pertes énergétiques importantes (rendement chaudière et surtout transport de l'eau chaude).

Il n'est donc pas cohérent de raccorder un bâtiment à haute performance énergétique (fonctionnement à « très » basse température < 45°C) sur un réseau de chaleur à haute température (80 à 140°C) ou basse température (60 à 80°C).

PARTIE 2

Détails des dispositifs équipant une BETEG

2.1 Le dispositif de Captage

2.1.1 Les captages

Le dispositif de captage se caractérise par le type de capteurs géothermiques qui est mis en œuvre pour alimenter la boucle d'eau tempérée.

Il constitue la source d'énergie renouvelable du système géothermique qui alimente le dispositif de mutualisation de l'énergie (la boucle d'eau tempérée).

Les capteurs géothermiques exploitent les ressources énergétiques du milieu naturel dans lequel ils sont implantés. La ressource géothermique est exploitée par extraction et injection de calories dans le milieu naturel par simple échange thermique. Elle permet d'assurer des besoins de chauffage/ECS, de climatisation et de rafraîchissement (géocooling).

Les dispositifs de captage de la ressource géothermique permettent la réalisation de projets compris typiquement entre 50 kW et 20 MW.

Les capteurs géothermiques concernent l'exploitation de plusieurs types de ressources :

- L'énergie naturellement présente dans le sous-sol à quelques mètres, voir centaines de mètres,
- L'énergie naturellement présente dans les aquifères,
- L'énergie présente dans les eaux usées (en collecteurs EU ou dans les effluents en sortie de STEP),
- L'énergie naturellement présente dans les cours d'eau, les plans d'eau ou la mer.

L'exploitation des différentes ressources géothermiques en capacité d'alimenter une boucle d'eau tempérée se réfère aux dispositifs suivants :

Les solutions sur nappes (de 1 mètre à plus de 800 mètres de profondeur)

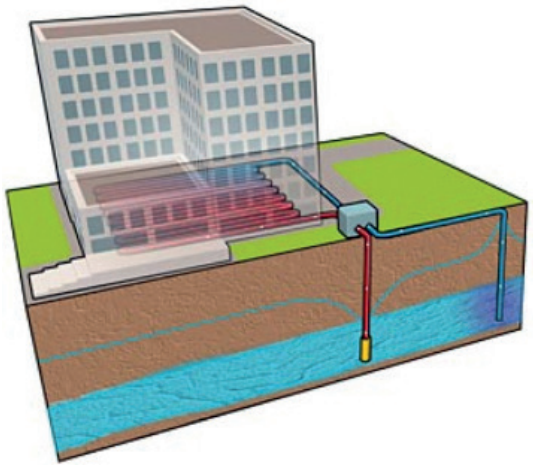


Figure 4

Schéma de principe d'un doublet géothermique sur nappe

Les solutions sur champ de Sondes Géothermiques Verticales ou champ de S.G.V (TC*) (de 50 mètres à 300 mètres de profondeur) ;

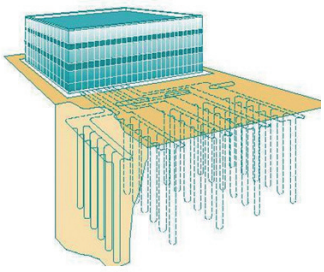


Figure 5

Schéma de principe de Sondes Géothermiques Verticales

Les solutions sur Sondes Géothermiques Profondes (SGP – de 300 mètres à 1 000 mètres de profondeur) ;

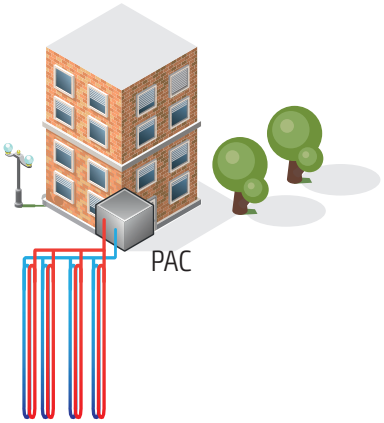
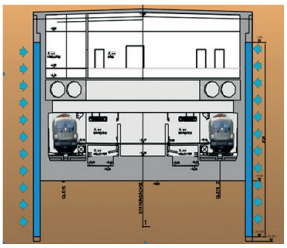


Figure 6

Schéma de principe de Sondes Géothermiques Coaxiales Profondes

Les solutions sur fondations énergétiques et infrastructures énergétiques (de 10 mètres à 50 mètres de profondeur) ;



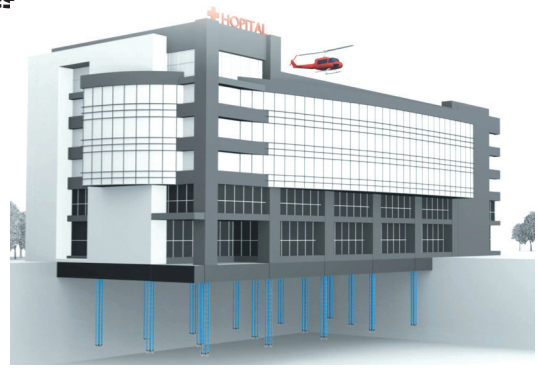
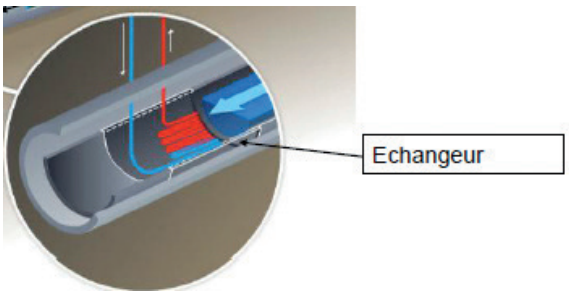


Figure 7

Schéma de principe de « géostructures » (Pieux énergétiques - Parois-moulées énergétiques)

Les solutions de récupération de la chaleur sur Eaux Usées (de 1 mètre à 5 mètres de profondeur) ;



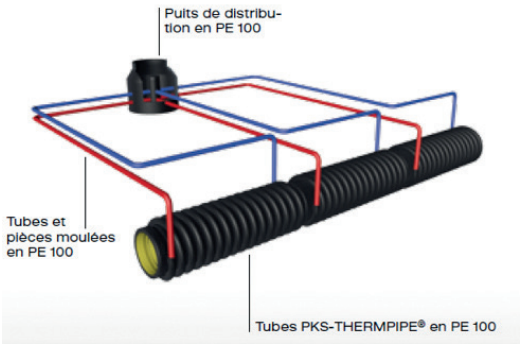


Figure 8

Schéma de principe de collecteurs d'Eaux Usées récupérant l'énergie des effluents et du terrain

Les solutions de récupération de la chaleur sur les effluents en sortie de STEP (en surface) ;

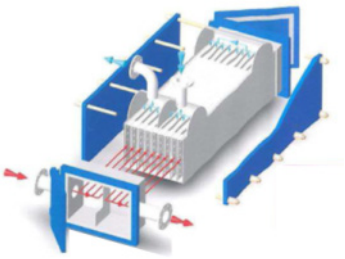


Figure 9

Schéma de principe d'échangeurs à plaques couplés au réseau d'eau épurée de rejet d'une STEP

Les solutions sur ETM ou ETF (Energies Thermodynamiques de Mer ou de Fleuve) (de 1 mètre à 200 mètres de profondeur) ;

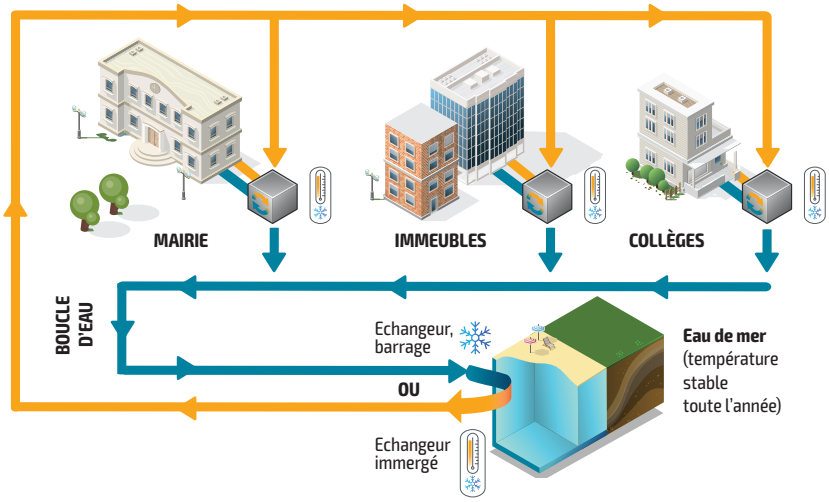


Figure 10

Schéma de principe d'un système d'Energie Thermodynamique sur eau de Mer (ETM)

Source ©AFPG

La mise en œuvre des dispositifs de captage représente à ce jour l'essentiel des travaux de forages (nappe et SGV) et de « Canalisateurs/VRD » (collecteurs/réseaux humides). Cela peut également se référer à des travaux de fondations (géostructures) ou à des travaux spéciaux (captages sur eau de mer, fleuve, rivière, plan d'eau, ou sur effluent en sortie de STEP).

Les capteurs géothermiques contribuent à l'essor de la ville durable en valorisant une énergie locale, renouvelable et décarbonée naturellement présente au droit de chaque projet à travers l'aménagement infrastructurelle des villes.

NOTA

L'attrait de la « Géothermie de Surface » réside aussi dans sa multitude de solutions de capteurs susceptibles d'équiper des ouvrages infrastructurels (collecteurs d'Eaux Usées, fondations, chaussées énergétiques, station d'épuration).

Figure 11

Photos de terrassement et de pose de réseaux de connexions d'un champ de SGV

Source BURGEAP/AFPG

Figure 12

Photo d'un atelier de forage

Source Augsburger Forages

2.1.2 Les stockages inter-saisonniers

Certains dispositifs de captage de la ressource géothermique permettent également de valoriser le principe de stockage d'énergie thermique (BTES ou ATES).

Figure 13

BTES (« Borehole Thermal Energy Storage » ou Stockage d'Energie Thermique sur Champ de SGV)

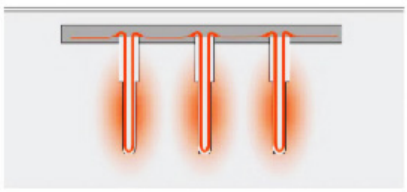


Figure 14

ATES (Aquifer Thermal Energy Storage » ou Stockage d'Energie Thermique sur Aquifère)

Les dispositifs sur BTES et ATES contribuent à valoriser le stockage inter saisonnier d'énergie thermique permettant ainsi d'accroitre l'intérêt que constitue la géothermie.

L'inertie du milieu exploité (sol ou aquifère souterrain) contribue à doter le dispositif de captage d'une capacité de stockage. Cette énergie stockée dans le sous-sol permet de valoriser la source d'énergie qui alimentera l'ensemble du système énergétique sur BETEG.

Le système énergétique associé bénéficie alors d'une source d'énergie stabilisée et/ou valorisée pour son exploitation.

Selon les usages (production de chauffage ou de climatisation) et la valorisation de l'énergie stockée, (refroidissement, maintien ou augmentation de la température du milieu exploité) le dispositif de captage contribue à accroître les rendements énergétiques des systèmes associés.

2.2 Le dispositif de Mutualisation – boucle d'eau tempérée

2.2.1 La boucle d'eau tempérée

Elle se compose d'un réseau d'eau tempérée alimenté par une ou plusieurs ressources géothermiques couplées à des productions décentralisées. La conception de ces sous-stations va permettre ensuite de satisfaire les besoins thermiques en aval, de chaud et/ou de froid.

Elle repose sur une distribution à basse pression d'une eau à très basse température (généralement inférieure à 30°C) ce qui caractérise la notion d'eau tempérée distribuée dans le réseau.

Compte tenu de ses températures de fonctionnement proches de la température du sol à 1 mètre de profondeur, la boucle d'eau tempérée peut être réalisée en tube de polyéthylène (PE HD) sans aucune isolation[1].

1

Une étude soutenue par l'ADEME sur le comportement thermique d'un réseau d'eau tempérée a permis d'apporter des réponses techniques et économiques concernant l'isolation des tuyauteries enterrées d'une boucle d'eau tempérée. Elle démontre que l'isolation des tubes n'est pas nécessaire..

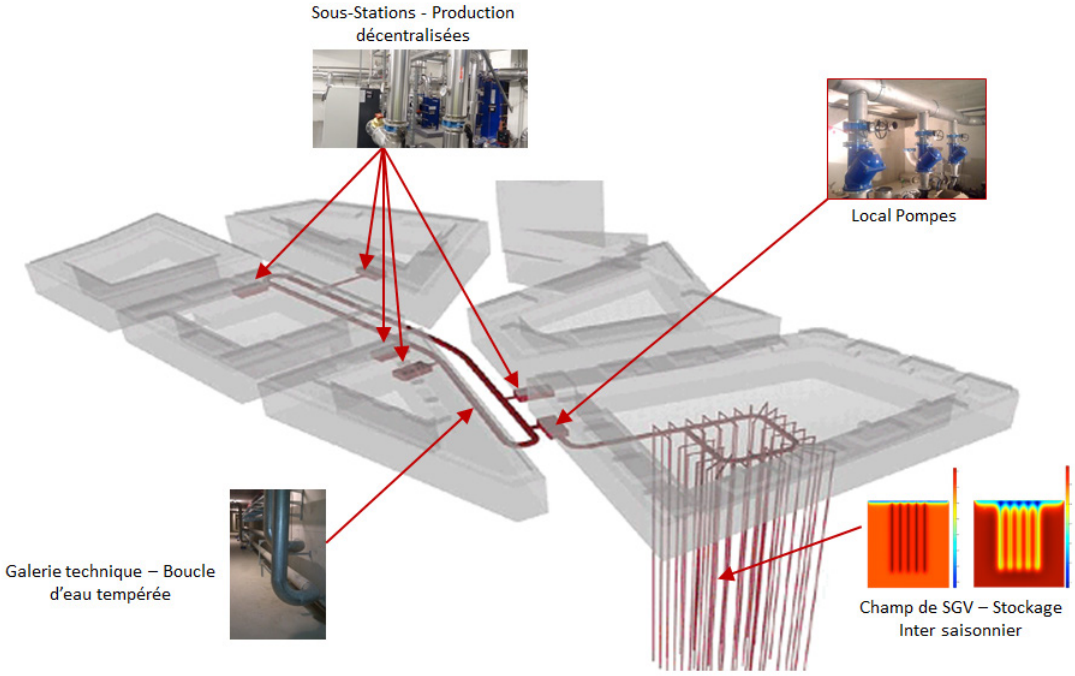


Figure 15

Synoptique de la BETEG – Production décentralisée

Source BURGEAP

Ce réseau d'eau à très basse température alimente un périmètre de sous-stations, chacune étant équipée de thermopompes eau/eau (PAC Géothermique eau/eau).

Le réseau hydraulique qui constitue la boucle d'eau tempérée doit idéalement être surdimensionné pour limiter les pertes de charges (et donc la consommation électrique) et offrir une possibilité d'extension sans contraintes du réseau.

Dès l'origine, il faut prévoir le parcours de la boucle d'eau, en s'appuyant sur son débit à terme pour choisir les bons diamètres.

Il représente des travaux de VRD et de canalisateurs (Voiries et Réseaux Divers).

2.2.2 Les pompes de circulation de la boucle d'eau tempérée

La distribution de l'eau tempérée au droit de chaque sous-station est assurée par les pompes de circulation du dispositif de mutualisation. Cœur du système, le contrôle-commande de ces pompes de circulation reposera sur l'intelligence de la régulation de la boucle d'eau tempérée.

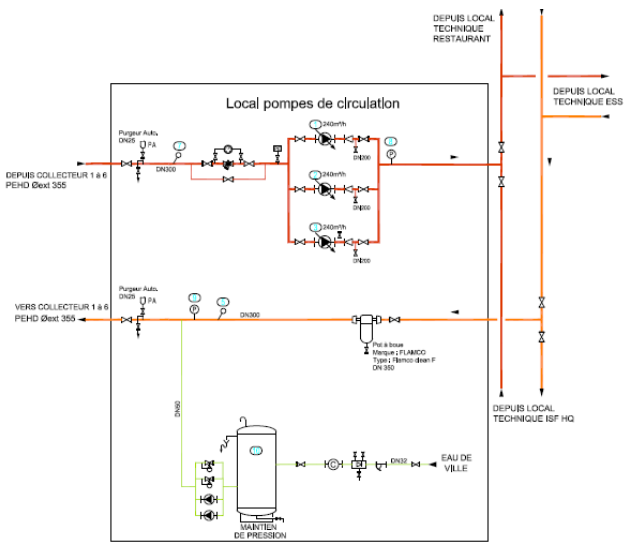


Figure 16

Synoptique hydraulique du local pompe d'une boucle d'eau tempérée

Projet AIRBUS, Source BURGEAP

La sélection des pompes de circulation s'effectuera sur la base de :

- Son débit hydraulique qui permettra de véhiculer la puissance nécessaire pour couvrir les besoins thermiques des bâtiments.
- Des pertes de charges ou hauteur manométrique à vaincre sur le réseaux

Ces pompes de circulation doivent impérativement être à débit variable et dotées d'un rendement énergétique performant pour des plages de fonctionnement à faible débit. Le rendement énergétique des pompes de circulation qui seront mises en œuvre est déterminant par rapport à la régulation du système et aux SPF (performances énergétiques globales de la BETEG) du système.

2.3 Le dispositif de Production

2.3.1 La Production

Le dispositif de production se caractérise par la « Thermopompe Eau/Eau » (PAC géothermique Eau/Eau) qui est mise en œuvre en sous-station et sa panoplie hydraulique. Il constitue le générateur du système géothermique.

La « Thermopompe » (PAC géothermique) produit simultanément de la chaleur côté condenseur et du froid côté évaporateur. Lorsque cette double-production est déséquilibrée par rapport aux besoins de la sous-station, il y a un reliquat d'énergie fatale, soit en chaud soit en froid. Cette énergie fatale sera captée par la boucle d'eau tempérée, afin d'être valorisée au sein d'une autre sous-station ou intégrée dans un dispositif de stockage, court-terme ou long-terme.

Ce dispositif de production représente des travaux de CVC (Chauffage/Ventilation/Climatisation).

Un dispositif de production comprend l'ensemble des équipements hydrauliques suivants :

- PAC Eau/Eau géothermique
- Echangeurs
- Pompes/Circulateurs à débits variables
- Vannes directionnelles motorisées
- Vannes modulantes motorisées
- Vannes de mélange
- Ballons tampon de stockage
- Sondes de températures
- Compteurs débit-métriques
- Compteurs d'énergies
- Pressostats
- Vases d'expansion
- Purgeurs
- Filtres à tamis
- Réseaux hydrauliques
- Calorifuge
- Fluide caloporteur (Eau et Mono Propylène Glycol)
- Groupe de maintien de pression
- Pompe de remplissage

La figure 16 présente le synoptique hydraulique d'un dispositif de production géothermique couvrant l'ensemble des usages d'un système et référençant les principaux équipements d'un dispositif de production (Thermopompe, échangeurs, circulateurs, ballons de stockage, vannes motorisées, sondes de températures).

Cette panoplie hydraulique est similaire à une installation de chauffage standard (chaudière gaz naturel ou fuel).

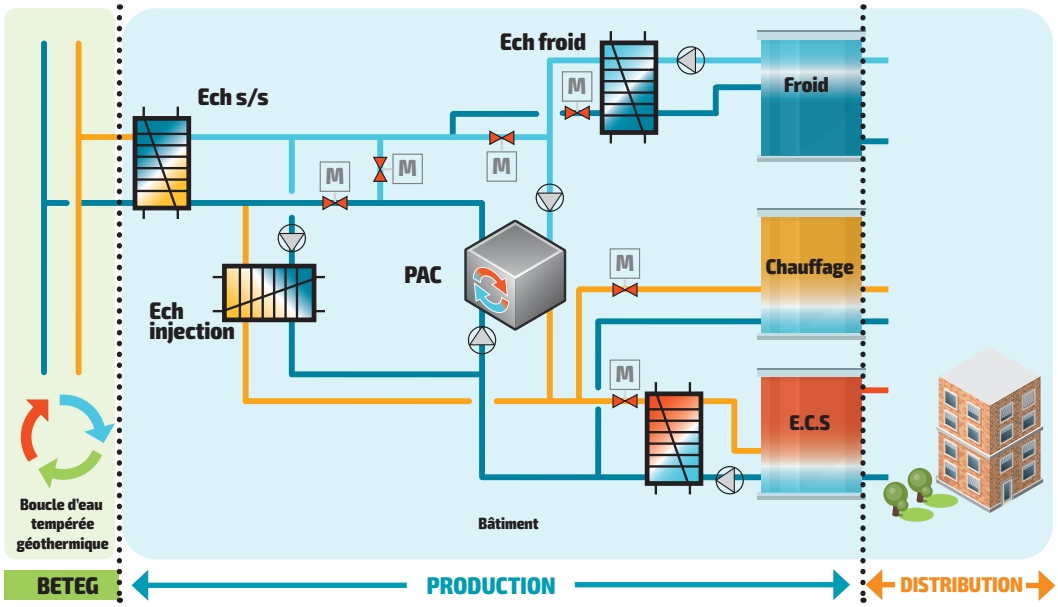


Figure 17

Synoptique hydraulique de principe d'un dispositif de production géothermique standard

Source ©AFPG

2.3.2 La Thermopompe ou PAC Géothermique

Une thermopompe ou PAC géothermique eau/eau est un dispositif thermodynamique qui permet une production d'énergie thermique par extraction ou injection de calories dans le milieu exploité (dispositif de captage - eaux/sous-sol). Le principe d'extraction ou d'injection des calories est assuré par le dispositif de captage de la ressource géothermique commandé par les dispositifs de production et de régulation.

Une thermopompe (PAC géothermique) consomme de l'électricité pour fonctionner au même titre que tous dispositifs thermodynamiques.

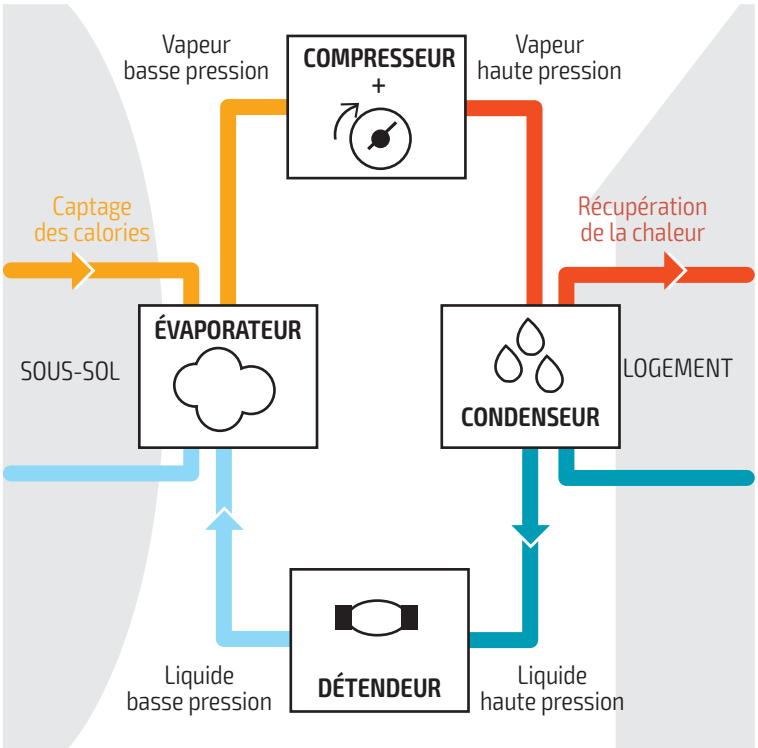


Figure 18

Cycle thermodynamique d'une PAC

Source ©AFPG d'après Guide ADEME/AFPG

La performance énergétique d'une installation de géothermie dépend de la qualité de la ressource géothermique mais doit prendre en compte dans l'élaboration de sa conception l'ensemble des paramètres d'intégration d'un tel système.

Les paramètres d'intégration d'une opération de BETEG sont entre autres les conditions d'exploitation du système (ses régimes de températures consignés à l'entrée et à la sortie de la PAC géothermique), la justesse des équipements hydrauliques couplés à la PAC géothermique (circulateurs, échangeurs, ballons de stockage, ...), l'analyse des différents modes de fonctionnement du dispositif de production (analyse fonctionnelle du système), et la régulation de l'ensemble du système.

Les performances énergétiques d'un système de géothermie dépendent intrinsèquement :

- De la qualité de la définition des besoins thermiques (puissances (kW/MW) et énergies (kWh/MWh)) du projet.
- De la qualité du dimensionnement du dispositif de captage de la ressource géothermique qui alimente le dispositif de production, fonction des besoins thermiques à couvrir.
- De la qualité du principe de mutualisation de l'énergie constitué par la boucle d'eau tempérée et de ses pompes de circulation qui consommeront de l'énergie électrique pour fonctionner.
- Des prescriptions en termes de fonctionnement et d'exploitation du système (régimes de températures de distribution, nature des émetteurs, ...).
- De la qualité de l'installation hydraulique (distribution) adossée au dispositif de production.
- De la qualité de la régulation qui assure le bon fonctionnement entre les dispositifs de captage (ressources géothermiques), de mutualisation (boucle d'eau tempérée) et de production (thermopompes) du système de géothermie.

Il convient de retenir que la thermopompe (PAC géothermique) couvre des besoins énergétiques en consommant une part d'énergie électrique, environ 1/5ème, et une part d'énergie renouvelable fournie par le dispositif de captage de la ressource géothermique, environ 4/5ème.

NOTA

Les automates de régulation sont paramétrés en lien avec les modes de fonctionnement qu'offre une installation de géothermie et entre autres à partir des équipements hydrauliques qui constituent la PAC Géothermique (compresseurs, nature du fluide frigorigène, plages de fonctionnement des compresseurs, régimes de températures côtés évaporateur et condenseur).

2.3.3 Ses usages et ses rendements

Le principal intérêt de la géothermie de surface et de la BETEG est sa capacité à produire simultanément ou séparément :

- Du chauffage,
- De l'Eau Chaude Sanitaire (ECS),
- De la Climatisation, (froid actif),
- Du rafraîchissement, (géocooling).

La puissance délivrée par le dispositif de production (Thermopompe ou PAC Géothermique) se caractérise par les formules suivantes :

→ Pour le chauffage : P. Calo = P. Elec + P. Géo

Avec P.Calo = puissance calorifique du dispositif de Production ;

P.Géo = puissance d'extraction provenant des capteurs géothermiques ;

P.Elec = puissance électrique absorbée par le(s) compresseur(s) de la PAC Géothermique.

→ Pour la climatisation :

P. Frigo = P. Géo – P. Elec

Avec P.Frigo = puissance frigorifique du dispositif de production ;

P.Géo = puissance d'injection vers les capteurs géothermiques ;

P.Elec = puissance électrique absorbée par le(s) compresseur(s) de la PAC Géothermique.

Le rendement d'une sous-station est défini comme étant le rapport entre la quantité d'énergie transférée par la PAC Géothermique (chaleur restituée dans le bâtiment) et l'énergie électrique (énergie utilisée pour faire fonctionner le compresseur de la PAC et ses auxiliaires) consommée pour réaliser ce transfert d'énergie.

Les performances énergétiques (rendement) d'une sous-station de géothermie sont évaluées à travers :

- Son SCOP (Coefficient de Performances Saisonnier),
- Son SEER (Coefficient d'efficacité énergétique frigorifique ou « Seasonal Efficiency Energy Ratio » en anglais).

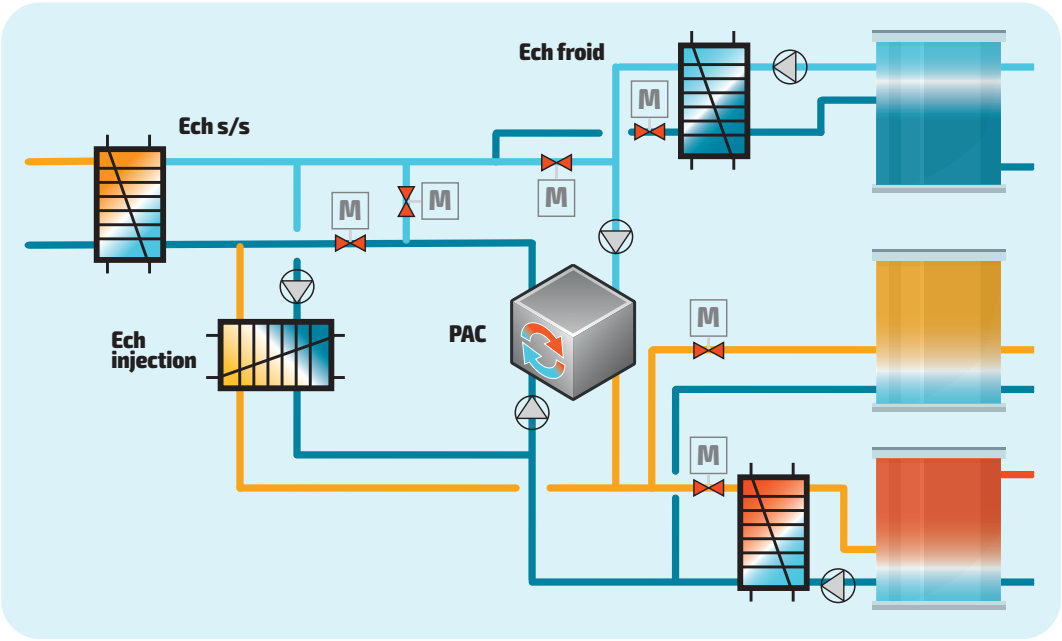


Figure 19

Schéma de principe de la production en sous-station, illustrant les différents échangeurs et circulateurs

Source ©AFPG

Le SCOP caractérise les performances énergétiques de la production de chauffage/ECS. Il constitue le rapport de l'énergie calorifique produite par le système géothermique par rapport à la somme de l'énergie électrique consommée par la PAC Géothermique à travers son rendement (SCOP PAC Géothermique), plus le circulateur alimentant l'évaporateur de la PAC Géothermique.

Le SEER caractérise les performances énergétiques de la production de froid actif (climatisation). Il constitue le rapport de l'énergie frigorifique produite par le système géothermique par rapport à la somme de l'énergie électrique consommée par la PAC Géothermique à travers son rendement (SCOP PAC Géothermique), plus le circulateur alimentant le ballon de stockage de froid.

Ces « rendements » caractérisent les performances énergétiques annuelles d'un dispositif de production constitué de la PAC Géothermique et ses auxiliaires (circulateurs Pévaporateur(s) et Pfroid).

Les performances énergétiques d'un dispositif de production sont fonctions :

- Des régimes de températures dimensionnés côté captage,
- Des régimes de températures préconisés côté distribution.

Le SCOP d'une installation est défini par :

SCOP = E.Calo/E.Elec

Le SEER d'une installation est défini par :

SEER = E.Frigo/E.Elec

Le SCOP/SEER d'une installation de géothermie varie entre 4 (400%) et 12 (1 200%) selon :

- Son mode de fonctionnement (chauffage/ECS/Climatisation/TFP),
- Ses régimes de températures consignés pour chaque mode de production,
- Les plages de températures de la ressource géothermique qui alimentent le dispositif de production.

Figure 20

Photo panoramique d'une station de production géothermique

Source BURGEAP/MINO/ WATERKOTTE

2.3.4 Ses modes de fonctionnement et ses performances

Les modes de fonctionnement d'un système de géothermie sont :

- Le chauffage : il constitue une production de chauffage et indirectement de préchauffage d'ECS via la PAC Géothermique (rendement de 400 à 700%) sur le principe d'extraire les calories de la ressource géothermique lors de son fonctionnement (régimes de températures de 35°C/30°C à 45°C/40°C) ;
- L'ECS : il constitue une production d'Eau Chaude Sanitaire via la PAC Géothermique (rendement de 300 à 450%) sur le principe d'extraire les calories de la ressource géothermique lors de son fonctionnement (régimes de températures final de l'ordre de 60°C/55°C)
- Le géocooling : il constitue un moyen de rafraîchir par simples échanges thermiques entre la ressource géothermique et le bâtiment, sans fonctionnement de la PAC Géothermique (rendement de l'ordre de 3 000% à 5 000%) (régimes de températures à partir de 15°C à 17°C – 15°C/20°C à 18°C/23°C) ;
- Le froid actif : il constitue une production de froid dit de climatisation via la PAC Géo (rendement de 400 à 700%) sur le principe d'injecter des calories dans la ressource géothermique lors de son fonctionnement (régimes de températures standard de 7°C/12°C à 17°/22°C) ;
- Le Thermo-frigo Pompe ou TFP : il constitue un mode de production simultanée de chauffage/ECS et de climatisation sans exploiter la ressource géothermique (rendement de 700 à 1200%), fonctionnant uniquement sur ses ballons de stockage intermédiaires de chaud et de froid adossés à la PAC Géothermique. Les régimes de températures sont fonctions des températures consignées pour les modes de production de chauffage et de climatisation. On parle aussi de « double service » ou « triple service » (production de chauffage, d'ECS et de climatisation).

Ces différents modes de fonctionnement octroient à la géothermie de surface la capacité à pouvoir couvrir l'ensemble des besoins thermiques du bâtiment (plus largement des bâtiments neufs ou rénovés, agricoles, de process viticoles et industriels).

2.4 Le dispositif de régulation

2.4.1 La régulation

Le dispositif de régulation constitue l'intelligence du système. La régulation est intégrée aux armoires électriques et de contrôle-commande de l'installation.

Elle est assurée par des équipements de communication qui relient les équipements télécommandés et motorisés aux automates de régulation. Les automates permettent de contrôler le fonctionnement des thermopompes (PAC Géothermique) et de piloter et commander le fonctionnement de l'ensemble des équipements motorisés (pompes de circulation, circulateurs, vannes motorisées, adaptation de puissances, ...).

Le dispositif de régulation intègre des moyens de communication (passerelle de communication et d'interconnexion : ModBus IP, ModBus RS485, BACnet, ...) entre automates.

Il représente des travaux électriques et de GTC (Gestion Technique Contrôlée – développement de Software/Programmation).

La régulation est élaborée à partir de l'analyse fonctionnelle du système. L'analyse fonctionnelle représente la projection des différents modes de fonctionnement de l'installation, associée à la gestion/régulation des différents équipements motorisés (thermopompes, circulateurs, vannes motorisées, sondes de températures).

La régulation du système comprend un « programme/software » adapté à la gestion des différents modes de fonctionnement de l'installation.

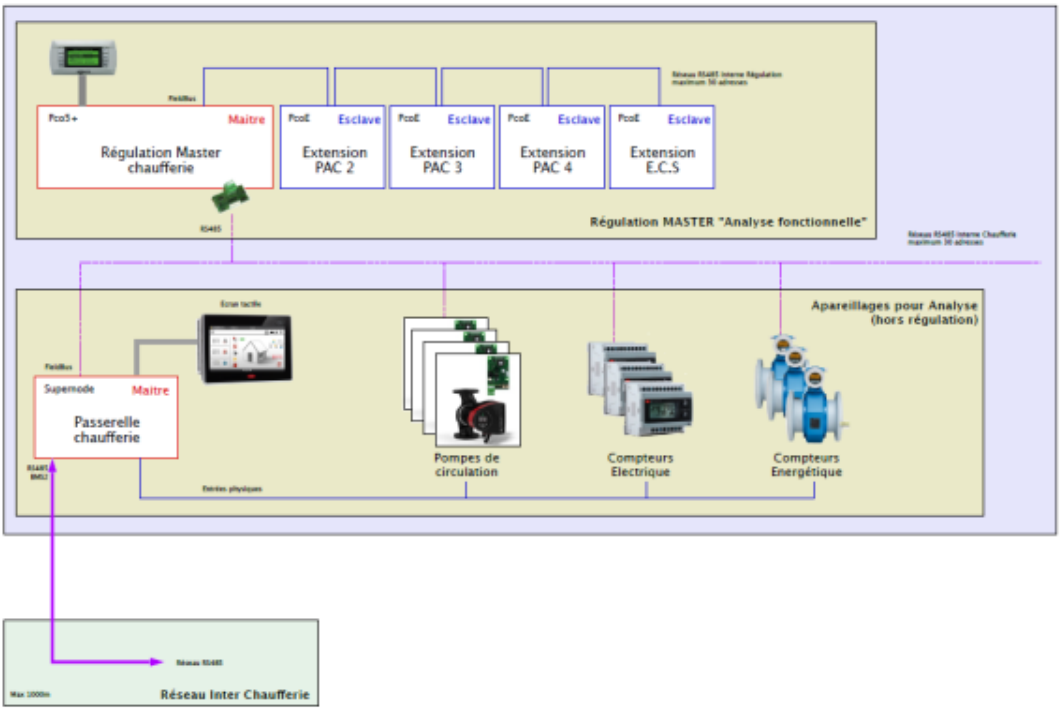


Figure 21

Synoptique réseau de la Régulation - GTC d'une installation

2.4.2 L'analyse fonctionnelle

L'analyse fonctionnelle consiste à « décrire » le fonctionnement des dispositifs de production (sous-station) et de mutualisation (boucle d'eau tempérée) à travers l'ensemble des équipements hydrauliques, de télécommunication et électriques qui composent le système.

Elément clef d'une installation, elle permet de définir le principe de régulation et de supervision (GTC – Gestion Technique Contrôlé du système) qui assurera le bon fonctionnement de la BETEG.

Adossée aux synoptiques et aux schémas hydrauliques d'une installation projetant schématiquement chaque mode de fonctionnement du dispositif, l'analyse fonctionnelle permet :

- De recenser et de caractériser l'ensemble des équipements de télécommunication permettant d'assurer la régulation et la supervision du système,
- De définir le protocole de communication des équipements de télécommunication.

L'analyse fonctionnelle doit comprendre a minima :

La présentation du principe de fonctionnement de l'installation comprenant :

- La présentation générale du système mis en œuvre,
- Le bilan thermique du projet comparativement au bilan thermique du système préconisé,
- La description du dispositif de capteurs géothermiques (ressources géothermiques) ;
- La description du dispositif de mutualisation (boucle d'eau tempérée),
- La description du dispositif de production (sous-station, Thermopompes),
- La description du principe de régulation et de supervision :
  - Présentation des armoires électriques et de contrôle/commande,
  - Caractérisation des automates de régulation,
  - Caractérisation des automates de supervision,
  - Protocole de communication utilisé (Modbus, BacNet, …).
- Le schéma de principe hydraulique de l'installation,
- L'inventaire et la caractérisation des différents réseaux hydrauliques constituant le système (Réseau géothermique, réseau de la boucle d'eau tempérée, réseau de chauffage (condenseur), réseau d'eau glacée (évaporateur), …),
- L'inventaire des différents modes de fonctionnement projetés du système.

La description du principe de fonctionnement de la BETEG :

- Caractéristiques des pompes de circulations (débit, pertes de charges, plage de fonctionnement, rendement énergétique),
- Mise en fonctionnement des pompes de circulation de la BETEG,
- Arrêt des pompes de circulation.

La description du principe de fonctionnement des sous-stations :

- Mise en fonctionnement de la thermopompe (PAC Géothermique),
- Arrêt de la thermopompe (PAC Géothermique).

Si plusieurs thermopompes (PAC Géothermiques) :

- Mise en fonctionnement des pompes à chaleur en cascade,
- Arrêt des pompes à chaleur en cascade.

Si Appoints ou Load Balancing :

- Enclenchement de l'appoint chauffage,
- Arrêt de l'appoint chauffage,
- Enclenchement de l'appoint climatisation,
- Arrêt de l'appoint de climatisation.

L'analyse des différents modes de fonctionnement :

- L'inventaire des différents modes de fonctionnement du système,
- La codification des modes de fonctionnement,
- La description des différents modes de fonctionnement à travers les équipements de télécommunication sollicités et leurs conditions initiales de démarrage,
- Les synoptiques hydrauliques caractérisant l'ensemble des équipements de télécommunication sollicités pour chaque mode de fonctionnement.

L'inventaire et la description de l'ensemble du matériel de télécommunication :

- Le recensement de chaque équipement de régulation :
  - Thermopompes (PAC Géothermique),
  - Pompes/circulateurs,
  - Vannes motorisées,
  - Sondes de températures,
  - Compteurs débit-métriques,
  - Compteurs d'énergies,
  - Pressostats,
- Comprenant la définition de la fonction qu'exerce chaque équipement recensé dans le système :
  - Télémesure,
  - Télécommande,
  - Télé réglage,
  - Téléalarme,
  - Télésignalisation.
- Précisant le « Bus » de communication associé à chaque équipement :
  - Type de réseaux et connexions utilisés (Modbus, BacNet, ...).
- La liste des points de GTC (Gestion Technique Contrôlée) associée à chaque équipement de télécommunication.

La définition du réseau de GTC de la BETEG

- L'architecture du réseau,
- La nomenclature du réseau de GTC reportée sur le schéma hydraulique de l'ensemble de l'installation.

2.4.3 La supervision ou l'hypervision

Elle permet d'avoir une vision d'ensemble de l'état du système et de sa performance, avec des vues générales et/ou détaillées. L'architecture d'un réseau constitue un système articulé autour :

- D'une régulation pour chacune des sous-stations,
- D'une régulation de la boucle d'eau tempérée,
- D'une solution de supervision accessible localement et à distance.

Les régulateurs des sous-stations « esclave » sont interconnectés par un réseau (généralement RS485 ou IP), au régulateur de la boucle d'eau tempérée « maître ».

La régulation de la boucle d'eau tempérée est connectée à Internet via une box internet ou un routeur 4G.

Les équipements électro-commandés (thermopompes, vannes, circulateurs, appoints, instrumentations de mesure, ...) sont connectés en Modbus (ou tout protocole ouvert et interopérable) et/ou en direct sur l'automate de la boucle d'eau tempérée ou l'automate des sous-stations.

Les automates des sous-stations sont connectés aux GTC des bâtiments par une connectivité « Building Management System » multi-protocoles.

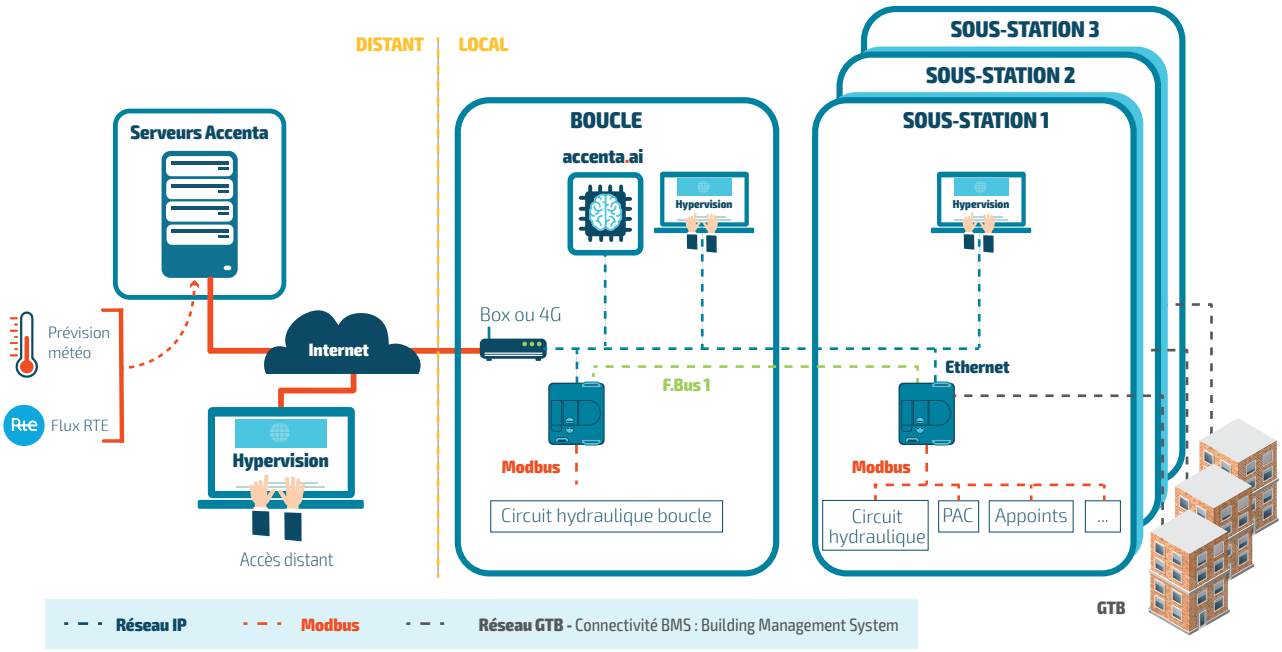


Figure 22

Synoptique réseau d'hyper vision

Source ©AFPG d'après Accenta

2.4.4 La régulation de la boucle d'eau tempérée

Un des points essentiels est la capacité à anticiper et réguler les pompes de circulation de la boucle tempérée.

- Le débit dans la boucle doit être en permanence adapté en fonction de l'appel de puissance (soutirage et/ou injection) des sous-stations ;
- Il faut gérer en conséquence les dispositifs présents (stockage long terme, stockage court terme, appoint chaud et/ou froid, apport d'énergie par de l'eau non potable, solaire thermique et/ou photovoltaïque, etc.)

On peut apprécier la multitude des possibilités qui s'offrent au régulateur de la boucle d'eau tempérée.

La première des conditions est la mise à l'arrêt des pompes de circulation lorsqu'aucun appel de puissance n'est demandé sur la boucle d'eau.

Dès qu'une des sous-stations a une demande de puissance (extraction ou injection) il faut que le régulateur de la boucle d'eau tempérée choisisse en fonction des conditions de température quel dispositif doit apporter ou évacuer la puissance de la sous-station.

Pour cela il est nécessaire qu'il y ait des échanges d'informations entre les régulateurs des sous-stations et le régulateur de la boucle d'eau. Il est préférable que ces informations soient anticipées afin d'être dans les meilleures conditions hydrauliques à l'entrée de chaque sous-station.

2.4.5 La régulation de la sous-station

Outre le fait qu'elle doit être capable de réguler le mode chaud, froid passif ou actif, la production d'eau chaude sanitaire, les modes TFP (thermofrigopompe), les appoints s'il y a lieu, elle doit également envoyer des informations au régulateur de la boucle d'eau tempérée.

Elle doit également gérer les écarts de température, ce qui induit la gestion du débit et donc de la puissance. Cette gestion est indépendante du régulateur de la boucle.

Elle doit envoyer au régulateur de la boucle des informations de puissance (extraite ou injectée) avec les niveaux de compresseurs actifs. Il est indispensable que ces informations soient transmises avant que la production ne démarre (mode d'anticipation), pour que le régulateur de la boucle tempérée qui commande les pompes de circulation du réseau prépare l'hydraulique pour la sous-station.

Ces informations sont ensuite transmises au fil de l'eau (temps réel) quand la sous-station est en mode production sur la boucle (extraction ou injection) afin que le régulateur de la boucle tempérée adapte la puissance appelée ou injectée par la ou les sous-stations.

2.4.6 Les interactions entre sous-stations

Suivant la typologie des usages présents tout au long de la boucle tempérée et le montage hydraulique, il est possible de créer ou forcer un mode 'TFP' entre 2 sous-stations.

Bien que simple dans son explication, le procédé reste délicat à mettre en œuvre en réalité.

Le principe est que si une sous-station a un besoin de froid (elle va donc renvoyer de l'énergie chaude dans la boucle) et que la sous-station suivante a un besoin de chaud ou qu'on force ce besoin, alors on peut profiter de la connexion entre ces deux sous-stations pour mettre en œuvre un fonctionnement identique à celui en TFP.

Cette énergie n'est pas fournie ni évacuée à la boucle d'eau tempérée. On peut créer ce fonctionnement en respectant le schéma donné par la figure 29.

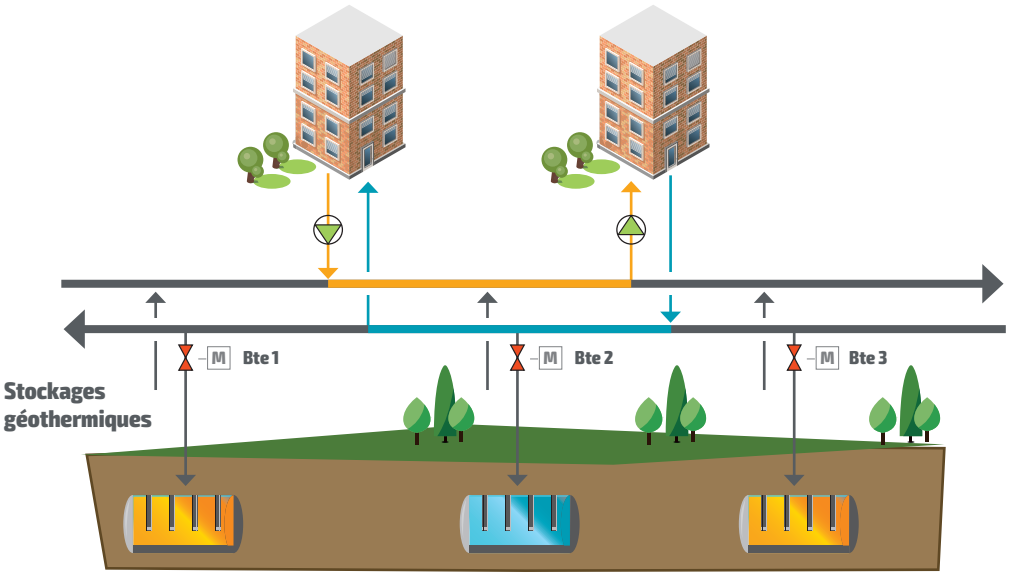


Figure 23

Synoptique – équilibre de transfert d'énergie injectée et extraite entre sous-station sur la boucle d'eau

Source ©AFPG d'après Accenta

2.4.7 Monitoring et Analyse

Le monitoring et l'analyse du système énergétique d'une boucle d'eau tempérée seront effectués grâce à l'acquisition et au traitement de l'ensemble des données provenant des automates process. Ces données devront être remontées localement et éventuellement sur un serveur distant.

2.4.8 Le comptage

Un des volets importants est le comptage du système. Comme nous l'avons vu il y a une multitude de dispositifs qui peuvent à la fois être des apporteurs d'énergies et/ou réceptacle d'énergie.

Il est nécessaire de poser et de mettre en place des systèmes de comptages. Ceci ne se résume pas à juste poser un compteur par dispositif. Il faut être capable de dissocier la valeur de ce compteur en fonction des différents besoins. Il faut donc créer des sous-comptages « virtuels ».

Ces sous-comptages permettront une analyse fine des différents modes de la boucle et de tout son dispositif associé. Une analyse de ces comptages pourra par la suite permettre une modification de l'analyse fonctionnelle pour améliorer l'efficacité énergétique du dispositif global et maximiser le taux d'EnR&R et très souvent diminuer les coûts.

Les compteurs associés aux sous-comptages serviront à l'élaboration de rapports mensuels et annuels afin d'apprécier le fonctionnement mais surtout ses performances.

L'installation devra prévoir :

- Un système hardware et une interface graphique pour l'enregistrement et le traitement de toutes les données brutes (pression, débit, température, puissance, énergie, ...) à un pas de temps d'une minute si possible ;
- La production de rapport de synthèse permettant le suivi de performance du système énergétique (rendement, puissance, énergies consommées et produites). Pour le suivi des aides accordées au titre du Fonds Chaleur, le format de reporting doit être conforme aux exigences de l'ADEME ;
- L'accès à distance aux données brutes complètes et synthétiques permettant d'assurer un suivi de la performance ;
- Une remontée des données synthétiques vers la GTB ;
- La production de rapports mensuels et annuels de performance globale et spécifique ;

Il est préférable de prévoir l'édition de rapport qui permettront de montrer a minima les points suivants :

- Tableau général de la production.
- Graphique d'énergie thermique, frigorifique et électrique générale,
- Comparatif avec la STD du bâtiment,
- Rapport énergie thermique / énergie électrique,
- Détails du fonctionnement en mode thermofrigopompe « TFP »,
- Heures de fonctionnement des PAC et compresseurs,
- Energie injectée et soutirée dans le ou les système(s) de captage, ratio entre énergie extraite et injectée et évolution de la température du système de captage
- Energie produite par mode de fonctionnement et source de production, dont mise en valeur de l'énergie mutualisée au sein d'une sous-station ou entre des sous-stations.

PARTIE 3

Le principe d'une boucle d'eau tempérée

3.1 Première étape – mise en communication

La mise en communication des bâtiments est la première étape à franchir pour créer une boucle d'eau tempérée à énergie géothermique. Pour cela on utilise 2 tubes hydrauliques :

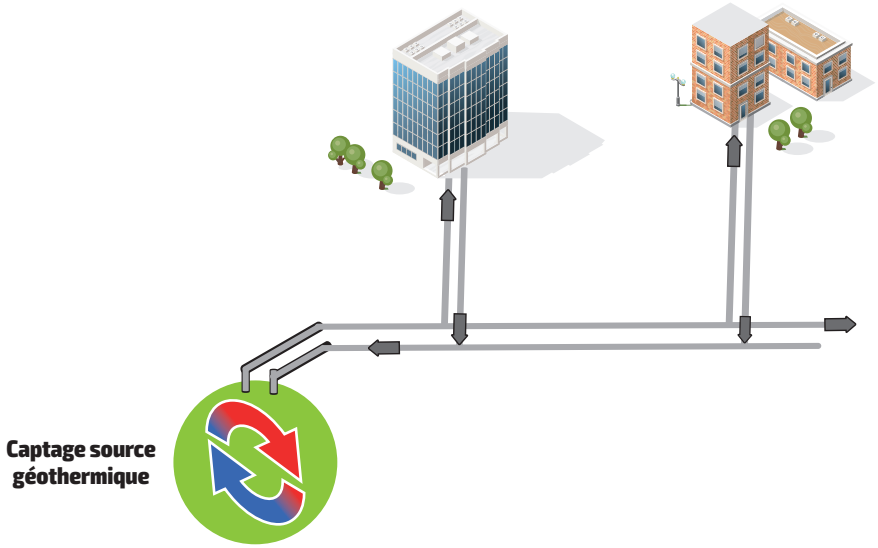


Figure 24

Principe d'interconnexion

Source ©AFPG d'après Accenta

Chaque bâtiment est raccordé sur la boucle d'eau tempérée, qui les relie ainsi entre eux.

Compte tenu de ses températures de fonctionnement proches de la température du sol à 1 mètre de profondeur, la boucle d'eau tempérée peut être réalisée :

- En tube de polyéthylène sans aucune isolation lorsqu'elle est enterrée
- En tube acier, inox ou PE avec ou sans isolation lorsqu'elle est disposée en galerie technique.

Le diamètre des conduites hydrauliques sera très largement dimensionné (pertes de charge d'environ 30 Pa/m maximum) afin de permettre aux pompes de circulation de faire circuler l'eau avec un minimum de consommation électrique.

La vitesse d'écoulement classique est de l'ordre de 1 m/sec.

Ces diamètres plus importants donnent à la boucle d'eau tempérée une forte inertie thermique. Par exemple, supposons que la boucle d'eau tempérée soit dimensionnée pour une puissance de 200 kW et un écart de température entrée/sortie de 5°C. Dans ce cas, on utilisera typiquement deux tubes de 125 mm ayant une épaisseur de 11,4mm. Ainsi, par mètre de tranchée, on trouvera $2x(\pi.0,05112x1)$ m^3, soit environ 16,4 litres d'eau. Une variation de 5°C de cette masse d'eau correspond à une énergie de près de 1 kWh pour 10 mètres de tranchée.

La boucle d'eau tempérée constitue en soi un stockage thermique de par la masse d'eau tempérée qu'elle véhicule.

La boucle d'eau tempérée stocke l'énergie thermique et permet ainsi d'assurer un déphasage lorsque les besoins mutualisés de chaud et de froid ne sont pas simultanés.

Cet élément est également à prendre en compte dans le pilotage de la boucle, notamment pour éviter les courts-cycles. En reprenant l'exemple précédent avec 200 mètres de tranchées, la boucle d'eau tempérée peut fournir 20 kWh avant que l'eau refroidie de 5°C ne revienne. A plein régime (200 kW), ceci représente un délai de 6 minutes.

D'une façon plus générale, ce délai est de 2 secondes par mètre de tranchée, aux arrondis près liés au matériel utilisé.

3.2 Seconde étape - alimenter, stocker, valoriser

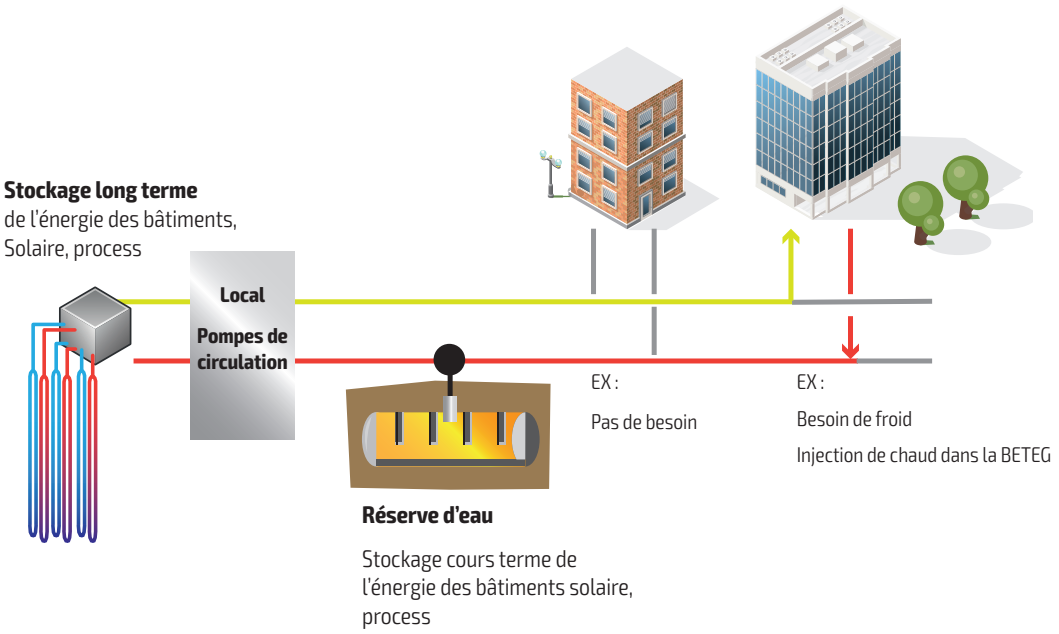
Qu'il s'agisse de chaleur fatale ou d'énergie solaire, les énergies intermittentes ne sont pas toujours disponibles et ne coïncident pas nécessairement avec les besoins des bâtiments.

Une solution pour ne pas perdre toute cette énergie gratuite est de la réutiliser en période de demande (période hivernale) : il est alors nécessaire de la stocker d'une manière inter-saisonnière.

Figure 25

Synoptique simplifié avec stockage inter-saisonnier

Source ©AFPG d'après Accenta



Le stockage long terme

Pour cela la boucle d'eau tempérée est typiquement raccordée à des stockages géothermiques[5] qui sont utilisés comme stockage de chaleur.

Ainsi la boucle d'eau tempérée peut récupérer la chaleur fatale ou renouvelable[6] pour la stocker dans des stockages géothermiques, et la valoriser plus tard via des thermopompes (pompes à chaleur géothermiques) décentralisées présentes dans les sous-stations des bâtiments ayant des besoins de chauffage.

Bien entendu, il se peut qu'un besoin de chauffage coïncide avec des rejets de chaleur : dans ce cas l'énergie ne transite pas dans le stockage géothermique mais directement d'un bâtiment à l'autre.

[5] Champs de sondes géothermiques (BTES – Borehole Thermal Energy Storage) ou aquifères (Aquifer Thermal Energy Storage)stockage inter-saisonnier

[6] Eaux usées, process, climatisation, solaire thermique ou hybride...

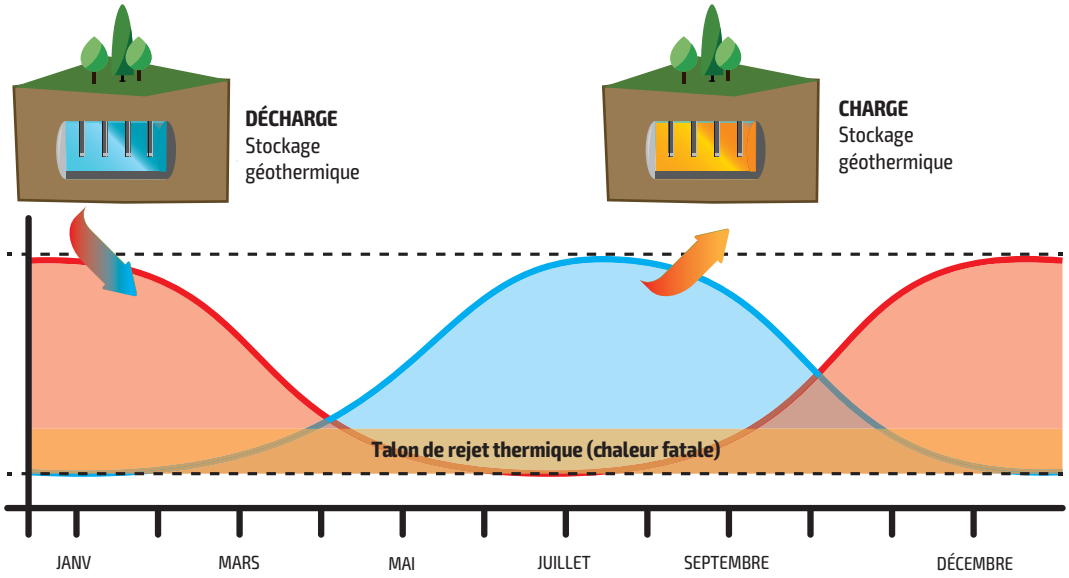


Figure 26

Synoptique transfert d'énergie thermique

Source ©AFPG d'après Accenta

Le stockage court terme

Si le stockage long terme permet de mettre en adéquation le système de captage avec celui des besoins du bâtiment, il ne permet pas de passer des pics horaires. C'est là où le stockage court terme assure une fonction de lissage de la puissance et/ou de la température de la boucle d'eau tempérée. Il existe plusieurs solutions (réserve d'eau enterrée, cuve incendie…)

L'énergie pour passer ces pics horaires peut être suffisamment importante selon la capacité du volume de stockage. Pour exemple, une cuve de 100 m^3 permettra de stocker et/ou produire une énergie de 580 kWh pour une variation de température de 5 K (100 m^3 x 5 K x 1,16 kWh/(m^3.K) = 580 kWh), et donc fournir 580 kW supplémentaires pendant une heure.

Figure 27

Réserve d'eau enterrée

Source FRANK

3.3 Troisième étape – la décentralisation de la production

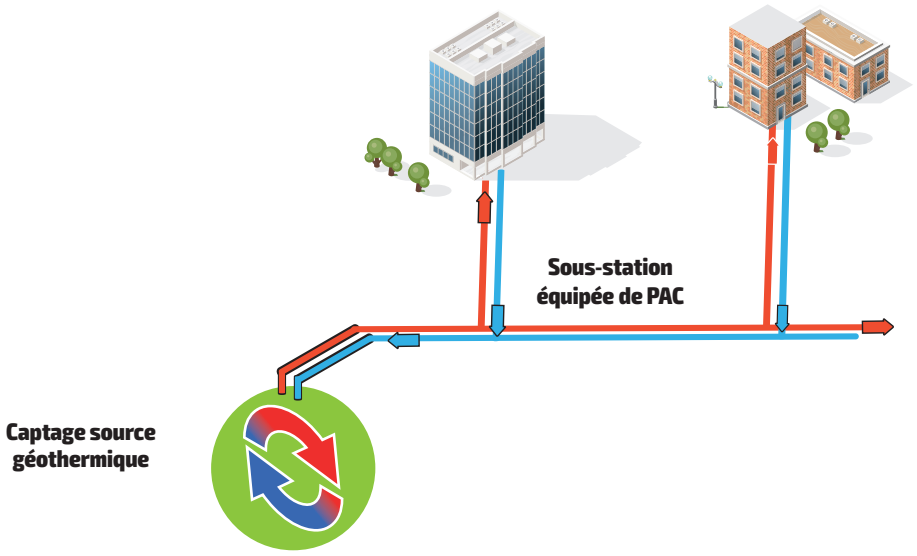
La boucle d'eau tempérée utilise des thermopompes (pompes à chaleur géothermiques eau/eau) qui sont connectées sur celle-ci. Elles permettent de s'adapter au niveau de températures coté secondaire de la sous-station (bâtiment).

Il est ainsi possible de raccorder sur une boucle d'eau tempérée un bâtiment qui a un besoin de chauffage à 50°C et un autre bâtiment avec un besoin de chauffage à 30°C : il suffira simplement d'adapter la consigne de températures des pompes à chaleur présentes dans chaque bâtiment, sans que le bâtiment qui nécessite des températures élevées ne pénalise le rendement de toute l'installation.

Figure 28

Synoptique simplifié – captage unique

Source ©AFPG d'après Accenta



La question du secours

La présence de plusieurs captages géothermiques permet également d'assurer une continuité de service si des opérations de maintenance non-programmées devaient avoir lieu, par exemple le changement d'une pompe de circulation.

On peut bien sûr prévoir en secours une chaudière et un groupe froid centralisés afin de maintenir la boucle d'eau tempérée entre des valeurs de consignes. Ce risque n'est toutefois pas vraiment plus grand qu'une panne de ces secours simultanée à celle des captages. L'impact économique sur l'investissement, sur les coûts de maintenance, et sur le maintien d'un abonnement énergétique dédié aux secours peut être évalué au moment de faire le choix du mix énergétique à retenir.

Les sous-stations

La sous-station est un élément indispensable dans un projet de boucle d'eau tempérée. Elle se situe au niveau de chaque bâtiment ou peut également être commune à plusieurs bâtiments. Dans ce second cas, on parle d'« îlot de production ». On peut anticiper à ce niveau un fonctionnement en thermofrigopompe permettant de répondre simultanément à des besoins en chaud et en froid en aval de la sous-station.

La production

Le dispositif de production se caractérise par la thermopompe (ou pompe à chaleur géothermique eau/eau) qui est mise en œuvre avec sa panoplie hydraulique. Il constitue le générateur du système géothermique.

Il est couplé à la boucle d'eau tempérée (dispositif de mutualisation) alimentée par le dispositif de captage géothermique (ressource géothermique), et fournit en énergie calorifique ou frigorifique le réseau de distribution de chauffage/ECS ou de climatisation (froid actif) et/ou de rafraîchissement (froid passif : géocooling) des bâtiments ou du process.

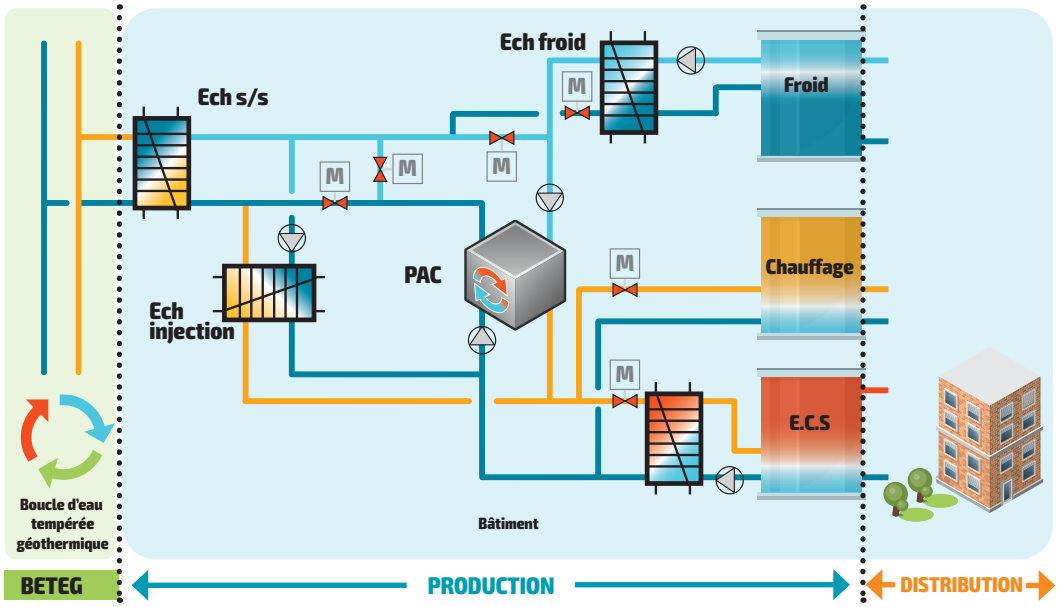


Figure 29

Synoptique d'une sous-station géothermique

Source ©AFPG d'après Accenta

PARTIE 4

Les cas d'application d'une opération de BETEG

4.1 Définition du périmètre de l'opération

La boucle d'eau tempérée à Energie Géothermique (BETEG) peut se développer à différentes échelles d'aménagement :

- A l'échelle d'au moins 2 bâtiments,
- A l'échelle de l'aménagement d'un nouvel écoquartier/ZAC,
- A l'échelle d'un quartier existant.

Comme présenté précédemment, la notion de BETEG peut être utilisée à partir du moment où cette boucle d'eau tempérée alimente au moins 2 bâtiments neufs/existants, et que chacun des bâtiments soit équipé de son dispositif de production énergétique (PAC géothermique, groupe froid).

4.2 A l'échelle de quelques bâtiments

Il est possible d'envisager de regrouper aussi bien des bâtiments ayant les mêmes usages énergétiques que des bâtiments ayant des usages énergétiques complémentaires en fonction du potentiel géothermique de la ressource souterraine. Il est donc possible d'avoir plusieurs types de configurations de bâtiments comme par exemple :

- Un groupe scolaire regroupé avec un équipement sportif : dans cette configuration, aucune complémentarité des besoins énergétiques n'est attendue, mais la mise en œuvre d'une BETEG permet de limiter l'investissement dans la boucle géothermique, en mutualisant sur 2 projets les coûts d'investissement et d'exploitation liés aux dispositifs de captage géothermique. De plus, elle permet de foisonner les appels de puissance en chauffage maximaux à cause d'un déphasage des appels de puissance de chaque bâtiment, du fait d'un fonctionnement et/ou d'une occupation différente. Cette particularité permet de réduire les puissances thermiques installées et d'augmenter le taux de couverture du talon, à savoir la géothermie.

- Un immeuble de bureaux regroupé avec un immeuble de logements : dans cette configuration, l'intérêt réside sur la complémentarité des besoins énergétiques entre chaque bâtiment. En effet, grâce à la mutualisation d'un immeuble tertiaire avec un immeuble de logements, une partie de la chaleur à évacuer des bureaux l'été ou en mi-saison peut être renvoyée vers la BETEG afin de produire une partie des besoins en eau chaude sanitaire (ECS) des logements. De même, l'hiver, le froid renvoyé dans la BETEG pour les besoins de chauffage des logements et bureaux, peut être utilisé pour rafraîchir les salles serveurs de l'immeuble de bureaux.

Facteurs clés

A l'échelle de quelques bâtiments, l'intérêt de la mise en œuvre d'une BETEG va dépendre essentiellement de 3 facteurs importants :

- La proximité immédiate des projets entre eux pour obtenir la meilleure densité énergétique possible (la quantité de besoins énergétiques par mètre linéaire de réseau), ce qui réduit les coûts d'investissement et les coûts liés aux consommations des pompes par exemple. En France, les réseaux de chaleur ont une densité thermique moyenne de 8 MWh/ml de réseau : il n'est toutefois pas techniquement nécessaire d'atteindre de telles valeurs, et la pertinence économique peut être avérée même pour des densités inférieures à 1 MWh/ml.
- L'équilibre de la programmation et de la mixité énergétique des bâtiments à raccorder pour valoriser au mieux la récupération d'énergie et le foisonnement des puissances géothermiques.
- L'intégration des spécificités de la géothermie dans le bâti, avec notamment la recherche d'émetteurs basses températures réversibles pour valoriser au maximum la performance de la géothermie.

4.3 A l'échelle d'un nouvel éco-quartier/ZAC

A l'échelle d'un nouvel éco-quartier, la BETEG peut trouver toute sa place et montrer tout son potentiel. En effet, un éco-quartier est un projet d'aménagement urbain visant à intégrer des objectifs de développement durable et réduire son empreinte écologique.

L'article L300-1 du Code de l'Urbanisme oblige, pour toute opération d'aménagement faisant l'objet d'une étude d'impact, d'étudier la faisabilité sur le potentiel de développement en énergies renouvelables de la zone et en particulier sur l'opportunité de la création ou du raccordement à un réseau de chaleur ou de froid ayant recours aux énergies renouvelables et de récupération.

La BETEG s'intègre parfaitement dans cette philosophie car c'est la seule solution énergétique où il est possible de valoriser aussi bien le chaud/froid d'un bâtiment que le chaud/froid de plusieurs bâtiments à l'échelle de tout un quartier et de prévoir l'évolution de ce réseau avec le phasage de l'aménagement de l'éco-quartier/ZAC.

Les opérations d'aménagement/éco-quartiers peuvent prévoir différentes façons d'aménager, à savoir :

- L'aménagement exclusivement de logements ou équipements publics ne nécessitant que des besoins de chauffage et d'eau chaude sanitaire (ECS) qui sera valorisé par la BETEG grâce à la mutualisation des investissements et au foisonnement des puissances thermiques appelées, notamment sur la production d'eau chaude sanitaire.
- L'aménagement d'un éco-quartier mixte d'usage avec des logements, des bureaux, des activités/commerces et équipements publics, ce qui présente le meilleur scénario énergétique possible à l'échelle d'un quartier grâce à la complémentarité des besoins en chaud et en froid des bâtiments entre eux (Froid process, ECS, Salle Serveur…).
- L'aménagement exclusivement de bureaux et activités/commerces qui limitera la complémentarité des besoins énergétiques mais permettra la mutualisation des investissements et le foisonnement des puissances thermiques appelées.

Facteurs clés

A l'échelle d'un éco-quartier/ZAC, l'intérêt de la mise en œuvre d'une BETEG va dépendre essentiellement de 4 facteurs importants :

- La mixité énergétique du projet d'aménagement en prévoyant la programmation de tertiaire avec des logements, des équipements publics (piscine, groupe scolaire, patinoire…) ou de l'hôtellerie pour profiter de la récupération de l'énergie l'été des bureaux pour produire une partie des besoins en eau chaude sanitaire (ECS).
- La meilleure densité énergétique possible (la quantité de besoins énergétiques par mètre linéaire de réseau), afin de réduire les coûts d'investissement et les coûts liés aux consommations des pompes par exemple.
- L'équilibre de la programmation des bâtiments à raccorder pour valoriser au mieux la récupération d'énergie et le foisonnement des puissances géothermiques.
- L'intégration des spécificités de la géothermie dans le bâti avec notamment la recherche d'émetteurs basses températures réversibles pour valoriser au maximum la performance de la géothermie.

4.4 A l'échelle d'un quartier existant

La BETEG peut également trouver sa place dans des quartiers ou groupement de bâtiments existants. En effet, dans le cadre d'un projet de réhabilitation de chaufferie centralisée ou de plusieurs bâtiments en vue notamment de réduire leurs consommations énergétiques, les collectivités publiques ou les maîtres d'ouvrages privés peuvent étudier la possibilité de mettre en œuvre des solutions de BETEG pour venir alimenter plusieurs bâtiments de leur patrimoine nécessitant des travaux importants les prochaines années (renouvellement de chaufferie, isolation thermique…).

Il est donc possible d'avoir plusieurs types de configuration BETEG en fonction des bâtiments raccordés comme par exemple :

- Le raccordement de bâtiments publics, comme une école, une mairie, un gymnase ou une cantine, pour permettre de mutualiser les investissements liés aux forages géothermiques et permettre un foisonnement des puissances thermiques appelées.
- Le raccordement de plusieurs bâtiments de logements, notamment à l'échelle de plusieurs résidences, pour permettre de mutualiser les investissements liés aux forages géothermiques et permettre un foisonnement des puissances thermiques appelées.

Facteurs clés

A l'échelle de quelques bâtiments, l'intérêt de la mise en œuvre d'une BETEG va dépendre essentiellement de 3 facteurs importants :

- La proximité immédiate des projets entre eux pour obtenir la meilleure densité énergétique possible (la quantité de besoins énergétiques par mètre linéaire de réseau), ce qui réduit les coûts d'investissement et les coûts liés aux consommations des pompes par exemple.
- L'équilibre de la programmation et de la mixité énergétique des bâtiments à raccorder pour valoriser au mieux la récupération d'énergie et le foisonnement des puissances géothermiques.
- L'intégration des spécificités de la géothermie dans le bâti avec notamment la recherche d'émetteurs basses températures réversibles pour valoriser au maximum la performance de la géothermie.

PARTIE 5

Evaluation et définition des besoins énergétiques

Le point prépondérant pour évaluer la pertinence d'une BETEG réside dans la qualité de l'évaluation des besoins énergétiques. Il convient de garder à l'esprit que les coûts d'une BETEG, l'investissement comme le prix de vente de la chaleur et du froid, est strictement dépendant de la définition des besoins énergétiques à couvrir.

Toute surpuissance (kW ou MW à installer) dans la définition des besoins énergétiques induit un surdimensionnement et par conséquent un surinvestissement de la solution en énergie renouvelable susceptible de la rendre économiquement inopérante.

5.1 Evaluation des besoins énergétiques et approche de dimensionnement

Dans le cadre de « l'étude de faisabilité du potentiel de développement en énergies renouvelables » pour le compte d'une collectivité ou bien encore d'un « schéma directeur en approvisionnement en EnR » pour le compte d'un maître d'ouvrage privé, il convient d'appréhender en premier lieu l'estimation des besoins énergétiques à couvrir. Cette étape essentielle permet de dresser la problématique énergétique à laquelle les différentes solutions d'énergies devront répondre.

Par conséquent, il convient d'appréhender l'estimation des besoins énergétiques de la manière la plus rationnelle et fiable possible, bien que l'opération ne soit encore qu'en phase d'avant-projet.

Afin d'évaluer la pertinence technico-économique d'une BETEG, cette solution implique une évaluation fine au préalable des besoins énergétiques à travers la définition des profils de consommation (monotones) de chauffage, d'ECS et de climatisation pour évaluer la valorisation des besoins énergétiques simultanés susceptibles d'être appelés, et ceci avant même d'avoir évalué le potentiel de la ressource géothermique.

Les profils de consommation permettent d'évaluer la quantité de chaleur que devra délivrer la BETEG, du point de vue de la puissance thermique (chaud/froid) à installer mais également du point de vue des besoins annuels en chauffage et en climatisation des bâtiments.

L'évaluation des besoins énergétiques va se faire en plusieurs étapes et dépendra de l'avancement du projet d'aménagement.

A ce stade, la Maîtrise d'Ouvrage/aménageur a fixé les grandes lignes de l'opération d'aménagement avec notamment :

- La typologie des bâtiments et leur surface,
- Les objectifs de performance souhaités du bâti,
- Les certifications et les labellisations attendues.

L'architecture exacte, les caractéristiques de l'enveloppe et les choix du concept énergétique des bâtiments n'étant pas définis à ce stade de la réflexion, l'estimation des besoins énergétiques sera basée sur des ratios empiriques qui s'appuient sur des besoins énergétiques et puissances appelées

constatés lors de précédents projets pour des bâtiments, à usage de logements, de bureaux, de commerces, de services et d'équipements.

Ces ratios doivent émaner de retours d'expériences ou d'une étude thermique spécifique, et en aucun cas d'une étude réglementaire qui n'a pas vocation à préciser ces valeurs et peut livrer des résultats significativement différents. Ainsi, les besoins énergétiques en puissance (W/m²) et en énergie annuelle (kWh/m²/an) seront définis et regroupés par typologie de bâtiment.

Pour élaborer le plus justement possible la définition des besoins énergétiques et l'établissement des profils de consommation (courbes monotones) il faut procéder à une « simulation thermique simplifiée » du projet. Pour ce faire il convient de développer des modèles de besoins thermiques simplifiés aux profils horaires par typologie de bâtiment, ajustables selon la localisation des projets et au climat associé.

A partir de tableur caractérisant :

- La typologie des bâtiments envisagées,
- Les usages énergétiques à couvrir,
- Les puissances (W/m²) et les énergies (kWh/m²) par typologie de bâtiment rapportées au m² de surface de plancher (SdP) envisagées,
- Le profil des températures de l'air extérieur au pas horaire, en lien avec la localisation du projet étudié,
- La simulation des appels de besoins énergétiques de chauffage, d'ECS et de climatisation au pas horaires,
- La prise en compte de coefficients de pondération liés aux déperditions et aux apports énergétiques, par typologie de bâtiment prédéfinis,
- La pondération des besoins énergétiques appelés simultanément (foisonnement).

La projection de profils de consommation par usage est ainsi possible.

Figure 30

Exemple de répartition des besoins en énergie thermique par typologie de bâtiment

Source BURGEAP

		Puissance			Consommations			Objectifs RT LABEL Energétique
Typologie - Bâtiment	**SP**	**ECS**	**Chaud**	**Froid**	**ECS**	**Chaud**	**Froid**	
Logement - A	16 339 m²	20 W/m²	15 W/m²		27,5 kWh/m²	12 kWh/m²		RT2012-20% sur le chaud
Logement - B	36 166 m²	20 W/m²	15 W/m²		27,5 kWh/m²	12 kWh/m²		RT2012-20% sur le chaud
Logement - C	1 625 m²	20 W/m²	15 W/m²		27,5 kWh/m²	12 kWh/m²		RT2012-20% sur le chaud
Bureau - A	9 336 m²	5 W/m²	30 W/m²	35 W/m²	4 kWh/m²	20 kWh/m²	13 kWh/m²	RT2012-30%
Bureau - B	30 887 m²	5 W/m²	30 W/m²	35 W/m²	4 kWh/m²	20 kWh/m²	13 kWh/m²	RT2012-30%
Commerce	3 370 m²	3 W/m²	60 W/m²	160 W/m²	3 kWh/m²	40 kWh/m²	140 kWh/m²	RT2012
Crèche	1 204 m²	15 W/m²	35 W/m²	50 W/m²	27,5 kWh/m²	25 kWh/m²	20 kWh/m²	RT2012
RIE	1 402 m²	25 W/m²	75 W/m²	60 W/m²	45 kWh/m²	50 kWh/m²	20 kWh/m²	RT2012
Cabinet médical	318 m²	20 W/m²	20 W/m²	30 W/m²	28 kWh/m²	25 kWh/m²	20 kWh/m²	RT2012
Logement	**54 130 m²**	**1 083 KW**	**812 KW**		**1 489 MWh/an**	**650 MWh/an**		
Tertiaire	**40 223 m²**	**201 KW**	**1 207 KW**	**1 408 KW**	**161 MWh/an**	**804 MWh/an**	**523 MWh/an**	
Commerce	**6 294 m²**	**61 KW**	**356 KW**	**693 KW**	**115 MWh/an**	**243 MWh/an**	**530 MWh/an**	
TOTAL	**100 647 m²**	**1 345 KW**	**2 374 KW**	**2 101 KW**	**1 765 MWh/an**	**1 697 MWh/an**	**1 053 MWh/an**	

En fonction de la mixité des usages sur l'ensemble de la zone étudiée, le bureau d'étude en charge de cette étude pourra considérer en première approche un coefficient de foisonnement des puissances thermiques pour prendre en compte la mise en place d'une boucle d'eau tempérée à énergie géothermique et la possibilité de véhiculer de l'énergie entre chaque bâtiment.

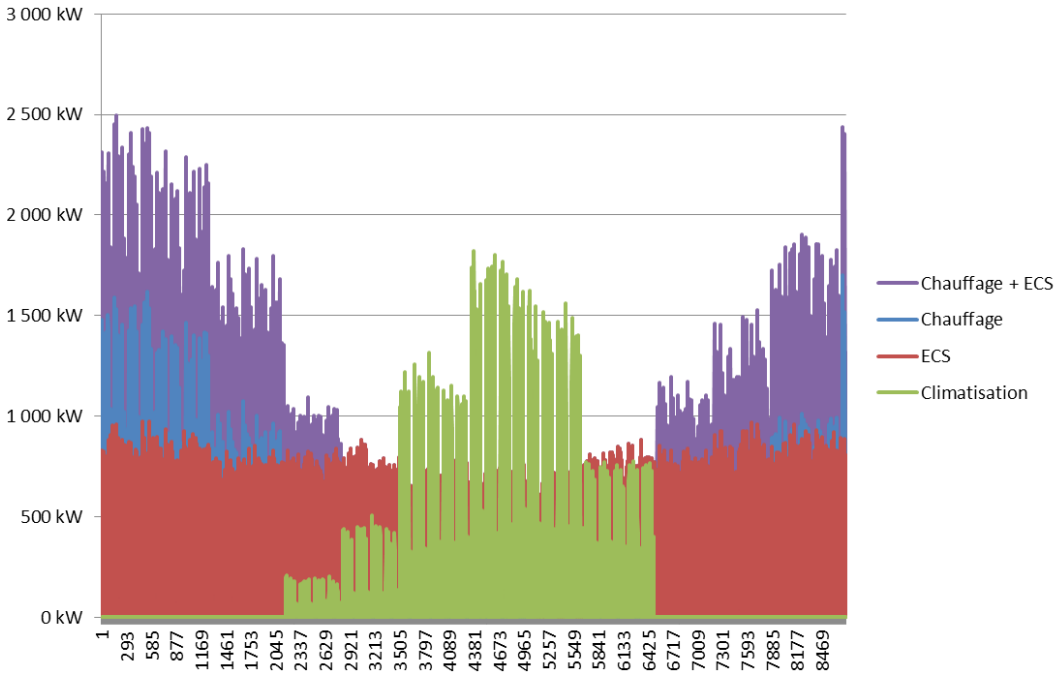


Figure 31

Exemple de monotones de chauffage/ECS et climatisation pour un éco-quartier de 100 000m² de SdP

Source BURGEAP

Ces courbes monotones sont la base d'une première réflexion permettant d'évaluer la pertinence technico-économique d'une solution sur BETEG.

En effet, si le chevauchement des monotones fait apparaître des appels de besoins énergétiques simultanés (chauffage/ECS par rapport au froid), il va de soi que la valorisation de la mutualisation des besoins énergétiques entre bâtiment sera effective. Par conséquent, cette première évaluation de la définition des besoins énergétiques sera un indicateur fort justifiant l'étude d'une BETEG.

5.2 Définition des besoins énergétiques au stade de la conception de la BETEG

A ce stade, les différents promoteurs ont été désignés et l'architecture des différents bâtiments a été réalisée. Il est donc possible d'affiner la définition des besoins énergétiques de l'ensemble de l'opération en étudiant les données des bâtiments.

Dimensionnement de la puissance thermique et calcul réglementaire

Dans un projet de construction d'un bâtiment, le bureau d'étude thermique va réaliser deux types de calculs thermiques normés par bâtiment :

- Un calcul de bilan thermique en chauffage et en rafraîchissement pour définir la puissance maximale thermique nécessaire à installer pour permettre de compenser les déperditions de l'enveloppe du bâtiment, et ce pour un régime de température extérieure extrême et l'absence d'apport solaire ou interne. Ce calcul défini par la norme NF EN 12831 du 1er Juillet 2017 permet de définir la puissance de dimensionnement des systèmes de production de chauffage et de rafraîchissement.
- Un calcul réglementaire thermique RT2012, qui permet de vérifier les performances énergétiques du bâtiment par rapport à un référentiel. La RT 2012 impose de respecter trois exigences de résultats :
  - Une exigence d'efficacité énergétique bioclimatique définie par le coefficient Bbiomax,

> Une exigence de consommation conventionnelle maximale d'énergie primaire ou coefficient Cep max, de 50 kWh/(m².an) en moyenne,
> Une exigence de confort d'été, calculé avec le coefficient Ticref qui représente la température intérieure à ne pas dépasser.

Pour ces 2 calculs, les résultats obtenus sur les puissances thermiques installées ou les consommations conventionnelles pour le chauffage et la climatisation pourront différer plus ou moins fortement de la réalité du fonctionnement d'un bâtiment car ils se basent sur des hypothèses de condition ou de fonctionnement plus ou moins défavorables, comme par exemple :

- L'absence d'apport solaire ou interne dans le calcul de bilan thermique,
- La prise en compte de scénario type de fonctionnement dans le calcul RT2012.

Dans le cadre de la conception d'une BETEG, il est nécessaire d'approfondir la connaissance des besoins énergétiques de l'ensemble du périmètre et notamment leur simultanéité à partir de simulation thermique dynamique précise de chaque bâtiment qui tient compte du fonctionnement réel du futur du bâtiment, de son enveloppe et de son orientation.

La définition de ces besoins énergétiques devra être recoupée avec les hypothèses de dimensionnement réalisées en phase avant-projet (étude de faisabilité du potentiel en EnR) et des différents calculs réglementaires (calcul du bilan thermique et RT).

A titre d'exemple, pour du chauffage sur des logements, il est courant d'observer que la puissance réellement nécessaire est 30 % inférieure à la puissance réglementaire, alors que les besoins thermiques réels à l'année sont deux fois supérieurs au calcul réglementaire.

Modélisation des besoins énergétiques dynamiques du projet

La simulation thermique dynamique (STD) est quant à elle un outil au service de la conception qui peut apporter de multiples indications aux concepteurs et aux maîtres d'ouvrages.

Le principe de calcul de la STD consiste à étudier sur une année entière, au pas de temps horaire ou plus précis, le comportement thermique d'un bâtiment. Ce calcul tient compte de tous les paramètres influant sur le bilan thermique : apports internes et externes, inertie du bâtiment, transmission à travers les parois, système de production, etc.

Globalement, le logiciel permet de confronter le bâtiment en projet à un climat qui est décrit d'une part sous la forme d'une position longitude-latitude qui permet à un algorithme de calculer les incidences du soleil à chaque pas de temps de la période de calcul, et d'autre part par des données météorologiques horaires décrivant les sollicitations thermiques extérieures (température extérieure, rayonnement solaire direct et rayonnement solaire diffus, l'humidité relative, la vitesse et la direction du vent).

Plus finement, chaque bâtiment est décrit de façon détaillée dans ses usages, par découpage en zones dites thermiquement homogènes. Les différents locaux et sous-locaux constituant le bâtiment sont regroupés au sein de zones thermiquement homogènes théoriquement soumises aux mêmes sollicitations thermiques ou à des sollicitations thermiques équivalentes, que ce soit par des apports internes, par des transmissions au travers des parois, par des apports solaires, par leur usage, ou par leur occupation.

La définition de ces zones influe d'une part sur la complexité du calcul et donc indirectement sur sa fiabilité, et d'autre part sur la finesse du résultat attendu.

Au sein de chaque zone thermique définie, le concepteur décrit, en général au pas temps horaire, les apports internes propres à chacune d'entre elle :

- L'apport d'énergie par l'éclairage artificiel,
- L'apport d'énergie sous forme sensible et dans certains cas également sous forme latente

des occupants,

- Les apports sensibles et éventuellement latents des équipements (ordinateurs, cuisine, locaux serveurs, etc…).

Ainsi, à partir de la modélisation de ces données d'entrée pour un fonctionnement sur une année, la STD permet une quantification des besoins de chauffage et de rafraîchissement pour étudier différentes solutions techniques sur l'enveloppe du bâtiment et leurs impacts, afin d'optimiser et d'affiner la conception du projet. Aussi, il est important que ce calcul soit réalisé le plus en amont possible du projet (au stade APD), afin de pouvoir jouer un rôle dans l'optimisation de la performance énergétique du bâtiment.

Par ailleurs, les résultats de la STD sont précieux pour la conception d'une solution de géothermie puisqu'ils permettent une estimation au pas de temps horaire de la puissance utilisée par le projet. Ces résultats sont souvent donnés sous la forme d'une courbe monotone de chauffage (ou de climatisation) indiquant le nombre d'heure de fonctionnement pour chaque puissance utilisée. Le dimensionnement d'un dispositif de géothermie peut alors être adapté aux besoins réels du projet et prendre en compte un ratio de couverture énergétique précis.

Ainsi, on constate sur les figures suivantes que les appels de puissances thermiques d'un bâtiment ne sont pas linéaires. En effet, en hiver par exemple, les grosses puissances thermiques appelées lors des périodes les plus froides ne sont que très rarement appelées au cours d'une année (période de froid extrême, mise en température du bâtiment), alors que les faibles puissances le sont beaucoup plus fréquemment (maintien de la température du bâtiment au cours de la journée). Il en est de même en période estivale.

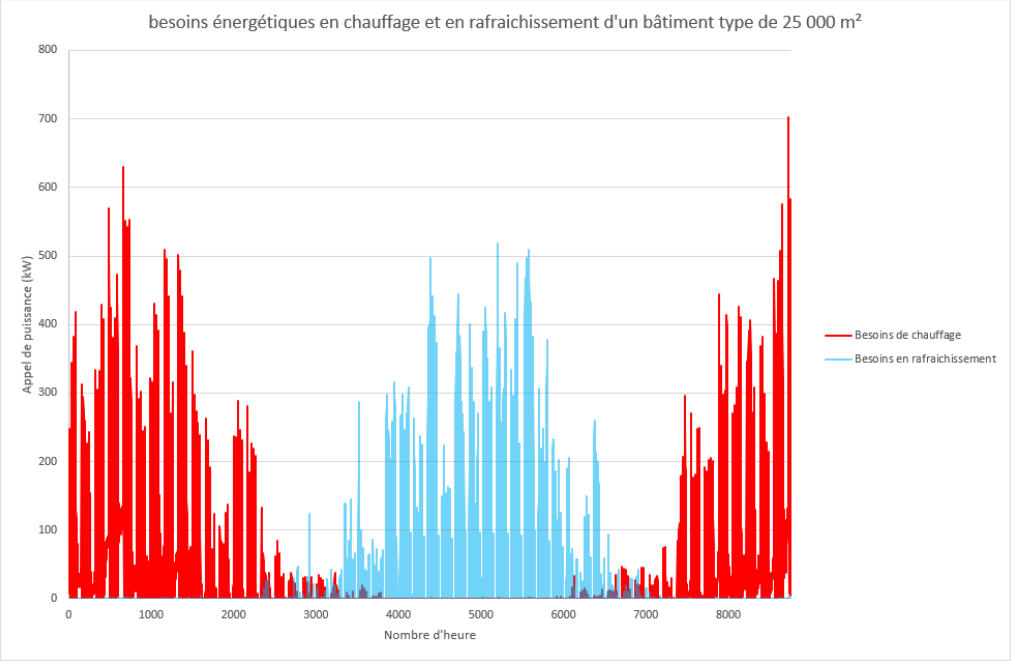
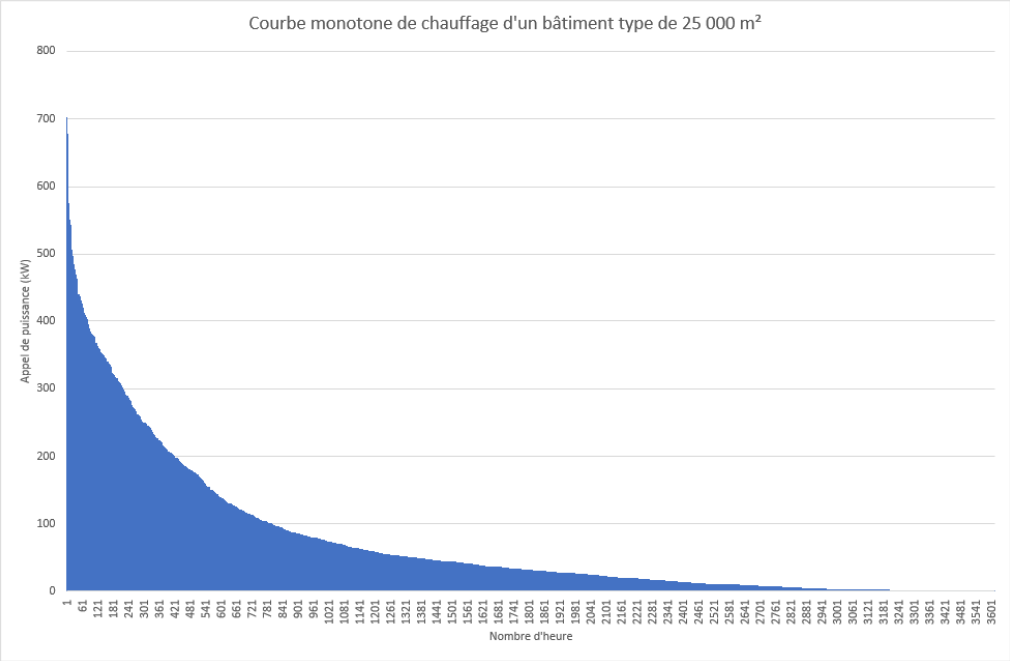


Figure 32

Représentation graphique des besoins en chauffage et en climatisation d'un bâtiment de bureaux de 25 000 m²

Figure 33

Représentation graphique de la courbe monotone de chauffage d'un bâtiment de bureaux de 25 000 m²



PARTIE 6

Cadre juridique d'un réseau d'énergie

En préambule, il convient de rappeler que la BETEG est assimilée juridiquement et réglementairement (Réglementation Thermique) par la DHUP (Direction de l'Habitat, de l'urbanisme et des Paysages) et la DGEC (Direction Générale de l'Energie et du Climat) à un réseau de chaleur.

Dans le cadre de ce guide technique, nous exposons dans ses grandes généralités les montages juridiques possibles ainsi que les modes de gestion et d'exploitation de projets de production d'EnR.

Le choix de la structure qui portera le projet et le mode de gestion qui permettra l'exploitation de la BETEG peut varier d'un projet à l'autre.

Il est important de bien distinguer les types de projet possibles et les modes de gestion qui leur sont associés. Il y a trois grandes familles de porteurs de projets :

- Les projets dits « industriels » de BETEG, sans vente d'énergie et en site privé,
- Les projets communaux de BETEG portés par une commune et sans vente d'énergie à un tiers autre que la commune,
- Les projets intercommunaux de BETEG portés par une collectivité (syndicat, métropole, ...) avec vente d'énergie en site public.

Ces projets peuvent avoir un montage différent selon la délégation des risques souhaitée par le maître d'ouvrage.

- Pour un industriel en site privé sans vente d'énergie, le montage d'une opération de BETEG n'impose aucune spécificité tant juridique que d'exploitation. La mise en œuvre de cette technologie reposera strictement sur la qualité technique des intervenants qui assisteront le maître d'ouvrage et qui entreprendront sa réalisation.
- Pour une commune ou une collectivité en site public avec vente d'énergie, elle pourra assumer le montage d'une BETEG :
  - En gestion directe (type régie),
  - En déléguant partiellement la gestion technique ou commerciale,
  - En déléguant la totalité des prestations (investissement, exploitation et gestion clientèle) à un tiers.

Le déploiement d'une BETEG pour une collectivité en site public avec vente d'énergie impliquera généralement la classification du réseau d'énergie.

A l'inverse, pour un industriel qui exploite à des fins privées une BETEG, aucune classification du réseau ne s'impose.

6.1 Le classement d'un réseau d'énergie

Dans le cadre d'un projet de BETEG porté par une collectivité avec vente d'énergie, le classement d'un réseau de chaleur ou de froid renouvelable est la procédure qui permet à une collectivité de rendre obligatoire le raccordement au réseau, existant ou en projet, dans certaines zones, pour les nouvelles installations de bâtiments. Cet outil de planification énergétique territoriale offre aux

collectivités la possibilité de mieux maîtriser le développement de la chaleur renouvelable sur leur territoire, améliore la visibilité pour la réalisation de projets de réseaux de chaleur et de froid renouvelables, et contribue à l'amélioration des pratiques notamment via une concertation renforcée.

La réglementation en matière de BETEG est la même que pour les réseaux de chaleur, avec un classement public ou privé.

6.1.1 Cadre juridique

- les articles L712-1 à L712-5 et le règlement R712-1 à R712-12 du Code de l'énergie,
- l'arrêté du 22 décembre 2012 relatif au classement des réseaux de chaleur et de froid.

6.1.2 Conditions et principe de fonctionnement

Trois conditions doivent être respectées afin qu'un réseau puisse être classé :

- Le réseau est alimenté à 50% ou plus par des énergies renouvelables et/ou de récupération (EnR&R),
- Un comptage des quantités d'énergie livrées par point de livraison est assuré,
- L'équilibre financier de l'opération pendant la période d'amortissement des installations est assuré.

Remarque : le statut public ou privé du réseau est sans incidence sur les possibilités de classement.

L'obligation de raccordement n'existe donc que si le réseau de chaleur ou de froid apporte un bénéfice environnemental. Ces réseaux sont soumis à une TVA à taux réduit.

6.2 Définition technique

La BETEG représente techniquement un réseau d'eau tempérée alimenté par des ressources géothermiques et renouvelables constitué d'un réseau de canalisations enterrées isolées ou non desservant plusieurs sous-stations équipées d'une production décentralisée permettant la distribution de chauffage, d'ECS, de rafraîchissement passif et de climatisation.

NOTA :

La spécificité technique de la BETEG par rapport à un réseau de chaleur reconnu réglementairement au sens de la Réglementation Thermique du Bâtiment réside sur sa production décentralisée, qui impose à tout bâtiment raccordé à la boucle d'eau d'équiper sa sous-station d'un dispositif de production (et de régulation).

Contrairement à un réseau de chaleur qui figure comme solution technique dans le moteur de calcul de la Réglementation Thermique permettant le chauffage de bâtiment, la BETEG avec ses productions décentralisées n'est pas référencée.

Dans le cadre d'une opération de BETEG, la collectivité ou la Délégation de Service Public qui portera le projet devra procéder à une demande de « Titre V - Opération » permettant la mise en conformité des bâtiments qui s'y raccordent. Le « Titre V - Opération » devra être effectué bâtiment par bâtiment, afin de faire reconnaître réglementairement le mode de production d'énergie décentralisé couplé à un réseau d'énergie qui alimente les bâtiments. Cette procédure permet la mise en conformité énergétique du bâtiment vis-à-vis de la Réglementation Thermique et notamment dans la perspective de l'obtention de son Permis de Construire.

6.3 Définition juridique

Dans le cadre d'une BETEG avec vente d'énergie pour le compte d'une collectivité, le producteur de chaleur et de froid renouvelables exploitant les productions décentralisées est juridiquement distinct des usagers consommateurs de l'énergie thermique, au moins au nombre de deux (distincts des chaufferies dédiées).

6.4 Cadre juridique pour une collectivité

Le choix s'effectuera en fonction des capacités financières de la commune mais également de sa volonté de faire monter en compétence ses équipes, de sa capacité de suivi énergétique, ... Le niveau de rentabilité attendu pourra être différent selon le maître d'ouvrage, selon la prise de risque financière et technique que peut prendre le maître d'ouvrage.

On peut synthétiser les différents cas de figure comme suit :

- Production décentralisée : peut être gérée directement par la collectivité à travers un service public administratif (SPA) ou être déléguée à une entreprise privée (DSP : Délégation de Service Public)
- Réseau d'énergie : la distribution publique d'énergie, compétence communale optionnelle qui peut être transférée à un groupement de communes, constitue un service public à caractère industriel et commercial (SPIC)

Le choix du mode de gestion (directe ou déléguée) dépend des moyens de l'autorité organisatrice, de son degré d'implication dans le projet, et du niveau de risque qu'elle est prête à assumer. Le choix dépend également de la mutualisation envisagée (approvisionnement, acteurs, ...).

La compétitivité du coût de l'énergie et de ses performances environnementales reste l'atout principal de la BETEG. De nombreux outils et acteurs sont en place pour l'aide à la décision, l'accompagnement, ou la MOA déléguée (Maîtrise d'Ouvrage Déléguée).

Arbre des possibilités

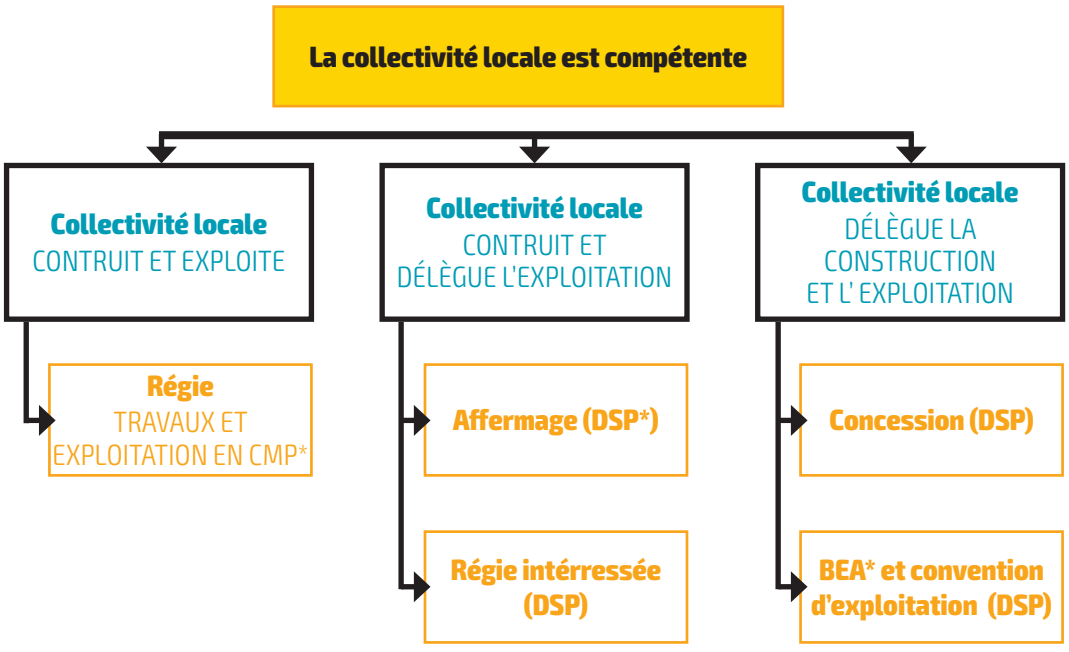


Figure 34

Arbre des possibilités pour une collectivité dans le cadre du portage d'une opération de BETEG

Source ©AFPG d'après SCET

CMP

Code des Marchés Publics

BEA

Bail Emphytéotique Administratif

DSP

Délégation de Service Public

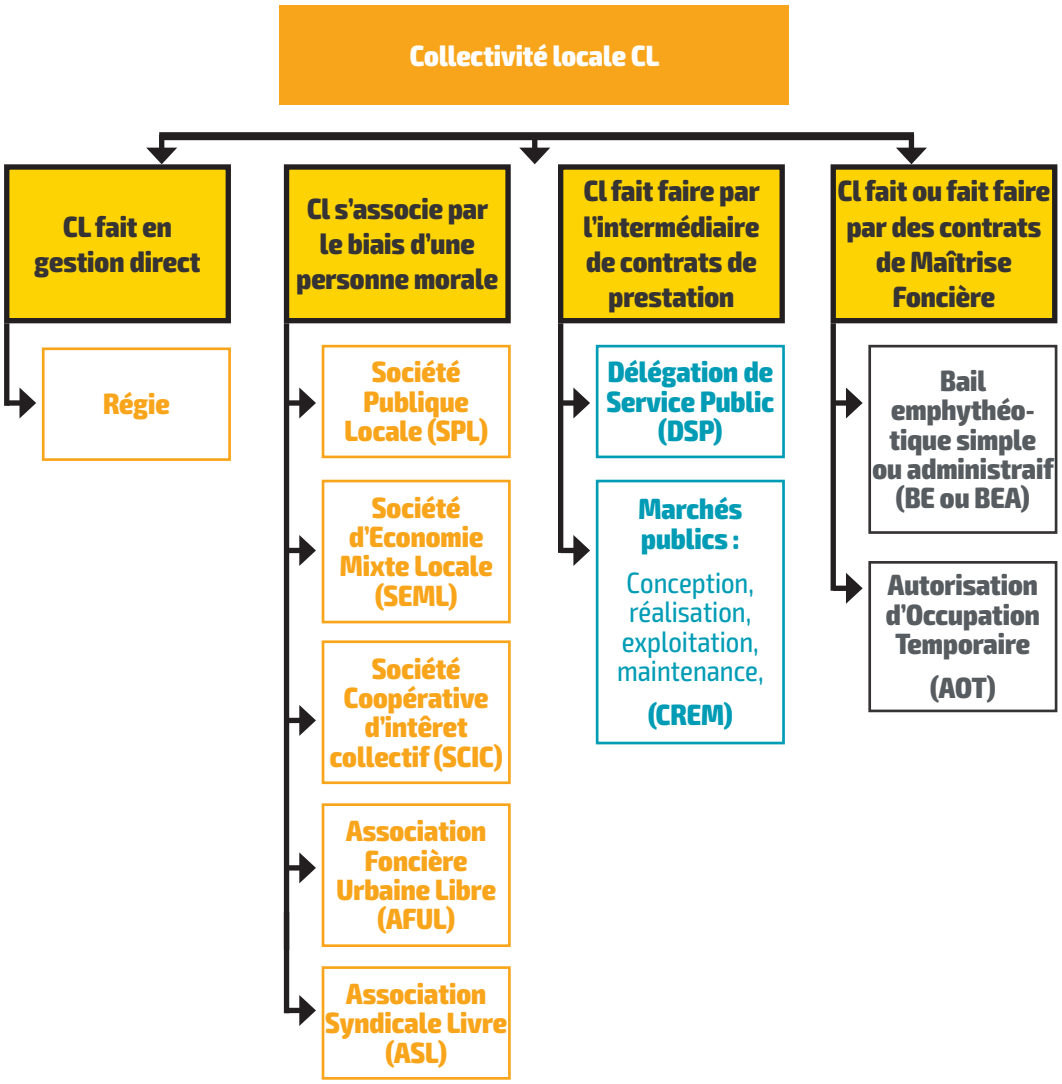


Figure 35

Les montages Juridiques - Modes de Gestion et d'Exploitation des projets de production d'EnR

Source ©AFPG

6.4.1 La régie

La conduite du projet et la gestion du service sont de la responsabilité de la collectivité qui doit passer des marchés de maîtrise d'œuvre, de travaux et éventuellement de fourniture d'énergie (électricité) et d'exploitation.

- Régie directe (appelée aussi «régie de fait» ou «régie simple») : il s'agit d'un service municipal, avec en général (mais pas obligatoirement) du personnel à statut communal, et un budget particulier identifié au sein du budget de la collectivité,
- Régie à autonomie financière : le service public reste intégré à la collectivité, gérée par un conseil d'exploitation désigné par le conseil municipal, dont le budget, indépendant du budget de la commune, est cependant voté par le conseil municipal,
- Régie personnalisée : constitue un établissement public local qui dispose d'une entière autonomie par rapport à la collectivité qui l'a créée, avec un Conseil d'Administration désigné par le Conseil Municipal, un budget autonome, et un personnel à statut spécifique ; elle peut posséder un patrimoine propre.
- Régie intéressée (ou mandat) après avoir construit les ouvrages, la collectivité charge un régisseur ou un gérant de les exploiter, moyennant une rémunération fixe (gérance) ou liée

en partie aux résultats (régie intéressée). Ce mode de gestion n'est quasiment pas utilisé en réseau de chaleur.

Plusieurs contrats seront à mettre en place : marchés de maîtrise d'œuvre (MOE), de travaux, d'exploitation du réseau d'énergie (BETEG), des polices d'abonnements pour les usagers, un contrat de fourniture de l'énergie (électricité).

6.4.2 La Délégation de Service Public

Le principe de la délégation de service public repose sur l'externalisation de la gestion administrative et technique de la BETEG, qui est confiée à une entreprise privée qui se rémunère directement auprès des usagers du service.

- Concession : l'entreprise privée assume toutes les charges d'investissement et de fonctionnement des ouvrages. Elle exploite le service public « à ses risques et périls » notamment financiers, et supporte seule la charge des déficits éventuels.
- Affermage : la collectivité conçoit et construit les ouvrages, seule l'exploitation du service public est confiée à l'entreprise privée.

	Régie intérressée		Affermage		Concession	
	Collectivité déléguante	Délégataire	Collectivité déléguante	Délégataire	Collectivité déléguante	Délégataire
Finacement des infrastructures	✓		✓			✓
Fonds de roulement	✓			✓		✓
Redevance versée à la collectivité				✓		✓
Recettes perçues auprès des usagers	✓			✓		✓
Risques et périls	✓			✓		✓
Recrutement et responsabilité du personnel		✓		✓		✓
Entretien courant		✓		✓		✓
Entretien lourd	✓		✓			✓

Figure 36

Tableau des responsabilités contractuelles par rapport au portage juridique d'une opération de BETEG

Source ©AFPG

6.4.3 La gestion par AFUL

La fourniture d'énergie constitue une activité privée gérée par une association de propriétaires.

La réalisation d'une partie de l'équipement est prise en charge par l'aménageur (réseaux et canalisation). Elle est effectuée dans le cadre des travaux de mise en place des VRD sur la zone.

La construction de la chaufferie est faite par un opérateur sélectionné par l'association de propriétaires :

- La collectivité n'intervient pas directement dans le montage,
- L'aménageur n'intervient qu'au moment de la cession des terrains pour imposer l'adhésion à l'AFUL,
- Les propriétaires situés dans la zone adhèrent à l'AFUL,
- La qualité de membre de l'AFUL est transmise aux acquéreurs successifs.

Le financement

L'opérateur supporte la charge de la construction du réseau et se rémunère sur les prestations de fourniture d'énergie (calories et frigories) facturées aux membres de l'AFUL.

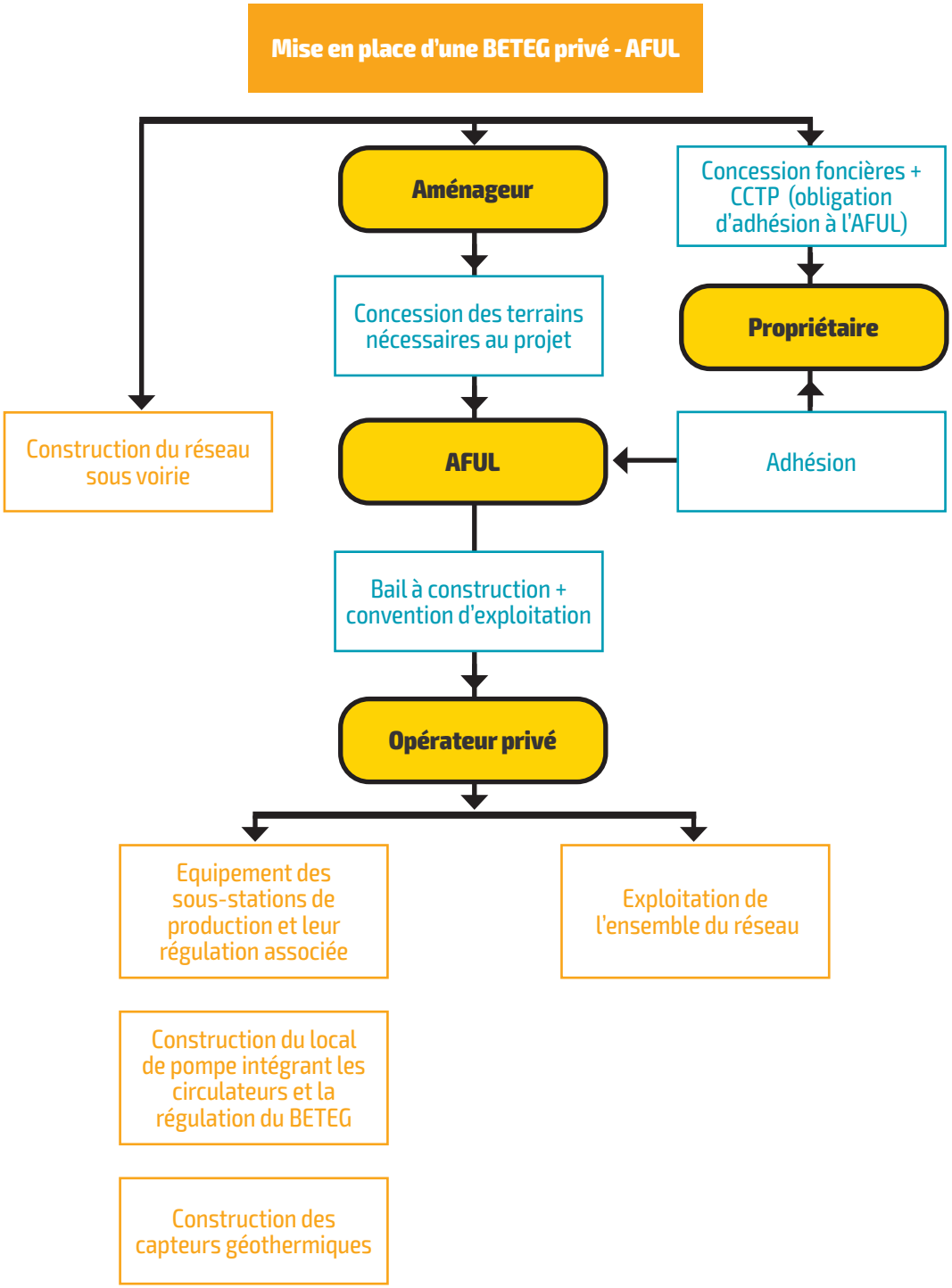
L'obligation de raccordement

- A priori pas de classement possible
- Possibilité de prévoir obligation d'adhésion à l'AFUL dans le CCCT

Figure 37

Portage juridique d'une BETEG par le biais d'une gestion par AFUL

Source ©AFPG



6.4.4 La SEM ENERGIE

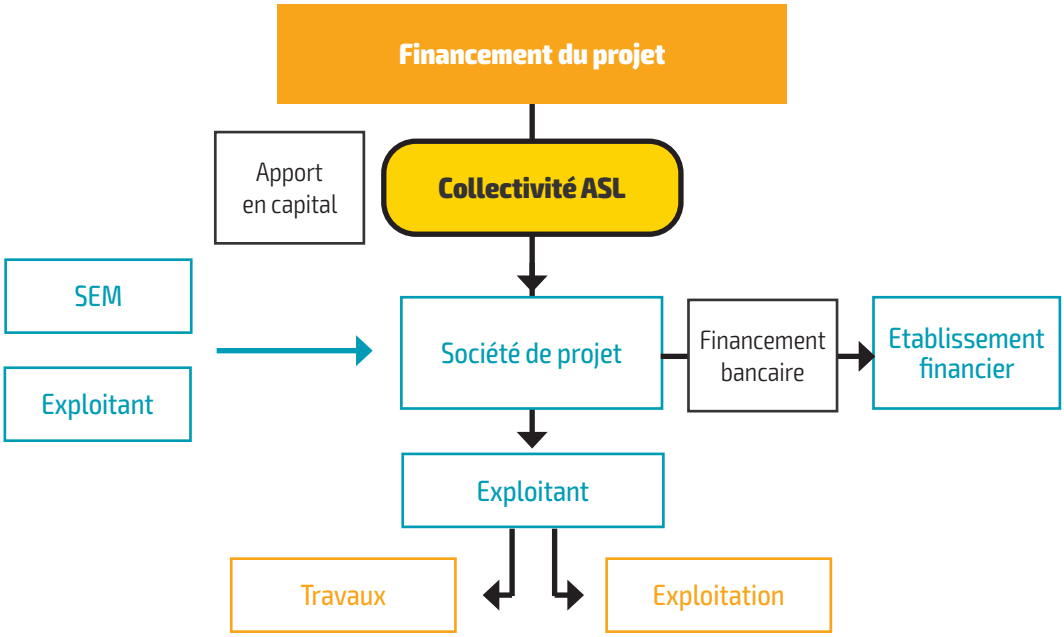


Figure 38

Mise en place d'une BETEG avec une SEM Energie

Source ©AFPG

La société qui porte les projets en énergie renouvelable correspond à une filiale de la SEML ayant vocation à intervenir sur plusieurs projets ENR.

- Portage de la dette du projet (contracte les emprunts et isole les risques de l'opération),
- L'exploitation est assurée via des contrats opérationnels conclus avec un opérateur spécialisé.

6.4.5 Le bail emphytéotique administratif (BEA)

Il s'agit d'un contrat permettant de donner à bail un terrain public à une personne privée, en vue de l'accomplissement d'une mission de service public

Le bail emphytéotique administratif (BEA) a été institué afin de faciliter le financement d'équipements publics par des tiers. La procédure se rapproche, lorsque le BEA est assorti d'une convention d'exploitation non détachable, d'une délégation de service public au sens de la loi Sapin (gestion déléguée des réseaux de chaleur) en reprenant les dispositions suivantes :

- Obligation de mise en concurrence,
- Transparence et règles de contrôle relatives à la rémunération du preneur à bail,
- Durée strictement adaptée à l'objet du contrat,
- Moyens d'assurer la continuité du service,
- Modalités de contrôle des opérations.

Par dérogation à la loi MOP, un établissement public ou une collectivité peut donc confier à une personne ou un groupement de personnes de droit public ou privé une mission portant à la fois sur la conception, la construction, l'aménagement, l'entretien et la maintenance de bâtiments ou d'équipements affectés à l'exercice de ses missions. Cette procédure apparaît adaptée à la création/restructuration d'équipements publics très onéreux (hôpitaux, centres pénitenciers...) pouvant intégrer une solution géothermique ; les responsables d'établissement ayant ainsi la capacité de déléguer les tâches de conception et d'exploitation de l'ouvrage ainsi que le financement, sans grever leur capacité d'investissement et en maintenant le personnel dans sa mission initiale de service public.

Notons enfin que le BEA assorti d'une convention de mise à disposition et/ou d'exploitation doit principalement servir à alimenter les bâtiments de la personne publique propriétaire. Une éventuelle vente de chaleur à des tiers n'est donc possible qu'à titre accessoire.

PARTIE 7

Phasage, intervenants et financements

7.1 Le phasage et l'ordonnancement

La réalisation d'une BETEG implique que le périmètre technique du système soit considéré dans sa globalité (garant de la bonne régulation du système).

La bonne conception et réalisation d'une BETEG nécessite de ne pas dissocier les différents dispositifs qui la constituent.

7.1.1 En phase d'Avant-projet,

Le Maître d'Ouvrage s'entoure de bureaux d'études compétents pour permettre la réalisation des études préalables suivantes :

- Etude de faisabilité sur le potentiel de développement en énergies renouvelables (EnR) de la zone ou schéma directeur en approvisionnement en EnR permettant de dresser la problématique énergétique de l'opération (kW, kWh, monotones) et d'évaluer la pertinence de développer une solution technique sur BETEG - (Délai de 4 semaines).
- Etude de préfaisabilité du potentiel de la ressource géothermique (étude bibliographique du potentiel de la ressource géothermique en interface avec les besoins énergétiques du projet. Cette étude environnementale, technique, économique et réglementaire permet au Maître d'Ouvrage d'évaluer l'opportunité de développer une solution de géothermie adossée à la BETEG ou non à l'échelle de son projet – (Délai de la mission : 2 à 3 semaines).
- Etude de préfaisabilité technico-économique comparative d'une solution de BETEG à l'échelle du projet – Etude technico-économique comparative permettant de projeter les performances énergétiques et environnementales de la BETEG, les coûts prévisionnels de l'énergie (R1 et R2 en lien avec la définition des postes P1, P2, P3, P4), le temps de retour sur investissement prévisionnel et le planning prévisionnel de l'opération comparativement à une solution conventionnelle (Go/No Go) – (Délai de la mission : 3 à 4 semaines).
- Etude juridique de la mise en œuvre d'une BETEG – Etude du montage juridique et du mode de gestion de l'opération si vente d'énergie (Délai de la mission : 4 à 8 semaines).
- Dossier de demande de financement ADEME (Aide à la Décision). Suite à son choix de mettre en œuvre un système de géothermie, le Maître d'Ouvrage engage une demande de financement auprès de l'ADEME Régionale pour l'obtention de subventions (Fonds Chaleur - Aide à la décision) finançant à hauteur de 50% la réalisation d'une étude de faisabilité de géothermie impliquant des ouvrages de géothermie de reconnaissance et permettant de valider les hypothèses de pré-dimensionnement établis en phase de préfaisabilité du potentiel de la ressource géothermique - (Délai : 4 à 6 semaines).
- Etude de faisabilité de géothermie, impliquant la réalisation de travaux de reconnaissance in-situ et de tests permettant de valider les hypothèses évaluées dans le cadre de l'étude de préfaisabilité – (Délai de la mission de 7 à 10 semaines).
- Dossier réglementaire de demande d'autorisation au titre du code Minier (Opération de géo-

thermie exploitant plus de 500 kW de puissance calorifique de la ressource géothermique et/ou supérieur à la réalisation de forage de plus de 200 mètres de profondeur) – (Délai de la mission de 8 à 10 semaines, délai d'instruction 8 à 12 mois).

- Dossier de demande de financement ADEME (Aide à l'investissement). Suite à la réalisation de l'étude de faisabilité et à la définition de la conception du système « BETEG », le Maître d'Ouvrage engage une demande de financement auprès de l'ADEME Régionale pour l'obtention de subventions (Fonds Chaleur - Aide à l'investissement) finançant la réalisation de l'ensemble du système (Captage/Mutualisation/Production/Régulation). L'ADEME impose entre autres comme critères d'éligibilité la conception et l'exécution du système par des intervenants qualifiés RGE ou équivalents. Cf https://www.ademe.fr/expertises/energies-renouvelables-enr-production-reseaux-stockage/passer-a-laction/produire-chaleur/fonds-chaleur-bref

Pour développer une solution de BETEG, le maître d'ouvrage pourra s'entourer d'acteurs qualifiés RGE :

- Des bureaux d'études sous-sol et surface RGE (OPQIBI Etudes RGE : n° 1007 et 2013)

Type de prestations	Signe de qualité RGE
Études / Conseils	RGE OPQIBI L'INGÉNIERIE QUALIFIÉE Efficacité énergétique ENR — RGE BENR

Figure 39

Etudes - Signes de qualité RGE

7.1.2 En phase de Conception

Si le maître d'ouvrage opte pour le portage en direct de l'opération, il s'entourera d'un Maître d'œuvre (MOE) pour permettre la conception de l'ensemble du système :

- Phase APS
- Phase APD
- Phase PRO/DCE
- Phase ACT

7.1.3 En phase d'Exécution

Le Maître d'Ouvrage via son Maître d'œuvre (MOE) confie la réalisation des travaux à une Entreprise

- Phase EXE
- Phase DET
- Phase AOR

7.1.4 En phase de Maintenance et d'Exploitation

L'entreprise transfère les DOE à l'Exploitant/Mainteneur en veillant à expliquer le principe de l'installation via la rédaction d'un dossier technique comprenant :

- Le principe de fonctionnement du système de la BETEG ;
- Le bilan thermique de l'opération ;
- Les coupes techniques et géologiques des ouvrages de captage ;
- Le plan de récolement du système (ouvrages, réseaux enterrés, local technique, ...) ;
- Le synoptique hydraulique de l'opération ;

- L'analyse fonctionnelle de l'installation,
- Le principe de régulation de l'installation,
- Le synoptique GTC/GTB de l'installation,
- Les points de consignes et de contrôles de l'installation,
- La fiche technique des principaux équipements,
- La liste des principaux intervenants et fabricants fournisseurs.

L'AFPG recommande :

- La formation de l'Exploitant/Mainteneur par l'Entreprise et le MOE du Lot BETEG.
- L'intégration d'un dispositif de supervision. Le dispositif de supervision constitue l'interface de l'installation pour faciliter son exploitation et sa maintenance. Il permet de contrôler et surveiller le bon fonctionnement de l'installation sur site mais également à distance si le dispositif est raccordé au réseau Internet.
- Le suivi de la performance énergétique du système sur la première année d'exploitation de l'installation, qui est imposé dans le cadre des aides à l'investissement octroyées par l'ADEME, permet une bonne maintenance de l'installation. Cela donne accès au Maître d'ouvrage et à l'Exploitant/Mainteneur du site à la publication d'un rapport annuel d'exploitation énergétique du système qui peut être reconduit pour les années suivantes.

Pour développer une solution de BETEG, le maître d'ouvrage pourra s'entourer d'acteurs qualifiés RGE :

- des entreprises qualifiées RGE Travaux (Foreur (Qualiforage RGE) et installateur (RGE)).

Figure 40

Etudes - Signes de qualité RGE

Type de prestations	Signe de qualité RGE
Études / Conseils	RGE QUALIFELEC ÉNERGIES NOUVELLES ÉCONOMIES D'ÉNERGIE ; RGE QUALIBAT EFFICACITÉ ÉNERGÉTIQUE ENR ; RGE QualiPac 2015

7.2 Les acteurs d'un projet de BETEG

7.2.1 Le maître d'ouvrage

7.2.1.1 Maître d'ouvrage public : la collectivité compétente

Les communes et les établissements publics de coopération intercommunale (EPCI) sont en général les maîtres d'ouvrage publics à l'initiative des opérations d'aménagement.

La collectivité compétente va donc fixer les grandes lignes de son projet d'aménagement, avec notamment :

- La programmation de son projet d'aménagement,
- Les priorités en matière d'énergie, qui s'inscrivent dans la politique générale air-énergie-climat définie sur le territoire (PCAET),
- Le phasage et la chronologie du projet d'aménagement en prenant en compte l'évolution de

son opération d'aménagement en se conformant au Schéma de Cohérence Territoriale (SCOT) et de son Projet d'Aménagement et de Développement Durables (PADD).

Ainsi, conformément au Code de l'Urbanisme (article L300-1), la collectivité pourra faire réaliser une étude de faisabilité sur le potentiel de développement en énergies renouvelables (EnR) de la zone.

Pour permettre la mise en œuvre d'une BETEG, il incombera à la collectivité compétente de procéder :

- À la programmation de son projet d'aménagement, à savoir l'inventaire des différentes typologies de bâtiments (logements, tertiaires, commerces, ...), leurs usages (chauffage, ECS, climatisation), l'équivalence en termes de surface de plancher, les objectifs en termes de performances énergétiques par rapport à la Réglementation Thermique du bâtiment et le phasage prévisionnel des travaux par tranche.
- À la réalisation d'une étude de faisabilité sur le potentiel de développement en énergies renouvelables (EnR) ou d'un schéma directeur en approvisionnement en EnR (à travers la caractérisation des besoins énergétiques, l'inventaire des solutions techniques, l'identification de l'intérêt d'une BETEG) entraînant :
  - Une étude de préfaisabilité du potentiel de la ressource géothermique,
  - Une étude technico-économique comparative de préfaisabilité d'une solution de BETEG : bilan des performances énergétiques et environnementales, définition des coûts prévisionnels de l'énergie (R1 et du R2 à travers la décomposition des postes P1, P2, P3 et P4) et temps de retour prévisionnel sur investissement) (GO/NO GO de la solution).
- À la coordination des études technico-économiques et juridiques permettant la projection du montage juridique, d'exploitation, économique et fiscal prévisionnel de la BETEG :
  - Par rapport aux objectifs en termes de taux d'EnR (%) du réseau d'énergie,
  - À la description techniques des spécificités de la BETEG : unité de production, plage et régimes de températures pour le chauffage et la climatisation, préconisation sur les types d'émetteurs, niveaux de performances énergétiques et environnementales des bâtiments raccordées à la BETEG, ...,
  - À l'élaboration de la fiscalité adossée à la fourniture d'énergie : TVA préférentielle pour un réseau d'énergie disposant de plus de 50% d'EnR,
  - À la définition des spécificités économiques de vente d'énergie pour les futurs acquéreurs : élaboration d'un tarif de raccordement en €/kW à la BETEG (pour le chauffage et la climatisation) contribuant au financement de l'opération par rapport aux thermopompes raccordées à la BETEG.

Suite à l'ensemble de ces études et aux choix stratégiques qui en découleront (coût prévisionnel de l'énergie, montage juridique, mode de gestion, fiscalité, classification du réseau ou non, planning prévisionnel de l'opération de BETEG), la collectivité pourra engager contractuellement la mise en œuvre de la solution accompagnée si besoin (selon le portage du projet) d'études parallèles et/ou complémentaires si nécessaires : étude de reconnaissance de géothermie, dossier réglementaire au titre du code minier (si besoin), dossier de demande de financement ADEME, garantie AQUAPAC...

7.2.1.2 Maître d'ouvrage parapublic ou privé : l'aménageur

La maîtrise d'ouvrage de l'opération peut être aussi concédée à un opérateur parapublic ou privé telle qu'une SEM d'aménagement. Dans ce cas, la maîtrise d'ouvrage est transférée à l'opérateur, appelé aménageur, qui jouera le rôle central entre la collectivité compétente qui lui a délégué le projet et les promoteurs qui aménageront la zone d'étude.

L'aménageur doit apporter via des études des solutions technico-économiques qui permettent de répondre aux objectifs fixés par la collectivité compétente et notamment avec une dimension environnementale et énergétique.

Dans le cadre du développement des énergies renouvelables, son rôle est de coordonner les études,

définir les meilleurs choix techniques, économiques et juridiques garant de la bonne mise en œuvre d'une BETEG.

Pour permettre la mise en œuvre d'une BETEG, il incombera à l'aménageur de procéder :

- À la programmation de son projet d'aménagement, à savoir les différents typologies de bâtiments (logements, tertiaires, commerces…), leurs usages (chauffage, ECS, climatisation), l'équivalence en termes de surface de plancher, les objectifs en termes de performances énergétiques par rapport à la Réglementation Thermique du bâtiment et le phasage prévisionnel des travaux par tranche.
- À la réalisation d'une étude de faisabilité sur le potentiel de développement en énergies renouvelables (EnR) ou d'un schéma directeur en approvisionnement en EnR (permettant la caractérisation des besoins énergétiques, l'inventaire des solutions techniques, l'identification de l'intérêt d'une BETEG) entrainant :
  - > Une étude de préfaisabilité du potentiel de la ressource géothermique,
  - > Une étude technico-économique comparative de préfaisabilité d'une solution de BETEG (bilan des performances énergétiques et environnementales, définition des coûts prévisionnels de l'énergie (R1 et du R2 à travers la décomposition des postes P1, P2, P3 et P4) et temps de retour prévisionnel sur investissement) (GO/NO GO de la solution).
- À la coordination des études technico-économiques et juridiques permettant la projection du montage juridique, d'exploitation, économique et fiscal prévisionnel de la BETEG ;
  - > Par rapport aux objectifs en termes de taux d'EnR (%) du réseau d'énergie,
  - > À la description techniques des spécificités de la BETEG (Unité de production, plage et régimes de températures pour le chauffage et la climatisation, préconisation sur les types d'émetteurs, niveaux de performances énergétiques et environnementales des bâtiments raccordées à la BETEG…),
  - > À l'élaboration de la fiscalité adossée à la fourniture d'énergie (TVA préférentielle pour un réseau d'énergie disposant de plus de 50% d'EnR),
  - > À la définition des spécificités économiques de vente d'énergie pour les futurs acquéreurs (élaboration d'un tarif de raccordement €/kW à la BETEG (pour le chauffage et la climatisation) contribuant au financement de l'opération par rapport aux thermopompes raccordées à la BETEG).

Suite à l'ensemble de ces études et aux choix stratégiques qui en découleront (coût prévisionnel de l'énergie, montage juridique, mode de gestion, fiscalité, classification du réseau ou non, planning prévisionnel de l'opération de BETEG), la collectivité pourra engager contractuellement la mise en œuvre de la solution accompagnée si besoin (selon le portage du projet) d'études parallèles et/ou complémentaires si nécessaires (étude de reconnaissance de géothermie, dossier réglementaire au titre du code minier (si besoin), dossier de demande de financement ADEME, garantie AQUAPAC…)..

7.2.1.3 Maître d'ouvrage privé - l'industriel

Le maître d'ouvrage privé d'une opération doit apporter via des études des solutions technico-économiques qui permettent de répondre à sa stratégie énergétique et environnementale.

Il devra coordonner les études, définir les meilleurs choix techniques et économiques garants de la bonne mise en œuvre d'une BETEG.

Il devra procéder :

- À la programmation de son projet d'aménagement, à savoir les différents typologies de bâtiments (logements, tertiaires, commerces…), leurs usages (chauffage, ECS, climatisation), l'équivalence en termes de surface de plancher, les objectifs en termes de performances énergétiques par rapport à la Réglementation Thermique du bâtiment et le phasage prévisionnel des travaux par tranche.

- À la réalisation d'un schéma directeur en approvisionnement en EnR (permettant la caractérisation des besoins énergétiques, l'inventaire des solutions techniques, l'identification de l'intérêt d'une BETEG) entraînant :
  - Une étude de préfaisabilité du potentiel de la ressource géothermique,
  - Une étude technico-économique comparative de préfaisabilité d'une solution de BETEG : définition des performances énergétiques et environnementales, coûts prévisionnels des investissements et le temps de retour sur investissement de la solution (GO/NO GO de la solution).
- À la description techniques des spécificités de la BETEG (unité de production, plage et régimes de températures pour le chauffage et la climatisation, préconisation sur les types d'émetteurs, niveaux de performances énergétiques et environnementales des bâtiments raccordés à la BETEG…).
- à la coordination des études complémentairesà
  - Étude de reconnaissance de géothermie,
  - Dossier réglementaire au titre du code minier (si besoin),
  - Dossier de demande de financement ADEME,
  - Garantie AQUAPAC….

En parallèle de ces études et suite au choix de mettre en œuvre une BETEG, le Maître d'ouvrage pourra engager contractuellement la constitution d'un lot technique spécifique à la BETEG et procéder à la sélection des Maîtres d'œuvre et des entreprises qui assureront la conception et la réalisation du système.

7.2.2 Les bureaux d'études

Pour la mise en œuvre d'une BETEG, en fonction du profil du maître d'ouvrage, les bureaux d'études réalisent les études techniques, réglementaires, économiques et juridiques nécessaires à la définition d'une opération d'aménagement, suivant les objectifs énergétiques et environnementaux fixés.

Lorsqu'il s'agit d'une première opération pour un maître d'ouvrage, il est important d'être conseillé dès le début de la réflexion et d'anticiper les différentes spécificités d'une BETEG, en particulier en termes d'aménagement et de montage juridique pour la vente d'énergie.

Aussi, le rôle d'un bureau d'étude au démarrage du projet est primordial pour la réussite de l'opération car il doit permettre au Maître d'Ouvrage de comprendre l'ensemble des enjeux technico-économiques et juridiques de son opération et ce dans le respect des engagements environnementaux et de développement durable souhaités.

Des bureaux d'études spécialisés pourront intervenir sur le démarrage de l'opération, jusqu'à la notification de bureaux d'étude de Conception (Maître d'œuvre ou MOE) mais également jusqu'à la mise en service de la BETEG.

Au démarrage des études, le maître d'ouvrage devra s'entourer des compétences suivantes :

- Une compétence en énergie,
- Une compétence « sous-sol » en géothermie,
- Une compétence juridique et financière pour la vente d'énergie.

Les compétences requises pour structurer et développer un projet de BETEG reposent sur 3 profils de compétences selon le type de projet engagé.

BET Surface :

- Il dresse la problématique énergétique à travers l'étude des besoins thermiques du projet et le respect de la Réglementation (RT du Bâtiment), en lien les objectifs des performances énergétiques et environnementaux décrits dans le programme d'aménagement.
- Il étudie les différentes sources d'énergies renouvelables susceptibles d'être valorisées à l'échelle de l'opération.
- Il peut évaluer l'ensemble du système de géothermie avec l'appui du BET sous-sol qui aura préalablement évalué techniquement, financièrement et réglementairement le principe d'exploitation de la ressource géothermique pour bâtir le coût prévisionnel d'une BETEG et définir les coûts prévisionnels de l'énergie (R1 et R2).
- Il étudie le dispositif de production (sous-station, thermopompes et sa panoplie hydraulique) et de régulation (contrôle-commande) du système.
- Il peut étudier le dispositif de mutualisation du système (boucle d'eau tempérée) si compétent.
- Il peut accompagner le maître d'ouvrage dans la constitution des dossiers de demande de financement ADEME.
- Il accompagne le maître d'ouvrage dans la procédure de classification du réseau d'énergie.

BET Sous-sol :

- Il étudie la faisabilité technique, financière et réglementaire d'une solution de géothermie à travers l'évaluation du potentiel de la ressource géothermique (étude bibliographique-préfaisabilité). Il assure les tests de mesures du potentiel de la ressource géothermique (Etude de faisabilité - Reconnaissances in-situ). Il peut également entreprendre les démarches réglementaires si besoin (expertise en Zone Orange si habilité et Dossier d'Autorisation au titre du Code Minier), et les dossiers connexes (dossier de garantie AQUAPAC).
- Il peut dresser la problématique énergétique à travers l'étude des besoins thermiques simplifié en lien les objectifs des performances énergétiques et environnementaux décrits dans le programme d'aménagement.
- Il peut évaluer l'ensemble du système de géothermie avec l'appui du BET Surface qui aura préalablement évalué les besoins énergétiques pour bâtir le coût prévisionnel d'une BETEG et définir les coûts prévisionnels de l'énergie (R1 et R2).
- Il peut étudier le dispositif de production (sous-station, thermopompes et sa panoplie hydraulique) et de régulation (contrôle-commande) du système si compétent.
- Il peut étudier le dispositif de mutualisation du système (boucle d'eau tempérée) si compétent.
- Il peut accompagner le maître d'ouvrage dans la constitution des dossiers de demande de financement ADEME.

Le cabinet de conseil juridique et financier

- Il étudie les différentes possibilités de montages juridiques qui permettront le portage du projet en corrélation avec les attentes du maître d'ouvrage.
- Il étudie les possibilités de montage juridique qui s'offre au maître d'ouvrage.
- Il élaborera le plan de financement de l'opération en lien avec le cadre juridique fixé, le mode de gestion, la programmation de l'aménagement, la fiscalité envisagée.
- Il peut accompagner le maître d'ouvrage dans la procédure de classification du réseau d'énergie.

7.2.3 Les promoteurs

Ils n'interviennent pas directement dans l'étude relative aux énergies renouvelables sur l'aménagement, car ils ne sont pas nécessairement connus à ce stade. Cependant, lorsque c'est possible, les promoteurs doivent pouvoir être partie prenante de l'opération notamment en :

- Définissant plus précisément les besoins énergétiques de leur projet pour les intégrer dans la conception de la BETEG,
- Intégrant dans la conception de leur projet les objectifs EnR de l'aménageur et les spécificités

de la BETEG (unité de production, choix des émetteurs, niveaux de performances…),
- Intégrant dans leur montage financier et juridique les spécificités financières de vente d'énergie pour les futurs acquéreurs,
- Intégrant dans les plans des bâtiments les espaces nécessaires pour les sous stations de chaque bâtiment ou ensemble de bâtiments.

7.2.4 Les opérateurs énergétiques

Il appartient au maître d'ouvrage de l'aménagement de définir quelle est l'offre énergétique souhaitée sur la zone.

Les opérateurs énergétiques présents sur le territoire ne doivent pas définir eux-mêmes, sans contrôle par la maîtrise d'ouvrage, les objectifs relatifs à la desserte énergétique de la zone. Les différents opérateurs ont alors pour rôle de proposer des solutions techniques et économiques correspondant à la demande formulée pour garantir le meilleur scénario de production énergétique en tenant compte des objectifs EnR de l'aménageur et en garantissant un prix de l'énergie compétitif par rapport à une solution plus conventionnelle mais plus polluante.

Dans un projet de BETEG, l'opérateur énergétique privé ou public (dans le cas d'une régie) pourra avoir plusieurs rôles en fonction du montage juridique mis en œuvre par l'aménageur et/ou la collectivité. Son rôle pourra être :
- D'exploiter simplement une BETEG pour le compte d'une collectivité qui aura financé l'investissement (affermage),
- De financer, de construire et d'exploiter une BETEG pour le compte d'une collectivité pour une durée de 20 à 30 ans (DSP),
- De concevoir, financer (ou non), construire et exploiter une BETEG sous forme d'une opération en CREM ou en réseau privé (si financement privé).

7.3 Les financements

7.3.1 Les aides générales mobilisables

Les installations de boucle d'eau tempérée « géothermique » (ou sur ressource EnR&R assimilée : eaux usées, eau de mer, eau de lac, ...) font partie des équipements énergétiques performants qui permettent de produire du chaud et du froid tout en réduisant les émissions de gaz à effet de serre (GES). Elles peuvent bénéficier à ce titre de plusieurs dispositifs de financement :
- Aides du Fonds Chaleur de l'ADEME,
- Aides européennes du FEDER,
- Aides locales,
- TVA à taux réduite sur le prix de vente de la chaleur et du froid.

7.3.2 Le Fonds Chaleur

Le Fonds Chaleur a été mis en place par les pouvoirs publics afin de développer la production de chaleur à partir des énergies renouvelables et de récupération (biomasse, géothermie, solaire thermique, biogaz, chaleur fatale, ...). Il est destiné à l'habitat collectif, aux collectivités et à toutes les entreprises (agriculture, industrie, tertiaire). Ce dispositif géré par l'ADEME était doté d'un budget d'environ 220 M€ par an ; ce montant a été porté à 307 M€ en 2019 puis 350 M€ en 2020.

En 2018, le dispositif a été ouvert aux installations permettant la production de froid renouvelable, en particulier le géocooling, les PAC géothermiques en montage thermofrigopompe et les réseaux de froid. Puis en 2019, il a été décidé d'intégrer les boucles d'eau tempérée « géothermiques » au Fonds Chaleur.

Les opérations de boucles d'eau tempérée géothermiques sont donc éligibles aux aides à l'investissement du Fonds Chaleur sous réserve de respecter un certain nombre de paramètres (longueur de

la boucle d'eau tempérée, optimisation de la mutualisation des besoins énergétiques des bâtiments raccordés à la boucle d'eau tempérée, COP machine des pompes à chaleur installées, ...). Les critères d'éligibilité des projets, les éco-conditions ainsi que les modalités d'évaluation et d'attribution des aides du Fonds Chaleur (subventions/aides remboursables) sont décrites dans les documents disponibles sur la page Fonds Chaleur du site de l'ADEME :

https://www.ademe.fr/expertises/energies-renouvelables-enr-production-reseaux-stockage/passer-a-laction/produire-chaleur/fonds-chaleur-bref

Compte tenu de la taille des projets et des montants d'investissements mis en jeu dans les projets de boucles d'eau tempérée, l'aide de l'ADEME est généralement évaluée à partir d'une analyse économique simplifiée permettant de rendre compétitif le coût du MWh chaud et froid produit par la solution « boucle d'eau tempérée géothermique » au regard de solutions traditionnelles couvrant les mêmes besoins thermiques et frigorifiques. Les coûts d'investissements spécifiques à la partie boucle d'eau tempérée sont plafonnés selon la même règle des DN applicables aux réseaux de chaleur.

D'autre part, en amont de la réalisation des installations, des aides à la décision peuvent être octroyées lors des phases d'études du projet (subventions pour les études de potentiel géothermique ou de la ressource EnR&R, études de faisabilité, ...). Les porteurs de projets sont donc invités, dès les premières phases de leur projet, à contacter la Direction Régionale de l'ADEME compétente sur le site d'implantation de leur projet et à consulter les Appels à Projets Fonds chaleur régionaux en cours (www.ademe.fr, rubrique «l'ADEME en régions»).

NB : Il faut rappeler que les éco-conditions définies au niveau national sont à respecter systématiquement, mais que chaque région peut renforcer ces éco-conditions selon la politique locale. De plus, l'attribution des aides Fonds Chaleur n'est pas automatique. Elle peut être refusée en fonction du budget disponible et d'une sélection des projets les plus pertinents d'un point de vue technique, économique, environnemental, et social.

7.3.3 La TVA à taux réduit pour vente d'énergie calorifique sur un réseau

Les boucles d'eau tempérées à énergie géothermique peuvent bénéficier de la TVA à taux réduit.

Actuellement, trois taux existent : 5,5 %, 10 %, et 20 %. Il est important de remarquer que deux taux de TVA sont susceptibles de s'appliquer : l'une sur l'abonnement, l'autre sur la consommation énergétique. Pour plus de précisions, se référer au guide AMORCE « La TVA sur les réseaux de chaleur », dont le cadre s'étend aux boucles d'eau tempérées.

Les réseaux efficaces peuvent faire bénéficier leurs clients d'une TVA à taux réduit sur la facture énergétique. D'après le bulletin officiel des Finances Publiques- Impôts, un réseau tout ou partiellement alimenté par une (ou des) pompe(s) à chaleur peut appliquer cette disposition suivant les conditions suivantes :

- Le réseau de chaleur dessert au moins deux usagers distincts du maître d'ouvrage (deux SIRET),
- La chaleur distribuée sur le réseau est garantie d'origine renouvelable pour sa plus grande partie (minimum 50% en 2019) suivant les critères décrits précédemment.

Les conditions d'application de cette TVA réduite doivent être vérifiées suivant les évolutions réglementaires à la date du projet.

7.3.4 Les CEE

Le dispositif des certificats d'économies d'énergie (CEE) a été créé par les articles 14 à 17 de la loi n° 2005-781 du 13 juillet 2005 de programme fixant les orientations de la politique énergétique (loi POPE). Il constitue l'un des instruments phare de la politique de maîtrise de la demande énergétique et met en place un dispositif triennal qui impose une obligation de réalisation d'économies d'énergie.

Ces économies sont établies a priori :

- Soit à partir de fiches standardisées où à un système ou une technologie est affecté un potentiel d'économie,
- Soit à partir d'opérations spécifiques où pour chaque installation un dossier justifiant des économies potentielles est constitué.

Diverses fiches peuvent être applicables aux installations de pompes à chaleur et de réseaux. Celles-ci sont tenues à jour sur le site du ministère.

https://www.ecologique-solidaire.gouv.fr/operations-standardisees

https://www.ecologique-solidaire.gouv.fr/operations-specifiques

A l'heure de la rédaction de ce guide, les CEE ne sont pas cumulables avec les aides du Fonds chaleur lorsqu'ils couvrent le même périmètre d'équipements.

PARTIE 8

Le cadre réglementaire de la Géothermie de Surface

8.1 La réforme réglementaire

Dans le cadre du développement de la filière Géothermie dite de Minime Importance (GMI), les différents organismes d'Etat et institutions (Ministère, ADEME, BRGM, AFPG-Association Française des Professionnels de la Géothermie, SER-Syndicat des Energies Renouvelables, SFEG-Syndicat des Foreurs d'Eau et de Géothermie) ont procédé à la réforme du cadre réglementaire encadrant les dispositifs de capteurs géothermiques sur forages.

L'objet d'une telle réforme est d'encadrer réglementairement l'ensemble des intervenants professionnels et sachants souhaitant contribuer à mettre en œuvre une énergie renouvelable, locale et performante : la géothermie.

A ce titre, les principales nouveautés réglementaires de 2015 sont :

- Le découpage du territoire en 3 zones (verte, orange ou rouge) en fonction de la capacité à pouvoir accueillir des projets de Géothermie de Minime Importance ;
- L'ouverture d'un site de télédéclaration permettant de réaliser les déclarations administratives obligatoires de projets de Géothermie de Minime Importance (https://www.geothermies.fr/) ;
- La qualification RGE des foreurs obligatoire (Qualiforage RGE) pour les projets de Géothermie de Minime Importance, donnant droit à un code de télédéclarant pour déclarer les forages géothermiques sur le site de télédéclaration.

Le respect de l'ensemble de ces conditions réglementaires et qualifiantes est à ce jour un critère d'éligibilité pour l'obtention :

- D'un crédit d'impôt pour un particulier,
- D'un financement de l'ADEME via le Fonds Chaleur pour une société ou collectivité.

Pour les financements par l'ADEME, il est de surcroît demandé des qualifications RGE des BET sous-sol et surface, par exemple les qualifications OPQIBI n°1007 (Etude des ressources géothermiques) et 2013 (Ingénierie des installations de production utilisant l'énergie géothermique).

8.2 La Géothermie de Minime Importance (GMI)

8.2.1 Des techniques encadrées

La géothermie dite de minime importance se réfère à la mise en œuvre d'un système de géothermie de surface permettant d'exploiter les ressources calorifiques/frigorifiques du sous-sol.

Elle regroupe tous les dispositifs de captage de la ressource géothermique sur forages :

- De profondeur unitaire comprise entre 10 et 200 m,
- Exploitant moins de 500 kW de puissance calorifique et/ou frigorifique du sous-sol,
- Réalisée par une entreprise de forage qualifiée.

La GMI encadre réglementairement les deux techniques courantes suivantes :

- Géothermie sur nappe d'eau souterraine (Norme X10-999) : réaliser un échange thermique avec l'eau souterraine par l'intermédiaire de forages de pompage et de rejet (circuit ouvert),
- Géothermie sur sondes verticales (Norme X10-970) : réaliser un échange thermique avec le terrain via un champ de sondes géothermiques verticales (S.G.V) permettant de faire circuler un fluide caloporteur au sein de canalisation en PEHD (circuit fermé).

8.2.2 Cartographie Réglementaires : Découpage du territoire en 3 zones (Vert/Orange/Rouge)

La carte réglementaire applicable aux projets de géothermie de minime importance distingue les zones selon l'importance des enjeux au regard des intérêts mentionnés aux articles L. 161-1 du Code Minier :

- Les zones dites « rouges » dans lesquelles la réalisation d'ouvrages de géothermie est réputée présenter des dangers et inconvénients graves et ne peut pas bénéficier du régime de Géothermie de Minime Importance (Demande de dossier d'Autorisation au titre du Code Minier) ;
- Les zones dites « oranges » dans lesquelles les activités géothermiques de minime importance ne sont pas réputées présenter des dangers et inconvénients graves et dans lesquelles est exigée la production de l'attestation prévue à l'article 22-2 du décret n° 2006-649 du 2 juin 2006 modifié (télé-déclaration au titre de la GMI et expertise réglementaire par un BET Expert agréé à l'échelle du secteur d'étude) ;
- Les zones dites « vertes » dans lesquelles les activités géothermiques de minime importance sont réputées ne pas présenter de dangers et inconvénients graves (simple télé-déclaration au titre de la GMI).

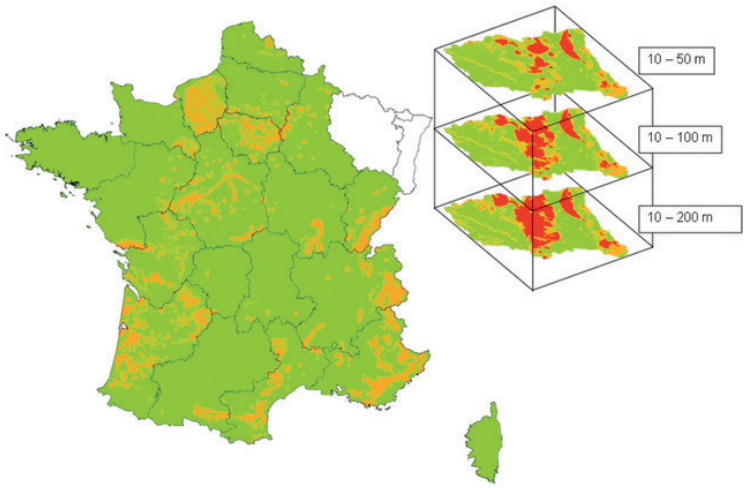


Figure 41

Illustration de la cartographie réglementaire au sens de la GMI - consulter les cartographies détaillées et actualisées sur :

https://www.geothermies.fr/

8.3 Les démarches réglementaires

8.3.1 Déclaration d'un forage au titre de la GMI

Lors de la réalisation d'un forage de reconnaissance de géothermie, l'entreprise de forage doit engager, pour le compte du maître d'ouvrage et/ou de l'Assistant à Maîtrise d'Ouvrage, les démarches administratives et réglementaires en conformité avec la législation applicable en France.

Dossier réglementaire préalable : télé-déclaration du forage test

Le forage à réaliser étant d'une profondeur supérieure à 10 mètres, l'exécution de l'ouvrage devra être télé-déclarée par la société de forage auprès des services instructeurs de la DREAL locale.

L'entreprise de forage devra transmettre au Maître d'ouvrage ou à l'AMO :

- Le PV attestant « la déclaration d'ouverture de travaux d'exploitation d'un gîte de GMI »,
- L'accusé d'enregistrement,
- Le PV attestant « la déclaration du forage avec avis d'expert » (cas de forages en zone Orange uniquement),
- La copie du courriel attestant de la « remise du rapport de fin de forage ».

DT

Conformément à la règlementation, la déclaration de projet de travaux (DT, anciennement DR) est à la charge de la maîtrise d'ouvrage.

DICT

La DICT relative à des travaux devra être réalisée par l'entreprise de forage et ce dans le respect des délais réglementaires.

NOTA

Aucun forage ne doit être exécuté avant la déclaration des ouvrages aux autorités compétentes

8.3.2 Expertise réglementaire

Pour un projet de géothermie de minime importance localisé en zone orange, la faisabilité des travaux doit être établie préalablement à leur réalisation. Un expert agréé doit établir une attestation de compatibilité du projet au regard du contexte géologique de la zone d'emplacement de l'ouvrage et de l'absence de danger et d'inconvénient graves.

L'expert agréé doit tenir compte notamment des caractéristiques de l'ouvrage géothermique, de l'hydrogéologie et de la géologie du sous-sol, des usages de la ressource en eau exploitée ou traversée.

8.3.3 Dossier d'Autorisation

Dans le cadre d'un projet de géothermie en zone rouge ou pour toute opération de forages géothermiques supérieurs à 200 mètres de profondeur et/ou exploitant plus de 500 kW de puissance calorifique ou frigorifique, le régime de la minime importance ne peut s'appliquer, et le Maître d'ouvrage (Pétitionnaire) devra engager une procédure de demande d'Autorisation au titre du Code Minier auprès de la DREAL locale.

Ce type de procédure concerne tous les gites géothermiques, sans distinction de température. Un gite géothermique est encadré par le Code Minier et notamment :

- A l'article L124-1-2 du Code Minier stipulant que « Nul ne peut entreprendre des travaux de forage en vue de la recherche de gîtes géothermiques sans une autorisation de recherches ou un permis exclusif de recherches »,
- A l'article L134-1-1 du Code Minier stipulant que « Les gîtes géothermiques ne peuvent être exploités qu'en vertu d'un permis d'exploitation ou d'une concession, délivrés par l'autorité administrative »,
- Au décret n°78-498 du 28 mars 1978 relatif aux titres de recherches et d'exploitation de géothermie,
- Au décret n°2006-649 du 2 juin 2006 relatif aux travaux miniers, aux travaux de stockage souterrain et à la police des mines et des travaux de stockages souterrains.

Cette procédure de demande d'autorisation a pour but l'obtention :

- D'un permis de recherche d'un gîte géothermique basse température (selon le type de ressource envisagée (Nappe/SGV) et au cas par cas),
- D'un permis d'ouverture des travaux d'un gîte géothermique basse température,
- D'un permis d'exploitation d'un gîte géothermique basse température.

La constitution d'une procédure de demande d'autorisation représente un délai moyen de 2 mois.

L'instruction par l'administration locale (DREAL) d'un dossier de demande d'autorisation au titre du Code Minier représente un délai compris entre 6 et 10 mois.

Ce type de dossier peut être réalisé par un BET sous-sol, de préférence disposant de la qualification OPQIBI (notamment).

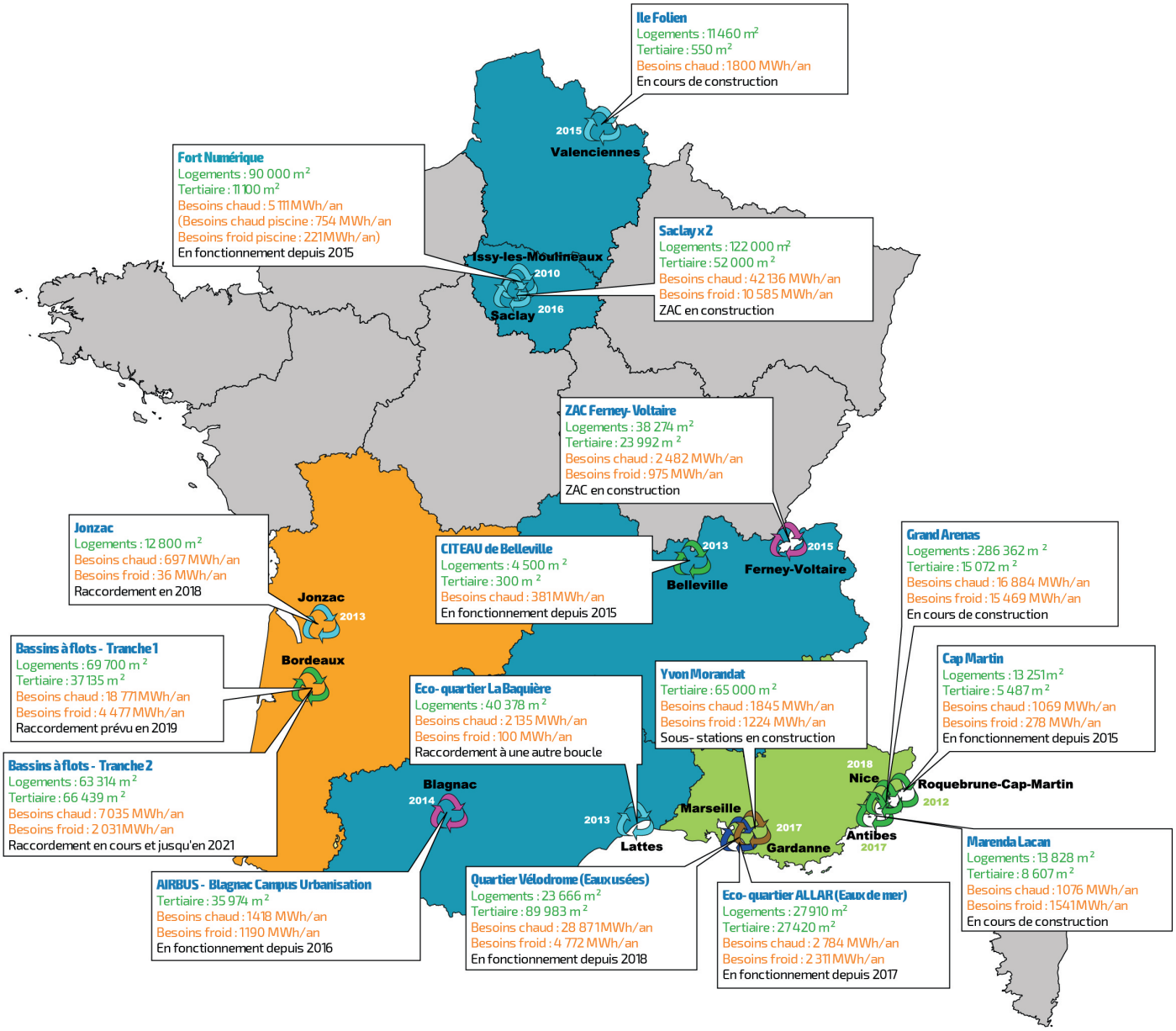
PARTIE 9

Retours d'expérience

La boucle d'eau tempérée à énergie géothermique n'est pas née hier. En France, un certain recul est observable puisque depuis la création du Fonds Chaleur en 2009, l'ADEME a participé au financement de 16 boucles. La répartition de ces boucles sur le territoire est assez inégale car les installations se concentrent principalement en bord de Méditerranée. Ainsi la région Provence-Alpes-Côte d'Azur comptabilise à elle seule cinq boucles tempérées alors que la moitié Nord de la France n'en recense que trois. Ces boucles sont amenées à se développer sur tout le territoire, grâce à la diversité de la ressource possible et par leurs fortes performances énergétiques réelles et réglementaires (RT 2012 – RE 2020). De plus, elles peuvent bénéficier de co-financements importants par le biais d'aides de l'ADEME, du FEDER et d'autres aides locales.

Dans cette partie, cinq retours d'expériences (REX) sur différents types de projets sont détaillés. Les entreprises étant intervenues sont listées et un bref résumé présente les boucles d'eau tempérée (généralités et particularités). Des données chiffrées permettent d'appréhender la typologie des bâtiments raccordés, la ressource EnR, la boucle, les travaux de forage et VRD, les performances énergétiques et environnementales ainsi que les données économiques des opérations.

N° fiche	Lieux	Projet	Source d'énergie	Puissance installée	Energie restituée	Bâtiments
1	**Roquebrune Cap Martin (06)**	Eco-quartier CAP AZUR	**STEP**	NC	1002 MWh/an (chaud et froid)	Logements : 13 251 m² Tertiaire : 5 427 m²
2	**Belleville-en-Beaujolais (69)**	CITEAU	**STEP**	570 kW	180 MWh	Logements : 5 500 m² Tertiaire : 3 500 m²
3	**Marseille (13)**	Massileo – Smartseille (Quatier Allar)	**Eau de mer**	Chauffage : 2 943 kW Climatisation : 2 433 kW	Chauffage : 973 MWh/an Climatisation : 659 MWh/an ECS : 588 MWh/an	Logements : 22 930 m² Tertiaire : 32 400 m²
4	**Blagnac (31)**	AIRBUS – Blagnac Campus Urbanisation	**Champ de sondes géo-thermiques verticales**	Chauffage : 1 834 kW Climatisation : 1 198 kW ECS : 190 kW	Chauffage : 1 549 MWh/an Climatisation 937 MWh/an ECS : 175 MWh/an	Tertiaire : 36 000 m²
5	**Issy-les-Moulineaux (92)**	Fort Numérique	**Doublet géothermique à l'Albien**	5 251 kW	10 797 MWh/an	Logements : 104 451 m² Tertiaire : 11 100 m²



Présentation des 16 boucles d'eau tempérée subventionnées par l'ADEME sur le territoire français

Légende

Energie alimentant la boucle

- Eaux de nappes
- Champ de sondes
- Eaux de mines ennoyées
- Eaux usées
- Eaux de mer

Nombre de boucles par région

- Aucune
- 1 à 2
- 3 à 4
- 5 et plus

Source :
Carte de France : Gouvernement
Boucle d'eau tempérée : ADEME

afpg

©AFPG, 2019

Boucle d'eau tempérée de Roquebrune Cap Martin (STEP)

ECO-QUARTIER CAP AZUR (06)

LES ACTEURS

Maître d'ouvrage & promoteur

Bouygues Immobilier

Maître d'oeuvre

TEMPO CONSULTING

LES ENTREPRISES

Bureau d'étude thermique

POUGET Consultants

Concepteur et réalisateur de la solution énergétique

dalkia smart building GROUPE EDF

Concepteur, réalisateur et exploitant de la partie STEP

VEOLIA EAU

Fabricant de PAC

heliopac

CIAT

Subventions

ADEME

Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie

Présentation du projet

Roquebrune Cap Martin est une commune française située sur la côte Méditerranéenne, à l'Est de Nice dans le département des Alpes Maritimes. **L'écoquartier CAP AZUR est un ensemble immobilier d'une surface de 18 738 m² composé de 7 bâtiments répartis sur 7 hectares**. Il est composé de 200 logements (dont 25% sont des logements sociaux), d'une résidence touristique Pierre et Vacances et d'un ensemble tertiaire comprenant notamment des bureaux et une crèche.

Bouygues Immobilier, promoteur du projet, était chargé de la construction des bâtiments (architecture) et de la recherche d'une solution énergétique novatrice. C'est Dalkia Smart Building qui a proposé et réalisé une solution énergétique innovante et performante : la mise en oeuvre d'une boucle d'eau tempérée. **Il s'agit en effet d'une solution exemplaire au niveau du bilan carbone, du respect de l'environnement et de la maîtrise des charges.**

Les besoins principaux concernent le **chauffage et la production d'eau chaude sanitaire**. **Du rafraîchissement** est également nécessaire pour 4 000 m² de bâtiments tertiaires (bureaux et crèche). Enfin, l'eau de la piscine de la résidence de tourisme est également chauffée par cette même boucle d'eau tempérée.

La solution économique et écologique consiste en la récupération des calories contenues dans les eaux traitées à la sortie d'une station d'épuration. Cette eau a une température comprise entre 12 et 24°C en continu (à tout moment de la journée et en toute saison). L'eau est donc valorisée avant d'être rejetée comme prévu initialement dans la mer. Une déviation du réseau de la centrale d'épuration est donc réalisée pour acheminer l'eau dans un local technique du quartier. Un échangeur de chaleur est présent pour capter l'énergie dans cette eau et la transmettre dans un second réseau indépendant : la boucle d'eau tempérée. Ce second réseau alimente les pompes à chaleur de chaque bâtiment. La température est élevée pour pouvoir être valorisée en chauffage (45°C) et en eau chaude sanitaire (65°C) ou abaissée pour la climatisation.

A terme, la chaleur des eaux usées produites dans l'éco-quartier sera même récupérée pour réaliser du préchauffage d'eau chaude sanitaire. Il s'agit donc d'améliorer l'efficacité énergétique de la boucle. Le suivi du fonctionnement et des performances se fait à distance par un système informatique centralisé, optimisant le pilotage de la production de chaleur et de froid en fonction des besoins des bâtiments. Enfin, du stockage d'eau chaude est réalisé pour subvenir au mieux aux besoins en cas de forte demande (effacement de certaines installations). Cela est facilité par l'inertie thermique des bâtiments basse consommation.

QUELQUES DONNÉES TECHNIQUES

BÂTIMENTS

SHON = 18 738 m² dont :

13 251 m²	3 805 m²	1 682 m²
200 logements dont 25% de logements sociaux	Résidence de tourisme (Pierre & Vacances)	Ensemble tertiaire (bureaux et crèche)

PRODUCTION	ÉMETTEURS
5 sous-stations 3 sous-stations produisant du chaud (PAC) 2 sous-stations produisant chaud et froid (Thermo Frigo Pompes) 100% couvert pour chauffage et ECS	Radiateurs basse température et ventilo-convecteurs

ÉNERGIE RÉCUPÉRÉE DE LA STEP CHAUD & FROID	ÉNERGIE DE RÉCUPÉRATION SUR LE RÉSEAU D'EAU TEMPÉRÉE (SYNERGIE CHAUD/FROID)	ÉNERGIE PRIMAIRE CHAUD & FROID
735 MWh (après échangeur de chaleur STEP)	**267 MWh**	**1002 MWh** (somme compteurs primaires chaud & froid des PAC)

BETEG (DONNÉES 2015)

Température en sortie de STEP	Température de la RTE
Minimum : 16,2°C	Minimum : 13°C
Moyenne : 22,3°C	Moyenne : 21,5°C
Maximum : 28,6°C	Maximum : 32,7°C

PERFORMANCES MESURÉES (DONNÉES 2019)

COP PAC chaud	COP système chaud	Efficacité machine frigo	Efficacité système frigo
5,02	2,7	3,1	2,4

CAPTAGE

Récupération des eaux de centrale d'épuration située à 500 mètres du quartier

Débit entre 50 et 150m³/h

BILAN ENVIRONNEMENTAL

190 t CO_2 évitées chaque année	Soit une réduction de 85% par rapport à une solution solaire thermique + gaz	70% d'énergie récupérée

QUELQUES DONNÉES ÉCONOMIQUES (DONNÉES RÉELLES)

DÉTAIL DES COÛTS

Équipements en réseau d'eaux usées (échangeur, canalisations, ...)	62 603 €
Local technique + VRD	230 000 €
Production chauffage (PAC + chaudière + appoint)	287 084 €
Production ECS	406 989 €
Production froid	328 715 €
Autre (métrologie comptage, ingénierie, suivi des travaux)	181 033 €

Coût total de l'opération prévu dans la convention ADEME	Coût réel pour le projet
1 037 951 €	1 496 424 €

FINANCEMENT PAR LE FONDS CHALEUR DE L'ADEME

181 560 €	Soit 12% du prix réel de l'opération

Boucle d'eau tempérée de Belleville-en-Beaujolais (STEP)

CITEAU (69)

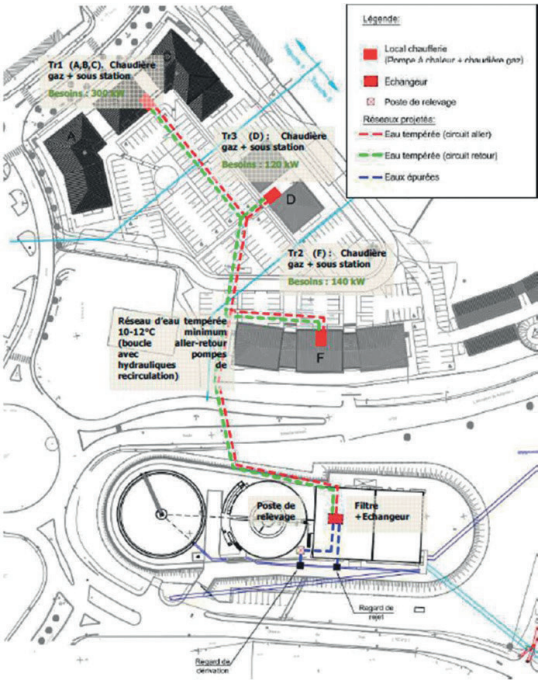
Présentation du projet

Belleville-en-Beaujolais est une commune située dans le département du Rhône (69). Depuis 2012, le CITEAU (Centre Intercommunal de Traitement de l'EAU) traite les eaux usées issues de trois collectivités : Belleville, Saint-Jean d'Ardières et Taponas, **avec un total de 26 000 équivalents logements**.

Depuis le printemps 2014, l'énergie fatale des effluents traités dans cette station d'épuration des eaux usées Saône Beaujolais est **valorisée pour produire de la chaleur, de l'eau chaude sanitaire et du rafraîchissement**. En effet, la station ne se trouve qu'à 200 mètres de la Villa Durabo (projet immobilier de 2 000 m² comportant des Bâtiments Basse Consommation).

La première étape du projet était de **dévier les eaux traitées de la station d'épuration** (création d'une dérivation sur le circuit des eaux traitées) **pour les amener au niveau d'un échangeur de chaleur situé dans le quartier**. Les calories sont captées par un liquide caloporteur circulant dans la boucle d'eau tempérée (à l'aide d'une pompe de circulation). Cette boucle alimente par la suite les **PAC réparties au niveau de chaque immeuble pour la production d'eau de 35 à 55°C**. Une chaudière gaz à condensation assure un appoint pour l'eau chaude sanitaire (60°C) et un secours lors de la maintenance des PAC. Enfin, les émetteurs des bâtiments sont des planchers chauffants pour procurer un confort optimal tant en chaleur qu'en rafraîchissement.

Ce type de projet était le premier en France et il existe encore très peu de références en fonctionnement, quelques projets sont en cours. Cette solution est performante sur le plan environnemental puisque la majeure partie de l'énergie provient d'une source de récupération, et sur le plan économique car les coûts sont maîtrisés (ne dépendant pas du cours du gaz/pétrole). De plus, cette réussite est un bon exemple pour la multiplication de ces projets partout en France puisqu'il y a des stations d'épuration sur tout le territoire.



©citeau

PROJET RECONNU

Marianne d'Or de la République du Développement Durable
Acteur et Territoire du Développement Durable RhônAlpEnergie Environnement
Trophée des Maires du Rhône
Trophée de l'Ingénierie Territoriale

LES ACTEURS

Maître d'ouvrage

CITEAU

Maître d'oeuvre

Groupe MERLIN

LES ENTREPRISES

Bureau d'étude Ingénierie

inddigo

Intervenants

SUEZ

ENGIE Cofely

EGTP

Fabricant de PAC

Carrier

Pour les 3 immeubles en service depuis 2015

MITSUBISHI

Pour les 2 derniers immeubles en 2019 et 2020

Subventions

ADEME
Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie

La Région Auvergne-Rhône-Alpes

RHÔNE LE DÉPARTEMENT

agence de l'eau RHÔNE MÉDITERRANÉE CORSE établissement public de l'État

QUELQUES DONNÉES TECHNIQUES

BÂTIMENTS

Depuis 2015, 3 immeubles pour un total de 4 500 m² de surface de plancher
À partir de 2020, 5 immeubles pour un total de 9 000 m² de plancher à chauffer avec :

78 logements	9 commerces	Bureaux	Locaux d'activités
5 500 m²	1 300 m²	1 200 m²	1 000 m²

PRODUCTION

25 m³/h minimum avec 200 kW

PAC de 300 kW, 130 kW et 140 kW produisant de l'eau à 40°C

Appoint chaudière gaz à condensation de 250 kW

Ballon de 2 000 L

BETEG

Longueur de 120, 80 et 20 m de réseau pour relier les 3 tranches de bâtiments

PEHD 180 mm

Pompe de 40 m³/h à 50 m³/h

Filtration 100 µm

Température dans la boucle

Minimum 2015 : 8,6°C

Moyenne 2015 : 15,8°C

Maximum 2015 : 23,5°C

CAPTAGE

450 m de réseau entre le CITEAU et l'échangeur de chaleur

ENERGIE PRIMAIRE CHAUD ET FROID	TAUX DE COUVERTURE ENR&R	TAUX DE SOLLICITATION DE LA RESSOURCE
Chaleur : **179,7 MWh/an** (27,8% inférieur aux prévisions) ECS : **83,7 MWh/an** (50% inférieur aux prévisions) Soit **59 kWh/m²** en besoins chaud	Taux de couverture PAC : **80%** Appoint chaudière gaz naturel : **20%**	Énergie disponible dans la boucle : **1 302 MWh/an** Énergie prélevée : **159 MWh/an** Taux de sollicitation de **12,2%**

PERFORMANCES MESURÉES

COP machine	COP système
5,28 (prévisionnel 4,13)	**3,99** (prévisionnel 3,49)

BILAN ENVIRONNEMENTAL

Réduction de	Seulement
70% d'émissions de GES (73 tonnes de CO_2 rejetées en moins par an par rapport à une solution de base avec une chaudière au gaz)	**0,1 kg CO_2/kWh** livré

COÛT DE REVIENS DE L'ÉNERGIE

Coût du MWh	Coût de l'énergie	Soit
137,6 € TTC	**10 € TTC/m² SHON/an**	**650,00 € TTC** pour un logement de 65 m²

QUELQUES DONNÉES ÉCONOMIQUES (DONNÉES RÉELLES)

DÉTAIL DES COÛTS

Génie civil, VRD, chaufferie	53 940 €
Chaudière gaz appoint	33 000 €
Captage eaux usées	174 384 €
Sous-stations	85 000 €
Régulation	31 674 €
Système de gestion et de suivi	15 000 €
Ingénierie, études	51 091 €

Coût total de l'opération prévu dans la convention ADEME	Coût réel de l'opération
480 000 €	**534 647 €**

AMORTISSEMENT

7 À 10 ANS

FINANCEMENT

68 % du projet financé par des aides

Fonds Chaleur et NTE de l'ADEME	177 200 €
Conseil Régional	66 000 €
Conseil Départemental	67 730 €
Agence de l'eau Rhône Méditerranée Corse	52 000 €

Boucle d'eau tempérée de Marseille (eau de mer)

MASSILEO© : SMARTSEILLE (QUARTIER ALLAR) (13)

LES ACTEURS

Promoteur

EIFFAGE IMMOBILIER

Maître d'oeuvre et maîtrise d'ouvrage

dalkia smart building GROUPE EDF

Maitrise d'œuvre ingénierie conception réseau BETEG et station de captage

BG

LES ENTREPRISES

Opérateur solution énergétique réseau

dalkia smart building GROUPE EDF

Subventions

ADEME

Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie

UNION EUROPÉENNE
Fonds européen de développement régional

MASSILEO© A ÉTÉ FINALISTE RÉGIOSTARS AWARDS 2017 (PROJETS LES PLUS REMARQUABLES AU NIVEAU EUROPÉEN)

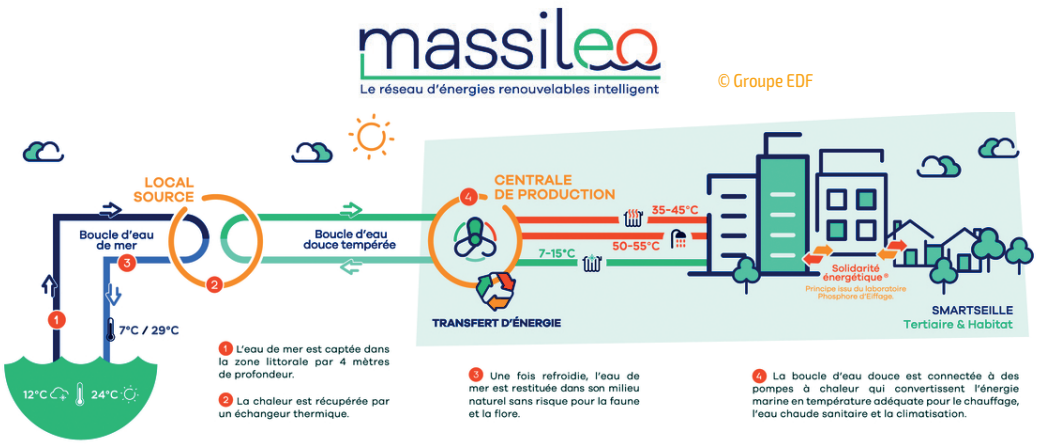
Présentation du projet

Le quartier Allar se situe dans une ancienne friche industrielle des quartiers Nord de Marseille (ZAC littorale). **Il s'agit d'un quartier démonstrateur dont le promoteur immobilier, EIFFAGE IMMOBILIER**, suit un programme de construction et de développement urbain. Ainsi, les bâtiments neufs sont à vocation commerciale, hôtelière, résidentielle, de services et tertiaire pour 55 000 m² d'aménagement. De plus, la ZAC littorale prévoit de se développer jusqu'à atteindre une superficie de 500 000 m² SDP d'ici à 2030 (Établissement Public d'Aménagement d'Euroméditerrannée).

Le projet a tout d'abord débuté par la dépollution des sols par mycoremédiation. Il s'agit d'utiliser des champignons pour absorber le pétrole présent sur l'ancien site industriel. De même, la solution énergétique se voulait exemplaire, innovante et performante puisqu'il s'agit d'un éco-quartier amené à devenir une vitrine pour cette technologie. L'ADEME a pu aider ce projet par le biais du fonds NTE (Nouvelles Technologies Émergentes).

La solution énergétique retenue est la création d'une boucle d'eau tempérée régulée par les calories contenues dans l'eau de mer. Il s'agit en effet d'une ressource locale, abondante, renouvelable et disponible toute l'année avec une température stable entre 12 et 26°C. La boucle a été dimensionnée pour pouvoir accueillir au fil des années des bâtiments supplémentaires, au cours du développement de la ZAC. Après passage dans un échangeur de chaleur, les calories de l'eau de mer sont transmises à la BETEG qui alimente pour le moment une centrale de production (comportant 3 PAC) reliée aux 5 sous-stations des 5 lots déjà construits. D'autres centrales de production seront raccordées au fil du développement de la ZAC.

La boucle d'eau tempérée n'utilise pas seulement une ressource naturelle renouvelable et inépuisable, **elle permet également d'intégrer les bâtiments comme producteurs d'énergie** et non plus seulement comme consommateurs. En effet, la boucle d'eau permet la récupération de calories produites par un bâtiment en climatisation et leur utilisation dans un autre pour la production d'ECS.



2011	Ecocité d'Euroméditerrannée exprime le souhait d'avoir une solution énergétique durable pour alimenter la zone d'aménagement Euroméditerrannée 2
2011 à 2014	Conception du réseau Massileo
2013	Partenariat avec EIFFAGE IMMOBILIER pour le raccordement de l'écoquartier Smartseille à Massileo
2015	Début des travauxde construction de Massileo
2017	Inauguration de Massileo
2017 à 2030	Développement de Massileo pour passer de 58 000 m² à 500 000 m² de plancher à chaufer

QUELQUES DONNÉES TECHNIQUES (DONNÉES 2019)

BÂTIMENTS

5 lots pour un total de 55 330 m² SDP sur 2,7 hectares

450 Logements	Bureaux	Résidence séniors	Commerces et services	Hôtel
22 930 m² SDP	22 080 m² SDP	4 980 m² SDP	3 150 m² SDP	2 190 m² SDP

PRODUCTION

3 PAC montées en Thermo Frigo Pompes

Puissance calorifique par PAC : **981 kW**

Puissance frigorifique par PAC : **811 kW**

T°C eau chaude chauffage : **45/40°C**

T°C ECS : départ **55°C**

T°C eau glacée : **7/12°C**

BESOINS DE CHALEUR POUR 2015	ÉNERGIE RÉCUPÉRÉE DE LA THALASSO-THERMIE	TAUX DE COUVERTURE ENR
Chauffage : **973 MWh/an** ECS : **588 MWh/an** Froid : **659 MWh/an**	**1 761 MWh** après échangeur Eau de Mer	**100%** des besoins seront assurés par les PAC alimentées par thalassothermie soit **plus de 75% d'EnR** (appoint non nécessaire)

BETEG

Longueur : 1 390 m (principalement enterré)

- ø 500 mm sur les 750 premiers mètres
- ø 300 mm sur les 650 derniers mètres

TEMPÉRATURE DANS LA BOUCLE

Été : 26°C – 31°C

Hiver : 12°C – 7°C

RÉSEAU 4 TUBES

L'énergie produite par la centrale de production est délivrée aux bâtiments via un réseau 4 tubes avec une sous-station de livraison par lot (100 mm < ø < 200 mm, taille du réseau : 200 m)

PERFORMANCES MESURÉES

Production chaleur	Production froid
• COP machine : **5,12**	• EER machine : **5,41**
• COP système : **4,03**	• EER système : **4,16**

BILAN ENVIRONNEMENTAL

80% d'émissions de GES

en moins soit 600 tonnes CO_2 économisées

CAPTAGE EAU DE MER

Distance entre la mer et le quartier : **1 400 m**

Pompage dans le port de Marseille à **4 m** de profondeur

Débit maximum de pompage en mer : **450 m³**

Débit moyen de pompage en mer : **130 m³**

Écart de température entre captage et rejet : **5°C**

Dispositif innovant empêchant le développement de moules

QUELQUES DONNÉES ÉCONOMIQUES (DONNÉES PRÉVISIONNELLES)

DÉTAIL DES COÛTS

Local source (pompage, rejet, tuyauterie)	1 569 546 €
BETEG (boucle d'eau tempérée)	3 491 160 €
Équipement de production (PAC, échangeurs, ballons tampons)	2 379 662 €
Réseau de distribution 4 tubes	266 539 €
Monitoring	318 453 €

Coût total de l'opération prévu dans la convention ADEME

8 025 360 €

Dont coûts exigibles : 5 643 220 €

Financement par le Fonds NTE de l'ADEME	Financement par le FEDER :
778 491 € **= 11,97%**	**721 509 €** **= 11,09%**

Boucle d'eau tempérée de Blagnac

(Stockage géothermique inter-saisonnier sur champ de 141 sondes géothermiques verticales de 205 mètres de profondeur)

AIRBUS GROUP - BLAGNAC CAMPUS URBANISATION (31)

LES ACTEURS

Maître d'ouvrage

AIRBUS GROUP

Maître d'oeuvre du Lot Géothermie Marché INFRA (Captage/Boucle d'Eau/ Production/Régulation)

GINGER BURGEAP

LES ENTREPRISES

Bureau d'études sous-sol et Surface

AMO

GINGER BURGEAP

Titulaire Lot Géothermie

mino

Entreprises de forage

F.T.S. FORAGES & TRAVAUX SPECIAUX

GASPARINI Tél : 05 61 09 15 12 Fax : 05 61 35 82 10 www.gasparini-puits.fr PIEUX DE FONDATIONS GEOTHERMIE PUITS

Sous-traitant : Fabricant de PAC & monitoring

WATERKOTTE

Sous-traitant VRD

GUINTOLI

Exploitation

accenta.

Subventions

ADEME

Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie

Présentation du projet

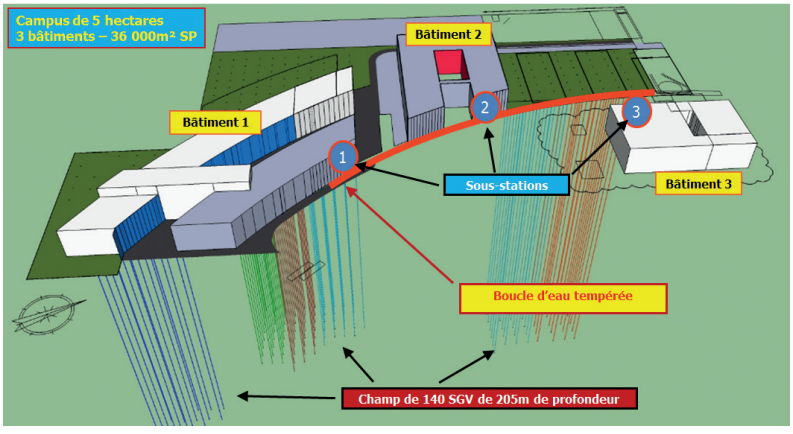
Le projet immobilier de la société AIRBUS avait pour but l'aménagement du siège social du groupe sur le site de Blagnac (31). L'opération portait sur l'aménagement d'un campus de 5 hectares comprenant 2 bâtiments tertiaires et un restaurant intra-entreprise pour une surface plancher totale de 36 000 m². **Le groupe AIRBUS voulait un système énergétique innovant et performant énergétiquement et environnementalement.**

GINGER BURGEAP a tout d'abord établi la stratégie énergétique du projet. Cette première mission a permis de caractériser les besoins énergétiques de l'opération via une simulation thermique dynamique simplifiée (Logiciel NEST). A partir de la problématique thermique, un inventaire des différentes solutions énergétiques a été projeté. **La géothermie de surface a été retenue pour sa capacité à pouvoir subvenir aux besoins de chauffage et de climatisation du site.** Par la suite GINGER BURGEAP a réalisé une étude bibliographique (préfaisabilité) permettant de valider la faisabilité technique, environnementale et réglementaire de l'opération. Cette étude a été complétée d'une étude technico-économique comparative permettant de justifier d'un temps de retour sur investissement inférieur à 8 ans. Cette mission a été suivie d'une étude de faisabilité (Etude de reconnaissance et de pré-dimensionnement du dispositif de captage de la ressource géothermique). En lien avec la projection technique du système de géothermie envisagé GINGER BURGEAP a entrepris les démarches réglementaires associées (Dossier d'Autorisation au titre du Code Minier). Au gré de ces études d'assistance à maîtrise d'ouvrage, le contour de la solution technique de géothermie s'est arrêté sur la mise en œuvre d'un système composé d'une boucle d'eau tempérée couplée à du stockage géothermique inter-saisonnier (champ de Sondes Géothermiques Verticales) alimentant 3 productions décentralisées. Cette nouvelle technologie émergente a fait l'objet d'une demande de financement aux titres du fonds NTE et du fonds chaleur de l'ADEME.

L'installation représente l'équivalent de 2 MW de chauffage/ECS et 1.2 MW de climatisation. **Un système de monitoring** a spécialement été mis en place dans le but d'analyser en temps réel l'exploitation de l'installation pour étudier sa performance énergétique. Les performances énergétiques de l'installation font état de rendements annuels élevés (SCOP de 6.6 et SEER de 7) intégrant les consommations énergétiques des PAC Géothermiques et des auxiliaires côté primaire et boucle d'eau tempérée.

La réussite de cette opération est due en grande partie à la constitution d'un lot technique dédié à la géothermie. Ce lot technique a permis de regrouper l'ensemble du périmètre technique que constitue un système de géothermie (VRD/Captage/Boucle d'eau tempérée/Production/Régulation). La vision ensemblière de cette opération a été le garant d'une bonne conception et réalisation du système. GINGER BUREAGP a assuré la Maîtrise d'œuvre de l'ensemble du système en veillant à sélectionner des entreprises qualifiées, compétentes et spécialisées. L'ensemble des intervenants ont contribué chacun à leur niveau à la réussite de cette opération. Le fait marquant a été l'optimisation de la régulation de la boucle d'eau tempérée par le prestataire en charge du Monitoring de l'installation, clef de voûte du système.

L'exploitation de la BETEG est effective depuis le 31 Mars 2016 et présente des performances énergétiques nettement supérieures à celles qui étaient envisagées !



©BURGEAP

QUELQUES DONNÉES TECHNIQUES (DONNÉES 2016-2017)

BÂTIMENTS

3 bâtiments raccordés à la BETEG pour un total de 36 000 m²

2 bâtiments tertiaires de 12 000 m² et 19 574 m² (neufs)	Le restaurant inter-entreprises de 4 400 m² (existant) - 3 sous-stations (une par bâtiment) - 350 m² de locaux techniques

PRODUCTION

2 MW chaud	1 MW froid
(30 m³ de ballons tampons – Régime 30/35°C)	(30 m³ de ballons tampons – Régime 16/21°C)

VRD	BETEG
1 000 ml de réseaux de distribution en PEHD ø 225 mm 10 000 ml de connexion horizontale en PEHD ø 50 mm 6 collecteurs-distributeurs, 2 regards de sectionnement	400 ml de tubes en inox 304L ø 273 mm calorifugés Fluide caloporteur : Eau pure

CAPTAGE

Champ de 141 SGV de 205 mètres de profondeur soit un total de 28 905 m

Fluide caloporteur : **eau pure**

BESOINS ÉNERGÉTIQUES	PUISSANCE TOTALE INSTALLÉE	TAUX DE COUVERTURE
Besoins chauffage : **1 549 MWh/an** Besoins ECS : **175 MWh/an** Besoins froid : **937 MWh/an**	Puissance chauffage : **1 834 kW** Puissance climatisation : **1 198 kW** Puissance pré-chauffage de l'ECS : **190 kW**	**100%** couverture en chaud **100%** couverture en froid **31%** couverture en ECS

PERFORMANCES MESURÉES

SCOP	SEER	Taux d'EnR de la BETEG	Rendement Thermo Frigo Pompe
6,6	7	82%	11,9

BILAN ENVIRONNEMENTAL

Économie de **135 Tep/an**	**396 tonnes CO_2/an** évitées

MONITORING / GTC

4 armoires électriques de contrôle/Commande avec écran de supervision
110 points de mesures instantanées par sous-station
Dispositif de suivi et d'analyse de la performance énergétique + supervision à distance par télégestions

QUELQUES DONNÉES ÉCONOMIQUES (DONNÉES 2016-2017)

COÛTS DES OPÉRATIONS ÉLIGIBLES AU FONDS CHALEUR 2014 :	
PAC géothermique + Ballons tampons	700 000 €
Groupe froid	340 000 €
Forages SGV	2 439 000 €
Ingénierie	310 000 €
TOTAL	**3 789 000 €**

COÛTS DES OPÉRATIONS ÉLIGIBLES AU FONDS NTE 2014 :	
Boucle d'eau	528 000 €
Monitoring	30 000 €
TOTAL	**558 000 €**

COÛT TOTAL DE L'OPÉRATION « MACROLOT GÉOTHERMIE »	
Prévu dans la convention ADEME	Réel
4 347 000 €	**4 014 011 €**

FINANCEMENT

Par le Fonds Chaleur	Par le Fonds NTE
686 800 € (17%)	**252 600 € (6%)**

Financement total de l'ADEME : **939 400 € (23%)**

Boucle d'eau tempérée d'Issy-les-Moulineaux (nappe)

FORT NUMÉRIQUE (92)

LES ACTEURS

Maître d'ouvrage et exploitant

GEOFORT

AMO & Maître d'oeuvre

dalkia GROUPE EDF

LES ENTREPRISES

Bureau d'études sous-sol

G2H conseils

Bureau d'études fluide

dalkia GROUPE EDF

Fabricant PAC piscine

WATERKOTTE

Fabricant PAC Logement

DAIKIN

Entreprise de forage

FORAGES MASSÉ

Subventions

ADEME

Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie

Présentation du projet

Issy-les-Moulineaux se situe dans le département des Hauts-de-Seine (92). Cette ville comporte un ancien fort militaire du XIX^{ème} siècle d'une superficie de 12 hectares. Ces terrains, appartenant anciennement au Ministère de la Défense, sont désormais gérés par un aménageur. Avec des promoteurs et la ville d'Issy-les-Moulineaux, un éco-quartier a été construit. Cet éco-quartier du fort d'Issy s'appelle Fort Numérique. **Il est High Tech puisque la domotique y est abondante et que c'est par géothermie que tout y est chauffé**.

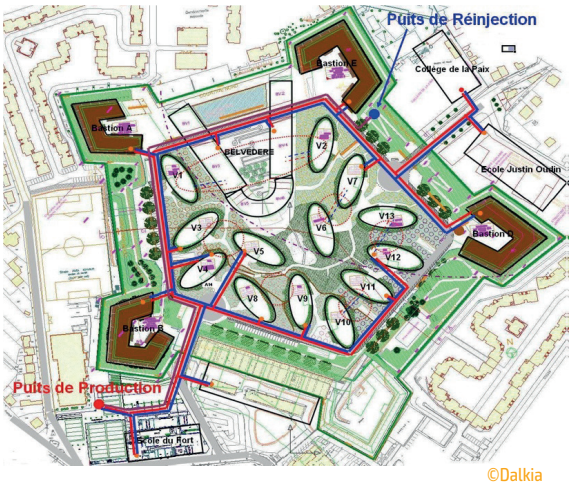
Ce quartier comprend ainsi plus de **1 600 logements** (dont 20% de logements sociaux), **des commerces et équipements publics** (écoles, collège, piscine). Le souhait de l'aménageur et du promoteur était de s'inscrire dans une démarche de développement durable et de haute qualité environnementale avec une alimentation en chaleur renouvelable (chauffage et eau chaude sanitaire) du quartier et des bâtiments labellisés BBC (Bâtiments Basse Consommation) qui bénéficient d'une isolation thermique efficace.

La géothermie est déployée sous forme de boucle d'eau tempérée avec une eau à une température de 28°C provenant d'un doublet sur la nappe souterraine Albienne à environ 600 mètres de profondeur (c'est cette même nappe qui faisait jaillir l'eau au puit artésien de Grenelle à partir de 1841). L'utilisation de l'Albien pour le chauffage d'habitation est une première ! Après passage dans un échangeur à plaques, les calories sont apportées à la BETEG. Des sous-stations équipées de pompes à chaleur eau/eau sont raccordées à cette boucle d'eau et permettent de desservir chaque bâtiment. Les émetteurs de chaleur des bâtiments sont basse température.

Le chauffage et l'eau chaude sanitaire sont produits avec des PAC différentes pour pouvoir s'accorder au mieux aux besoins en température en fonction de la saison.

Du rafraîchissement avec une eau à 20°C est prévu grâce à la récupération des frigories au niveau des évaporateurs des PAC à ECS et à la présence de ballons de stockage d'eau froide.

Le projet a été initié en 2010 mais le quartier est entièrement raccordé à la boucle d'eau depuis avril 2015. En 2017, quelques problèmes au niveau du puits (présence de particules fines dans l'aquifère de l'Albien) ont été rencontrés. Ils ont nécessité le nettoyage des puits ainsi qu'une plus forte consommation en gaz naturel pour compenser le débit plus faible de la nappe.



©Dalkia

- 2009 : Demande d'autorisation de recherche, de travaux d'exploitation
- 2010 : Commencement du projet
- 2011 : Travaux, réalisation des forages, équipement de surface et des sous-stations
- 2012 à 2013 : Raccordement des bâtiments à la boucle et mise en fonctionnement du doublet
- 2014 : Mise en arrêt de la boucle et Travaux en 2015 pour remise en service cette même année
- 2017 : Nettoyage des puits pour en augmenter la productivité

QUELQUES DONNÉES TECHNIQUES

BÂTIMENTS

18 bâtiments d'habitation (1 607 logements) avec un SHON de 104 451 m²

Ecole Justin Oudin	Ecole du Fort	Collège de la Paix
SHON = 3 500 m²	SHON = 3 500 m²	SHON = 4 100 m²

PRODUCTION LOGEMENTS

Présence d'une chaudière à gaz de 2 MW au niveau de l'école du Fort pour les périodes de pointe

Sortie PAC chauffage :	Sortie PAC ECS :
35°C	60°C

BETEG

Longueur
1 625 m

Départ
Eau à 27 °C

Retour
Eau à 12°C

CAPTAGE

Doublet à l'Albien à une profondeur de **635 m**

Forages espacés de **431 m** en surface et **580 m** en profondeur

Ressource à **28°C**

Débit moyen de **65 m³** (débit maximal de 200 m³)

Pompe équipée de variateur de vitesse placée à **120 m** dans le puit

PRIX HT/MW

R1	R2
35,01 € HT/MWh	140,87 € HT/MWh

BESOINS ÉNERGÉTIQUES	PUISSANCE TOTALE INSTALLÉE	TAUX DE COUVERTURE ENR&R
10 797 MWh/an	17 sous-stations pour un total de 5 251 kW	77%

PERFORMANCES MESURÉES LOGEMENTS

COP machine	COP système
4	1,70

BILAN ENVIRONNEMENTAL

2 000 t CO_2 évitées par an	**716 tep** EnR produites

PERFORMANCES DE LA PISCINE

Puissance chauffage **856 kW**	Production chauffage **754 MWh**
Puissance froid **215 kW**	Production froid **221 MWh**
Puissance ECS **196 kW**	Production ECS **193 MWh**

Consommation électrique : 320 MWh

Rendement général : 3,65

QUELQUES DONNÉES ÉCONOMIQUES (DONNÉES 2016-2017)

DÉTAIL DES COÛTS

Forage + sous-sol + assurances	4 376 911 €
Chaufferie gaz	264 475 €
PAC chauffage et ECS + ballons + dépenses liées	1 510 930 €
Boucle	1 281 925 €
COÛT TOTAL DE L'OPÉRATION PRÉVU DANS LA CONVENTION ADEME	**7 434 241 €**

FINANCEMENT PAR LE FONDS CHALEUR DE L'ADEME 3 199 999 €

Dont **1 729 364 €** pour la réalisation des forages Dont **769 155 €** pour la BETEG et les sous-stations ◦ Dont **701 481 €** pour les PAC et la distribution électrique	**43%** du coût total de l'opération

PARTIE 9

Conclusion

La boucle d'eau tempérée à énergie géothermique est un **système de mutualisation d'énergie** pouvant provenir d'une multitude de sources énergétiques :

- Géothermie au sens strict (sondes géothermiques verticales, eaux de nappes souterraines, géostructures, eaux de cavités souterraines),
- Thalassothermie (mers et océans, voire eaux de surface),
- Cloacothermie (eaux usées, sorties de STEP).

La température de l'eau dans la boucle tempérée est alors réhaussée ou abaissée au pied de chaque bâtiment/îlot de bâtiments à l'aide d'une pompe à chaleur (PAC) ou d'une thermofrigopompe. **Le rendement de ces appareils varie de 300% à 3000%** selon le mode de fonctionnement et la simultanéité ou non des productions :

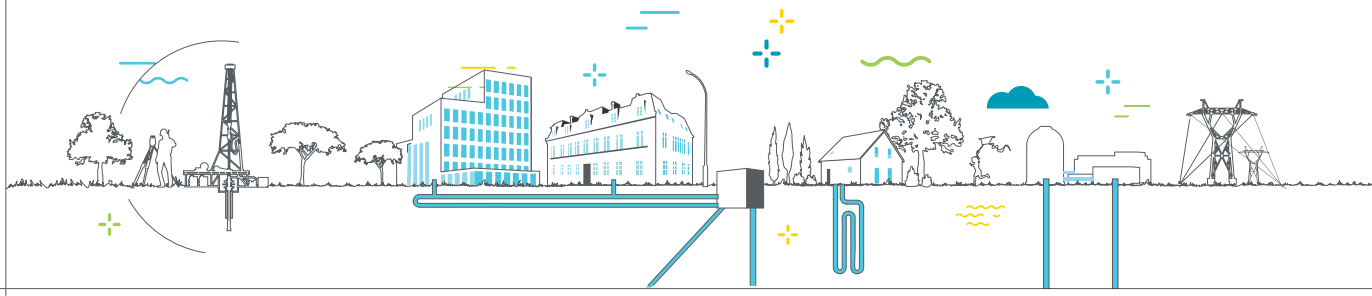
- Production de chaleur,
- Production d'eau chaude sanitaire,
- Production de froid passif (géocooling) ou actif (climatisation).

En plus du système de captage, de mutualisation et de production, **un système de régulation** est présent et correspond à l'intelligence du système.

La BETEG a de nombreux avantages en supplément de sa **polyvalence** :

- Adaptabilité à tous types de projets (écoquartiers, rénovation, construction, ...),
- Adaptabilité à tous besoins d'un quartier (dû à la décentralisation des systèmes de production),
- Evolutivité et modularité,
- Mutualisation de l'énergie produite et consommée,
- Régulation,
- Multi-énergie,
- Utilisation de source d'énergie renouvelable,
- Stockage thermique inter-saisonnier possible,
- TVA à taux réduit,
- Aides financières si la BETEG est alimentée majoritairement avec des énergies renouvelables,
- Simplification de la réglementation,
- Performance,
- Technologie fiable et maitrisée.

C'est pourquoi la boucle d'eau tempérée à énergie géothermique est une infrastructure prometteuse, qui gagnera à se développer plus rapidement dans les années à venir pour assurer le confort au sein des bâtiments et contribuer à la satisfaction des besoins de process tout en répondant à l'urgence climatique.



LES GUIDES TECHNIQUES AFPG

1ÉRE ÉDITION

LA BOUCLE D'EAU TEMPÉRÉE À ÉNERGIE GÉOTHERMIQUE

La géothermie permet de répondre efficacement aux besoins de chaleur et de froid dans les bâtiments. Ce guide livre la vision des professionnels de l'AFPG sur la bonne conception des boucles d'eau tempérée à énergie géothermique (BETEG), qui permet d'assurer ces besoins thermiques à l'échelle de plusieurs bâtiments tout en mutualisant les systèmes de captages géothermiques.

afpg
ASSOCIATION FRANÇAISE
DES PROFESSIONNELS DE LA GÉOTHERMIE

La géothermie,
l'énergie de demain
dès aujourd'hui !

www.afpg.asso.fr

77 rue Claude Bernard
75005 PARIS

09 81 64 74 12
contact@afpg.asso.fr