



Pour la réalisation de ce projet, tous les moyens ont été mis en œuvre pour en limiter au maximum l'empreinte carbone, avant, pendant et après le chantier. Il bénéficie de la certification BREEAM Very Good.

Outre la production énergétique, d'autres solutions environnementales ont été mises en œuvre sur ce projet : création d'un parc végétal de 20 000 m<sup>2</sup>, dont la gestion de l'arrosage est associée à une station météo et à des réserves d'eau de pluie stockées dans des citernes de récupération qui ont été enterrées au tout début du projet ; isolation des ouvertures du bâtiment du siège assurée par des doubles parois vitrées entre lesquelles est organisée une circulation d'air conditionnée par la température extérieure ; tous les robinets d'arrivée d'eau sont équipés de dispositifs de temporisation. De même, tous les luminaires sont à LEDs et équipés de détecteurs de mouvement pour commander leur arrêt en cas d'inoccupation des locaux.

Tous ces équipements ne sont pas décrits dans cet article consacré au choix de la géothermie pour le siège d'Airbus, mais font partie de la démarche environnementale engagée pour la réalisation du projet considéré.

## Études énergétiques liées au projet

Au début du projet, aucune étude thermique réglementaire ni aucune simulation thermique dynamique des différents bâtiments n'avaient été réalisées, l'étude de la géothermie étant entreprise très en amont. Par conséquent, les premières hypothèses énergétiques considérées ont été calculées. Le bureau d'études BURGEAP a entrepris la rédaction d'un schéma directeur établissant un plan de réduction des gaz à effet de serre (GES) à l'échelle des différents sites d'Airbus dans le département de la Haute-Garonne. Dans le cadre de cette étude, il a été procédé à une évaluation des performances énergétiques de l'ensemble des bâtiments existants et à une projection des consommations énergétiques des futurs bâtiments. Airbus a également fait réaliser ultérieurement des études thermiques relatives aux besoins énergétiques des bâtiments selon la réglementation thermique 2012 (actuellement en vigueur), ainsi que des simulations thermiques dynamiques. Il a ainsi pu être vérifié l'adéquation entre les hypothèses de base et la réalisation effective.

Bâtiment	SHON (m <sup>2</sup> )	Chauffage (kW)	Chauffage (W/m <sup>2</sup> )	Refroidissement (kW)	Refroidissement (W/m <sup>2</sup> )	ECS (kW)	ECS (W/m <sup>2</sup> )
Head Quarter	12250	360	30	480	40		
Share Services	21675	6590	30	867	40		
ISF	11900	357	30	476	40		
Restaurant	3500	420	120	140	40	128	37
Well Being	900	27	30	36	40		
<b>TOTAL</b>	<b>50225</b>	<b>7754</b>		<b>1999</b>		<b>128</b>	

Tableau 1 : Besoins thermiques du projet – Source : dossier d'études BURGEAP.

## Les hypothèses énergétiques de départ

Compte-tenu des hypothèses conservatrices retenues dans le cadre de l'estimation des besoins thermiques, il a été convenu de ne pas majorer les besoins thermiques. Ils sont :

- en chauffage de 1 518 MWh th/an,
- en refroidissement de 1 321 MWh th/an,
- et en eau chaude sanitaire (ECS) de 177 MWh th/an.

Les estimations des besoins énergétiques liés au projet sont issues de logiciels de calcul, à l'exception des valeurs relatives au restaurant qui s'appuient sur les retours d'expérience d'Airbus ainsi que sur les relevés de compteurs calorifiques de bâtiments de type RIE (restaurant inter-entreprises) existants.

## Principe de production de la géothermie sur sondes géothermiques verticales

Dans le cas considéré, la géothermie repose sur un champ de 140 sondes géothermiques verticales (SGV) espacées de 8 m et plongeant à 205 m de profondeur. Ces sondes débouchent sur des collecteurs qui alimentent une boucle d'eau, laquelle approvisionne des sous-stations.

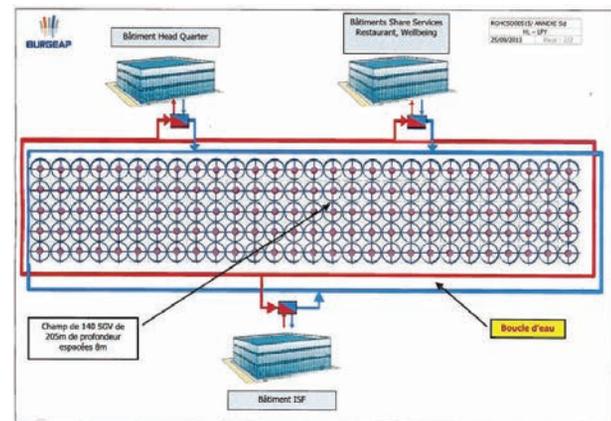


Figure 4 : Boucle d'eau du site – Source : dossier d'études BURGEAP.

Le principe de production est basé sur l'intégration d'une conception spécifique à la production géothermique, celle des PAC géothermiques :

- fonctionnement de ces pompes « en tout ou rien » en jouant sur leurs plages de compression (0 %, 25 %, 50 %, 75 %, 100 %) : 4 à 8 compresseurs embarqués pour chaque PAC géothermique et par sous-station ;
- réversibilité de la production à partir de la panoplie d'équipements hydrauliques adossés à la PAC géothermique et non de la PAC elle-même ;
- valorisation du mode de fonctionnement par « thermo frigo pompe » (production simultanée de chaud et de froid par les PAC géothermiques) ;
- capacité du système à assurer un fonctionnement par *géo-cooling* (rafraîchissement direct opéré sans recours à la PAC géothermique, mais en jouant sur les régimes de température de distribution du froid à mi-saison dans les bâtiments).

L'optimisation de la régulation de la boucle d'eau tempérée (BETEG) repose sur un fonctionnement à la demande des sous-stations : les pompes de circulation sont régulées par le nombre de compresseurs installés sur le site, et donc par la puissance appelée par chaque sous-station. La régulation des pompes de circulation de la BETEG (2 pompes de 22 kW) permet d'arrêter des circulateurs sur des durées correspondant à plus de 50 % de leur temps de fonctionnement à l'échelle d'une année : ainsi, la consommation énergétique des pompes en question à l'échelle du site représente moins de 3,5 % du bilan énergétique de l'installation (si la BETEG avait été régulée comme un réseau de chaleur classique par application du delta « P » (Pression), la consommation énergétique des pompes de circulation aurait représentée près de 12 à 15 % du bilan énergétique de l'opération).

#### La production de chauffage

Le système de production du chauffage est un système monovalent fonctionnant sur la base de pompes à chaleur géothermiques reliées à un champ de sondes. Le fluide caloporteur du dispositif de géothermie est l'eau. Il est par conséquent obligatoire de disposer d'une installation exploitant un régime d'eau d'une température se situant au minimum du côté évaporateur (au niveau des sondes géothermiques verticales), entre 4 et 7° C afin d'assurer la mise hors gel du système géothermique lors de la production de chauffage. Le dispositif des PAC géothermiques est pour ce faire couplé à des ballons tampons permettant le stockage de la chaleur. La PAC géothermique eau/eau fonctionne sous le régime d'eau suivant :

- du côté évaporateur (les SGV) : température comprise entre 4 et 7°C ;
- du côté condenseur (la PAC) : température entre 30 et 35°C.

Le COP annuel moyen est de 4.

#### La production d'eau chaude sanitaire

Le système de production d'ECS est un système bivalent fonctionnant à partir de pompes à chaleur géothermiques reliées à un champ de sondes et disposant d'un appoint électrique. Le dispositif de géothermie assure le préchauffage de l'ECS sur la

base d'un régime de température de 40°C/45°C du côté condenseur. La définition des besoins en puissance et des consommations énergétiques en ECS a été établie sur la base d'un delta de température de 35°C entre la température de l'eau livrée par le réseau public et la température de consigne permettant le préchauffage de l'ECS. La puissance de dimensionnement en ECS a été établie dans le cas considéré sur le principe d'un ballon tampon de 2 000 litres permettant de préchauffer l'eau à 45°C en une heure. La puissance calorifique de la PAC géothermique est de 81 kWc. La consommation énergétique en ECS, à raison de 11 m<sup>3</sup> par service sur 252 jours ouvrés sur l'année calendaire, s'élève à 113 MWh/an. La puissance installée de l'appoint est de 47 kW ; les deux systèmes (PAC et appoint) sont pilotés par une sonde de température, et s'appuient, comme précisé ci-dessus, sur un ballon tampon d'une capacité de 2 000 litres, où l'eau stockée est préchauffée à une température de 65°C afin d'éliminer tout risque de légionellose. La PAC géothermique eau/eau fonctionne selon le régime d'eau suivant :

- côté évaporateur (les SGV) : température comprise entre 4 et 7°C ;
- et côté condenseur (la PAC) : température entre 40 et 45°C.

Le COP annuel moyen est de 4.

#### La production de froid actif

Le système de production de froid est un système bivalent fonctionnant sur la base d'une pompe à chaleur géothermique associée à un groupe froid externe. Le dispositif des PAC géothermiques est couplé à des ballons tampons permettant le stockage du froid. Les PAC géothermiques eau/eau fonctionnent selon le régime d'eau suivant :

- côté évaporateur (la PAC) : température comprise entre 15 et 21°C ;
- côté condenseur (les SGV) : température se situant entre 30 et 35°C.

L'EER (le coefficient de performance frigorifique) annuel pris en compte est de 3,3.

#### Le principe de distribution de l'énergie géothermale

La distribution de chaleur et de refroidissement *via* l'installation de géothermie sur champ de SGV s'effectue sur le principe d'une boucle d'eau froide. Cette solution consiste à faire circuler le fluide caloporteur (l'eau) des sondes géothermiques verticales directement dans la « boucle d'eau froide » qui chemine dans des galeries enterrées aboutissant dans chaque bâtiment. La boucle d'eau froide alimente les bâtiments par l'intermédiaire de sous-stations, qui sont constituées pour chacune d'elles :

- d'un échangeur permettant également un rafraîchissement direct des bâtiments à la mi-saison (*géo-cooling*) ;
- de différents équipements de production qui permettent de couvrir les besoins de chauffage, de refroidissement et d'eau chaude sanitaire de chacun des bâtiments (voir la Figure 5 de la page suivante).

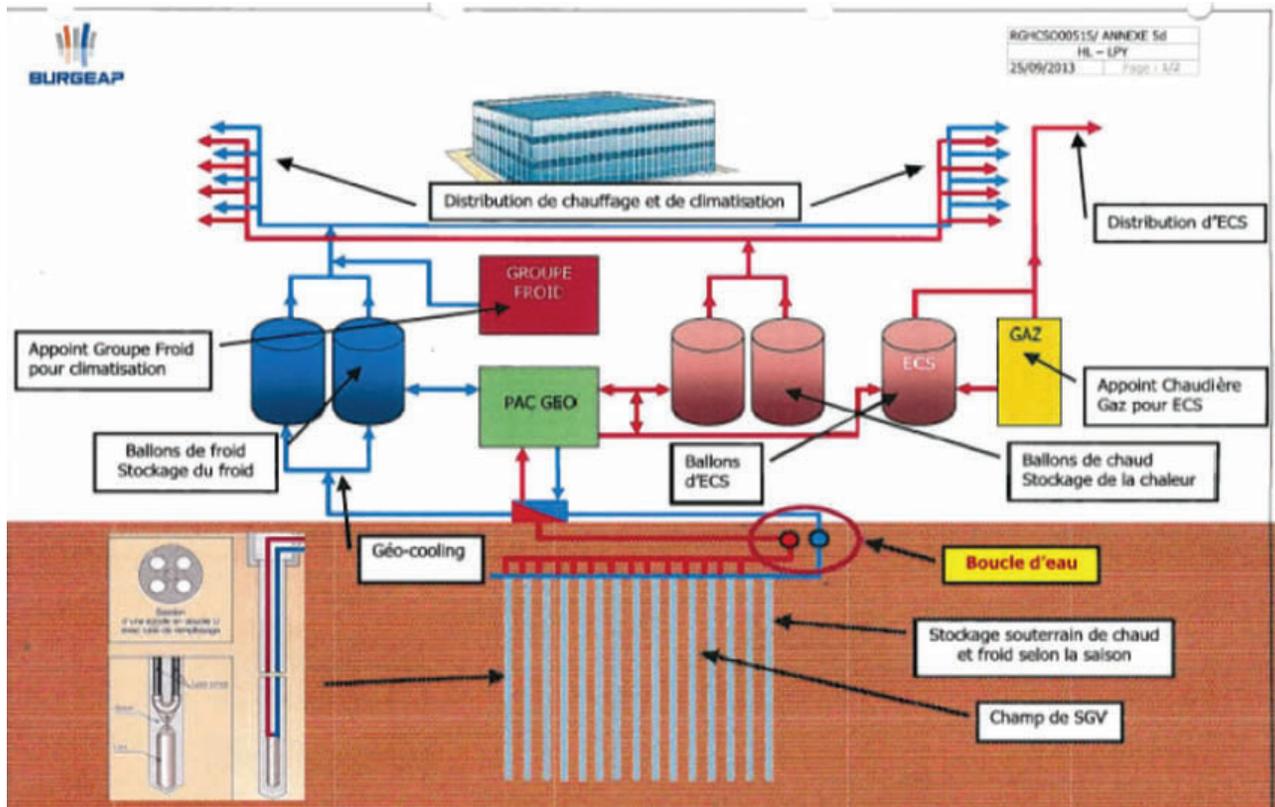


Figure 5 : Distribution du chauffage et de la climatisation – Source : dossier d'études BURGEAP.

### Le principe de distribution de la chaleur et du froid dans les bâtiments

L'émission de la chaleur et de la climatisation dans les bâtiments est assurée par une distribution hydraulique via des ventilo-convecteurs.

### Étude économique et environnementale

L'étude technico-économique visant à une comparaison des solutions d'alimentation par recours à un forage géothermique ou à une chaudière au gaz a démontré tout l'intérêt de la solution retenue, celle de la géothermie, aussi bien du point de vue économique qu'environnemental (voir la Figure 6 ci-après).

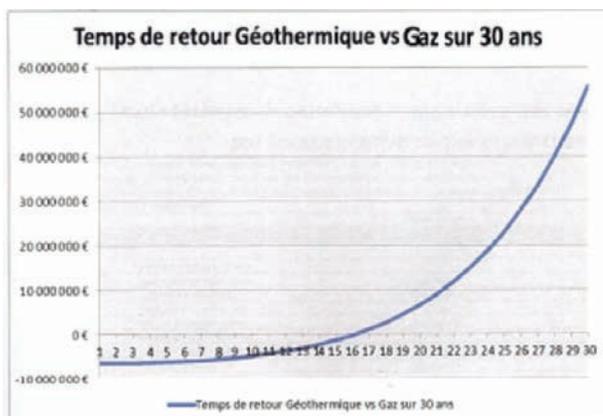


Figure 6 : Comparaison du temps de retour sur investissement de la solution géothermique versus recours à une chaudière au gaz sur une durée de 30 ans – Source : dossier d'études BURGEAP.

L'intégration d'un *Smart Grid* thermique (le Géo Smart City®) a été considérée à l'époque comme une innovation (le fonds NTE (Nouvelles technologies émergentes) ayant contribué au financement de l'opération par l'intermédiaire de l'Ademe). Ce *Smart Grid* thermique alors précurseur fait aujourd'hui référence en matière de BETEG (la boucle d'eau tempérée à énergie géothermique avec ses productions décentralisées) aussi bien pour l'Ademe que pour les professionnels de la géothermie adhérents à l'AFPG (Association française des professionnels de la géothermie – voir le guide technique à l'adresse suivante : [APFG\\_GUIDE\\_BoucleEau\\_BAT4.pdf](http://APFG_GUIDE_BoucleEau_BAT4.pdf) sur le site [afpg.asso.fr](http://afpg.asso.fr)).

L'étude réalisée montre que la solution géothermique est rentable et peut être amortie sur une durée correspondant à la moitié de la période d'observation, qui est, pour mémoire, de trente ans. Le TRI (taux de rentabilité interne) du système géothermique proprement dit est d'environ 10 à 12 %.

Dans cette étude, il est tenu compte des aides allouées au titre du fonds Chaleur, dont les montants ont été définis sur la base d'équivalents TEP économisés (aides versées jusqu'à fin 2013). La part des aides représentent 25 % du montant total du projet.

### La mise en œuvre du projet

Le planning faisait état de six mois de travaux. Par précaution et afin de ne pas impacter le chantier dans sa globalité, l'implantation des champs des sondes a été réalisée sur des surfaces non bâties. De plus, la géothermie a été traitée en tant que chantier à part entière, ce qui a permis de gérer, en parallèle, les



Figure 7 : Travaux de forage réalisés sur le site de Blagnac

autres chantiers du projet. Ainsi, le chantier du campus a été décomposé en sept chantiers : le siège (les bâtiments HeadQuarter et ISF), le bâtiment Share services, le restaurant, le poste d'accueil, le parking en silo et le système de géothermie et les infrastructures associées. Chaque chantier a été traité par des entreprises différentes, intervenant sous la direction de la maîtrise d'œuvre.

Le choix fait par Airbus a été de dédier un lot technique spécifique à la géothermie à une équipe de maîtrise d'œuvre ensemblière (BET BURGEAP qualifié OPQIBI 1007 et 2013), un lot englobant le captage, la boucle d'eau tempérée et ses productions décentralisées, et la régulation du système.

Le chantier se situant dans un environnement aéroportuaire, certaines contraintes ont dû être prises en compte : respect des servitudes aéroportuaires et sollicitation d'autorisations pour l'installation des grues. L'aéroport de Blagnac ayant été bombardé pendant la Seconde Guerre mondiale, des études pyrotechniques ont été nécessaires afin de vérifier l'absence de tout engin explosif avant de réaliser les opérations de forage.

Un tel chantier nécessite des compétences importantes en matière de forage, mais surtout une très bonne connaissance du sous-sol. Des études préalables du sous-sol ont été effectuées en amont du chantier ainsi qu'un forage test afin de conforter les résultats des études.

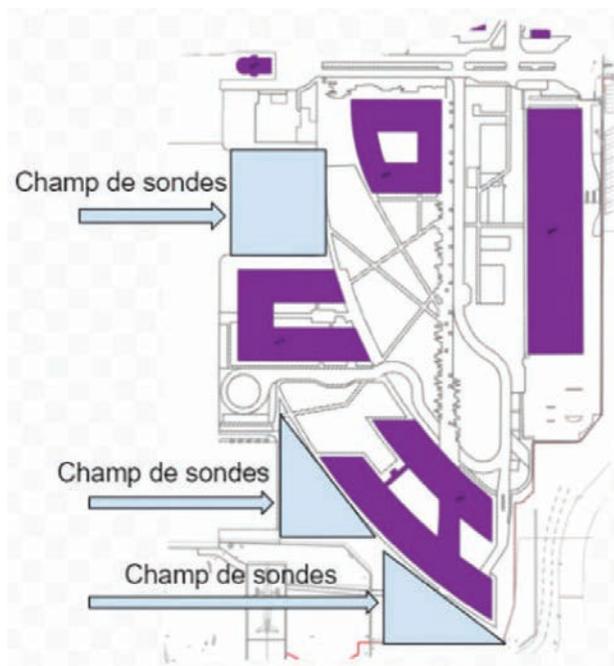


Figure 8 : Le chantier Airbus.

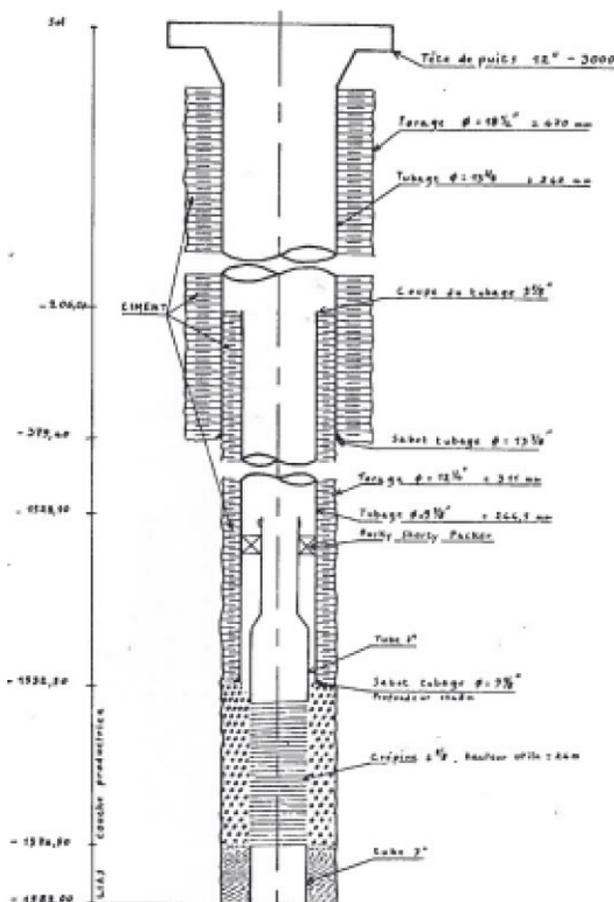


Figure 9 : Schéma de forage du puits test – Source : dossier d'études BURGEAP.

L'ensemble de l'opération de géothermie a représenté la réalisation :

- de forages espacés de 8 mètres représentant un champ accueillant 141 sondes SGV plongées jusqu'à 205 m de profondeur (équivalent en cumulé à 28 905 m) et dans lesquelles circule un fluide caloporteur (en l'espèce, de l'eau) ;



Les zones C1, C2, C3, C4, C5, C6 comprennent respectivement :

- C1 : 21 SGV (5 forages réalisés)
- C2 : 31 SGV (10 forages réalisés)
- C3 : 28 SGV
- C4 : 14 SGV
- C5 : 27 SGV
- C6 : 20 SGV

TOTAL : 141 SGV

Figure 10 : Zones d'implantation des sondes SGV – Source : dossier d'études BURGEAP.

- de travaux de voirie et réseaux divers (VRD) : 10 000 m<sup>2</sup> de plateformes de travail et de pistes d'accès ; 4 000 m<sup>3</sup> de terrassement ; 10 000 ml de connexions horizontales en PEHD (polyéthylène haute densité) et d'un diamètre de 50 mm ; 1 000 ml de réseaux de distribution enterrés, eux aussi, en PEHD et d'un diamètre allant de 225 à 355 mm ; 6 collecteurs-distributeurs et 2 regards de sectionnement ;
- de locaux pour accueillir les pompes : 50 m<sup>2</sup> pour le local technique, où sont installés 2 (+ 1) pompes de circulation d'un débit de 240 m<sup>3</sup>/h, 1 armoire électrique avec variateurs de fréquence et un dispositif de maintien de la pression pour un réseau (des SGV à la boucle d'eau) estimé, en volume, à 180 m<sup>3</sup> ;
- d'une boucle d'eau se composant de 400 mètres linéaires de tube inox 304 L, calorifugé et d'un diamètre de 323 mm, et de 3 piquages ;
- de sous-stations (au nombre de 3) : 350 m<sup>2</sup> de locaux techniques ; 2 MW de puissance calorifique ; 1 MW de puissance frigorifique ; des ballons tampons correspondant à un volume de 30 m<sup>3</sup> ; un régime de température se situant, à chaud, entre 30 et 35°C et, à froid, entre 16 et 21°C ;
- de travaux de *monitoring*/GTC : installation de 4 armoires de régulation avec écrans de supervision ; plus de 110 points de télémessure instantanée au niveau de chaque sous-station ; la production de rapports d'analyse et de suivi de la performance énergétique de l'installation.

## Les résultats

Airbus a engagé une ambitieuse politique de gestion de l'énergie de ses bâtiments, se fixant des objectifs extrêmement élevés. Le site du siège d'Airbus est partie intégrante de cette politique.

Les résultats sont au rendez-vous. La consommation énergétique fait l'objet d'un suivi en temps réel au travers de la GTB du site. Un bilan est fait chaque année (voir le Tableau 2 de la page suivante).

Airbus a communiqué les résultats de la performance énergétique de cette installation à l'Ademe durant cinq ans (condition nécessaire pour pouvoir bénéficier de la subvention allouée par cet organisme). Une communication sur la consommation d'énergie en temps réel est également faite à l'entrée du restaurant à destination des utilisateurs du campus (voir la Figure 11 de la page suivante).

**La performance énergétique et environnementale de l'installation de géothermie du site de Blagnac dépasse les objectifs de l'Ademe**, avec un SCOP de 6,2, un SEER de 4,6 et un rendement global à l'année de 5,4 (chauffage/climatisation/ECS).

Désignations	U	Convention ADEME		PROJET Réel	
		Géothermie	Sol. Référence	Géothermie	Appoint/référence
<b>CHAUFFAGE</b>					
Besoins annuels de chauffage à satisfaire	MWh/An	1 144	1 144	1 549	1 549
Puissances installées sur PAC Géothermique	kW	1 814	1 814	1 834	1 834
Taux de couverture de la PAC Géothermique/Référence	%	100%	100%	100%	100%
Production thermique de la PAC	MWh/An	1 144		1 549	
Consommation électrique de la PAC	MWh/An	279	24.39%	233	15.06%
Consommation des Auxiliaires	MWh/An	52	4.55%	14.8	0.96%
Puissance Elec de la PAC	kW	439		292	
Type d'énergie à l'appoint de la Géothermie ou à la solution de référence		Pas d'appoint	Gaz Naturel	Pas d'appoint	Gaz Naturel
Puissance de l'appoint et de la solution de référence	kW	0	1 814	0	1 834
Rendement moyen de l'appoint et de la solution de référence PCI		0%	85%	0%	85%
Consommation de l'appoint et de la solution de référence	MWh/An	0	1 346	0	1 823
<b>Consommation TOTALE pour la production de Chauffage</b>	<b>MWh/An</b>	<b>331</b>	<b>28.93%</b>	<b>259</b>	<b>16.69%</b>
<b>PERFORMANCE des Générateurs</b>					
Solution PAC Géothermie - SCOP annuel (Chauffage)		3.46	346%	6.2	
Solution de référence - Rendement annuel (Chauffage)			85%	624%	85%
Nombre d'heure de fonctionnement	hrs	631		845	
Tep Chaud produites ( Tep = 11,63 MWh)	Tep	28	116	22	157
<b>Tep ENR Chaud Valorisée</b>	<b>Tep/EnR</b>	<b>87</b>		<b>135</b>	

Tableau 2 : Comparaison entre les données théoriques de la convention Ademe et les résultats obtenus dans le cadre du projet – Source : dossier d'études BURGEAP.

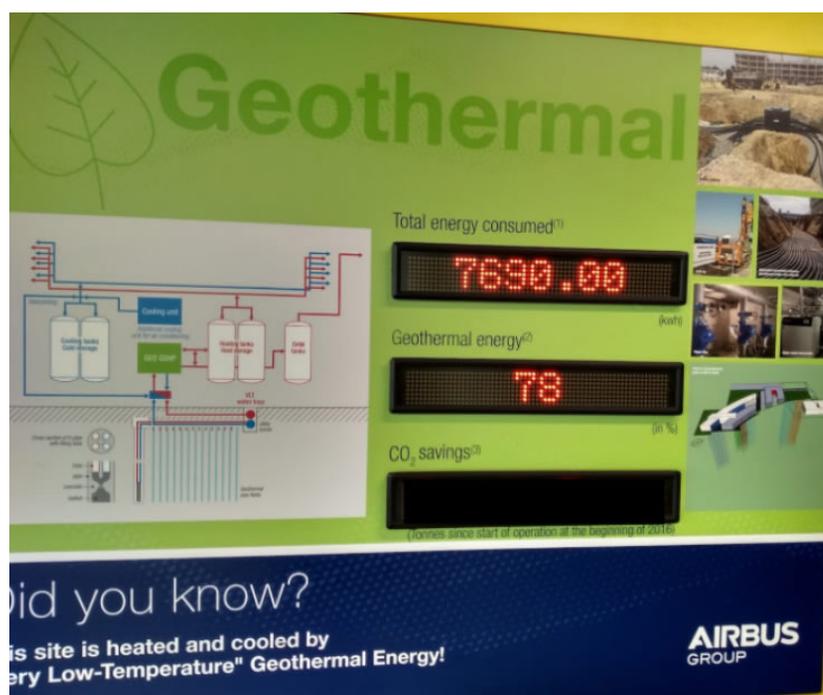


Figure 11 : Suivi en temps réel de la consommation d'énergie.