



LIVRE BLANC

La géoénergie pour réussir la décarbonation de son parc immobilier

Solutions et financement

Mai 2025

SOMMAIRE

SYNTHÈSE	4
LA GÉOÉNERGIE : UN LEVIER ESSENTIEL POUR LA DÉCARBONATION DU PARC IMMOBILIER FRANÇAIS	4
CONTEXTE ET ENJEUX	4
AVANTAGES DE LA GÉOÉNERGIE	4
SOLUTIONS PRATIQUES ET FINANCEMENTS	4
PERSPECTIVES ET DÉFIS	4
 FRANCE GÉOÉNERGIE : QUI SOMMES-NOUS ?	 5
UNE INITIATIVE COLLECTIVE POUR PROMOUVOIR LA GÉOÉNERGIE, AVEC ET POUR SES UTILISATEURS	5
UN TRAVAIL COLLECTIF POUR DÉCARBONER LE PARC IMMOBILIER FRANÇAIS	6
QUEL QUE SOIT VOTRE PROFIL, REJOIGNEZ FRANCE GÉOÉNERGIE !	6
 LE CONTEXTE	 7
LA RÉVOLUTION DES TECHNOLOGIES BAS CARBONE DU BATIMENT	8
LA RÉVOLUTION DU FINANCEMENT DES TECHNOLOGIES BAS CARBONE	9
LA RÉVOLUTION DE LA PERFORMANCE GARANTIE	10
 LES DIFFÉRENTS TYPES DE GÉOÉNERGIE ET LEURS ATOUTS	 11
LES DIFFÉRENTS TYPES DE GÉOÉNERGIE	11
LES CHAMPS DE SONDES GÉOTHERMIQUES	11
LA GÉOÉNERGIE SUR AQUIFÈRE	12
LA GÉOÉNERGIE EN THALASSOTHERMIE	12
LE GÉOSTOCKAGE	12
LES SMARTGRIDS THERMIQUES DE DERNIÈRE GÉNÉRATION GRACE AUX BOUCLES D'EAU TEMPÉRÉE	12
LA Géoénergie UN ATOUT POUR LE FUTUR DE L'IMMOBILIER DÉCARBONÉ	13
L'ATOUT D'UNE PRODUCTION MULTI-ÉNERGIE	13
L'ATOUT DE L'UNIVERSALITÉ	14
L'ATOUT DE L'ABONDANCE ET DE LA DURABILITÉ	14
L'ATOUT DE LA PERFORMANCE ÉNERGETIQUE	14
L'ATOUT DE LA PERFORMANCE CARBONE	14
L'ATOUT DE LA DURÉE DE VIE DES INSTALLATIONS	15
L'ATOUT DE LA RÉDUCTION DES EXTERNALITES NÉGATIVES	15
 SE LANÇER DANS UN PROJET DE GÉOÉNERGIE EN PRATIQUE	 16
ORGANISER LA MISE EN PLACE DE VOTRE CENTRALE DE GÉOÉNERGIE	16
GERER LES PRESTATAIRES PAR VOUS-MÊME VIA UNE SOUS-TRAITANCE ALLOTIE	16
LA SOLUTION CLÉ EN MAIN OU L'EPC – « ENGINEERING PROCUREMENT AND CONSTRUCTION »	17
LES CONTRATS DE VENTE DE CHALEUR ET DE FROID	18
LES SERVICES D'EXPLOITATION ET DE MAINTENANCE	18
LE CONTRAT DE PERFORMANCE ÉNERGETIQUE ET ENVIRONNEMENTALE	18
COMMENT S'ASSURER DE GARANTIR LA PERFORMANCE DANS LE TEMPS ?	19

POURQUOI CRAINdre UN DÉRAPAGE DE LA PERFORMANCE DANS LE TEMPS ?	20
SYNTHÈSE DES DIFFÉRENTS MODES DE CONTRACTUALISATION D'UN PROJET DE GÉOÉNERGIE ET SON INCIDENCE EN TERMES DE COUVERTURE DES RISQUES.....	21
L'ASSISTANT À MAITRISE D'OUVRAGE, UN ACTEUR CLÉ DE VOTRE REUSSITE	22
LE CAS SPECIFIQUE DES MARCHES PUBLICS	24
LA LOI MOP	24
LES MARCHÉ GLOBAL DE PERFORMANCE (MGP)	25
LE MARCHÉ GLOBAL DE PERFORMANCE ÉNERGETIQUE A PAIEMENT DIFFÉRÉ (MGPE-PD).....	25
RÉPARTITION DES RESPONSABILITÉS ET DES RISQUES SUR LES MARCHÉS PUBLICS	27
FINANCEMENT DE LA Géoénergie	28
LE COUT D'UNE INSTALLATION DE GÉOÉNERGIE	28
LES COUTS.....	28
LES SUBVENTIONS ET AUTRES AIDES FINANCIÈRES.....	29
LES COUTS DES PRODUCTIONS DE LA GÉOÉNERGIE	33
L'AMORTISSEMENT DES CENTRALES DE Géoénergie.....	33
LE COUT DES SERVICES D'EXPLOITATION ET DE MAINTENANCE.....	33
LE COUT DES ÉNERGIES PRIMAIRES ÉLECTRIQUES EN FRANCE.....	34
LES MODES DE FINANCEMENT DE LA GÉOÉNERGIE	34
FINANCEMENT ASSURÉ PAR LE CLIENT	34
EXTERNALISATION DU FINANCEMENT	35
LE COUT COMPLET DES PRODUCTIONS DE GÉOÉNERGIE	37
DÉFINITION DU LCOE – LEVELIZED COST OF ENERGY.....	37
LE COUT COMPLET BRUT DE LA Géoénergie POUR LE CHAUFFAGE PAR MWH.....	37
LE COUT COMPLET BRUT DE LA Géoénergie POUR LE CHAUFFAGE ET LE RAFRAICHISSEMENT PAR MWH.....	38
COMPÉTITIVITÉ DE LA GÉOÉNERGIE COMPARÉ AUX AUTRES ÉNERGIES RENOUVELABLES THERMIQUE	38
RETOUR D'EXPERIENCE DE PROJETS DE GÉOÉNERGIE	40
FAQ	46
GLOSSAIRE	49
ANNEXES	55
RÉFÉRENCES DOCUMENTAIRES	59
ANNUAIRE DES ACTEURS DE LA GÉOÉNERGIE	60
CONTRIBUTEURS ET REMERCIEMENTS	61

SYNTHÈSE

Le document aborde la géoénergie, en mettant en lumière ses avantages et les moyens de financement adaptés pour promouvoir la décarbonation des bâtiments en France.

La géoénergie : un levier essentiel pour la décarbonation du parc immobilier français

France Géoénergie (FGE) agit en tant que collectif rassemblant des acteurs publics et privés pour promouvoir l'usage de la géoénergie, une solution clé dans la transition énergétique. Cette technologie exploite les calories et frigories du sous-sol pour produire du chauffage et de la climatisation. En offrant une réduction significative des émissions de CO₂ et des économies d'énergie primaire

Contexte et enjeux

La transition énergétique exige des solutions efficiente et durables pour répondre aux nouvelles réglementations comme la loi Climat et Résilience ou le décret tertiaire pour décarboner le parc immobilier Français comme défini dans les objectifs de la Stratégie Nationale Bas Carbone (SNBC). La géoénergie se distingue par son universalité (97 % du territoire français éligible), sa durabilité et son abondance. Elle s'adapte à divers types de bâtiments (tertiaires, logements collectifs et individuel, santé, industrie, etc.), et constitue une alternative la plus performante face à d'autres énergies renouvelables comme la biomasse ou les pompes à chaleur aérothermiques.

Avantages de la géoénergie

1. **Production multi-énergie** : une infrastructure unique produit chauffage, eau chaude sanitaire et climatisation.
2. **Performance énergétique et carbone** : elle offre des performances très élevées en réduisant les émissions de CO₂ de 95% par rapport aux solutions carbonées (chaudière à gaz notamment) et en déduisant la consommation d'énergie de plus de 70%
3. **Durée de vie** : les installations souterraines ont une durée de vie jusqu'à 100 ans et les pompes à chaleur géothermique affichent des durées de vie supérieures à 25 ans.
4. **Silence et intégration** : cette technologie est discrète et silencieuse, facilitant son adoption.

Solutions pratiques et financements

Les maîtrises d'ouvrage peuvent choisir entre plusieurs modèles de mise en œuvre :

- **Un achat en direct des différents lots** : pilotage complet du projet par les maîtrises d'ouvrage avec des prestataires spécialisés (bureaux d'études, foreurs, fournisseurs de PAC, etc.).
- **Solution clé en main (EPC)** : un contractant unique s'occupe de la conception, de la construction et de la maintenance.
- **Energy-as-a-Service (EaaS)** : le fournisseur gère l'intégralité du projet en échange d'un contrat de fourniture énergétique.

Le modèle financier repose sur l'autofinancement à moyen terme grâce aux économies réalisées sur les coûts d'énergie. Les subventions, comme le Fonds Chaleur de l'ADEME, les aides régionales et européennes et complétées par des aides privées à l'instar des Certificats d'Économies d'Énergie (CEE), réduisent les coûts initiaux. Par ailleurs, pour les marchés publics des contrats innovants comme le Marché Global de Performance Énergétique à Paiement Différé (MGPE-PD) permettent de massifier les projets en étalant les paiements sur la durée de vie des installations.

Perspectives et défis

Pour garantir le succès des projets, la performance doit être maintenue sur plusieurs décennies. Cela passe par des contrats de performance énergétique (CPE) avec des mécanismes de pénalités/bonus pour s'assurer du respect des objectifs de décarbonation. Le rôle des assistants à maîtrise d'ouvrage (AMO) est également essentiel pour coordonner les différentes étapes et sécuriser les financements.

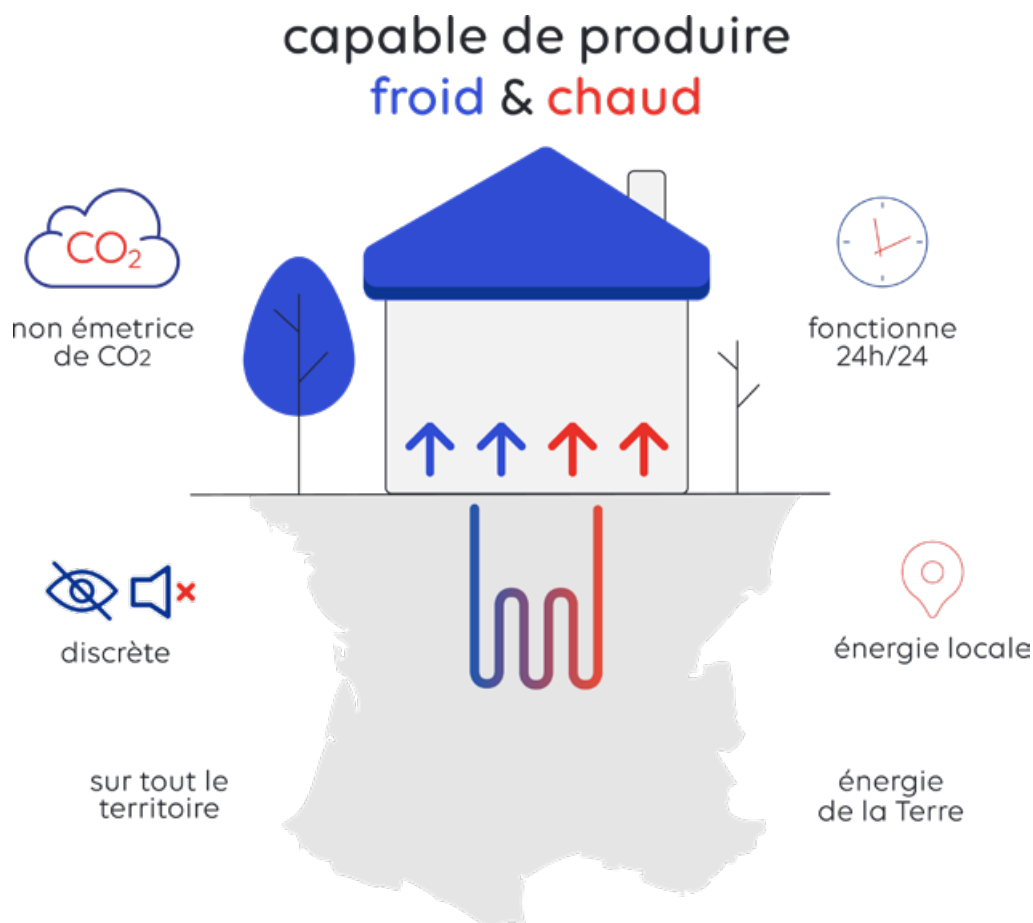
En conclusion, la géoénergie offre une réponse complète aux enjeux climatiques et économiques du secteur immobilier en France. Son adoption à grande échelle dépendra de l'accès facilité aux financements et de la garantie des performances sur le long terme.

FRANCE GÉOÉNERGIE : QUI SOMMES-NOUS ?

Une initiative collective pour promouvoir la Géoénergie, avec et pour ses utilisateurs

Le collectif France Géoénergie, initié à l'Université de la Ville de Demain et hébergé par l'AFPG (Association Française des Professionnels de la Géothermie), a pour vocation de promouvoir la géothermie de surface en facilitant l'acculturation et l'accès auprès des usagers publics et privés.

France Géoénergie **regroupe ainsi les utilisateurs de la Géoénergie, les professionnels de la filière et les acteurs de la ville.** Plusieurs catégories d'utilisateurs sont représentées au sein de France Géoénergie : l'Etat et les collectivités, les promoteurs immobiliers, les foncières d'immobilier tertiaire, les foncières de logements collectifs, les industriels et les particuliers.



Un travail collectif pour décarboner le parc immobilier français

France Géoénergie s'engage à mener cinq chantiers principaux :

- **Le "Tour de France de la Géoénergie"** - pour accompagner les collectivités pilotes volontaires pour déployer la géothermie de surface sur leur territoire.
- **L'émergence de nouveaux modèles financiers et juridiques** - des travaux sont menés par nos membres pour appréhender les différents modes de financement et développer de nouveaux modèles pour rendre la Géoénergie accessible à tous.
- **L'acculturation à la Géoénergie des décideurs publics et privés** - des services et entreprises techniques, des bureaux de contrôle, des écoles et des étudiants pour faciliter l'appropriation de cette énergie durable via des formations.
- **Le "Pacte Géoénergie"** - pour valoriser l'engagement des usagers signataires en faveur de la Géoénergie et de sa promotion
- **"La géothermie de surface dans les programmes neufs sous maîtrise d'ouvrage publique ou privée"** est le nouveau groupe de travail lancé pour répondre aux problèmes de montage financier pour les projets immobiliers.

Quel que soit votre profil, rejoignez France Géoénergie !

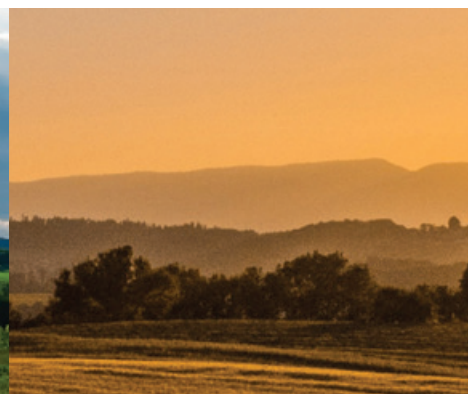
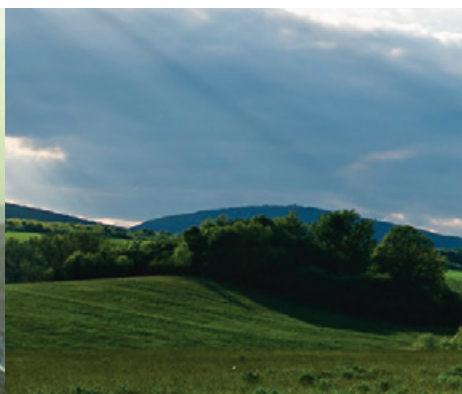
France Géoénergie facilite donc l'accompagnement opérationnel des acteurs qui souhaitent prendre une place de leaders dans le déploiement de cette énergie vertueuse. Vous êtes...

Représentant d'une entité publique (organisme d'Etat, collectivités, bailleurs sociaux...)

Que vous ayez déjà eu recours à la géothermie pour les infrastructures de votre territoire ou que vous découvriez cette énergie, notre collectif vous permettra de partager vos expériences avec vos pairs, de vous acculturer aux méthodes de déploiement, d'appel d'offres et de financement et de nourrir vos réflexions auprès des acteurs privés du monde de l'énergie, de la géothermie et de la construction. Notre "Pacte Géoénergie" vous permettra de valoriser sur votre territoire votre politique de décarbonation.

Un acteur privé du monde de l'immobilier ou de l'énergie

Que vous soyez promoteur immobilier, gestionnaire d'actifs, entreprise de BTP ou entreprise de service à l'immobilier, en particulier de service énergétique... France Géoénergie sera pour vous un accès direct à des ressources humaines et pratiques afin de sensibiliser vos équipes à la géothermie de surface. Ce collectif vous permettra de découvrir et / ou valoriser des retours d'expériences en lien avec cette énergie, renforçant votre rôle en tant qu'acteur de la ville durable. Les outils de communication du Pacte Géoénergie vous permettront de valoriser votre politique de décarbonation dans le cadre de votre RSE.



LE CONTEXTE

Les détenteurs de parcs immobiliers, contraints par des réglementations et des engagements environnementaux de plus en plus contraignants, cherchent un chemin pour réussir et massifier la décarbonation de leur parc. Pour réussir, il leur faut choisir des technologies économiquement soutenables, aptes à atteindre les niveaux de décarbonation nécessaires pour réussir la transition et dont le résultat est garanti dans le temps. La géoénergie, par ses qualités technico-économiques, répond à cette révolution.

L'époque du greenwashing est largement derrière nous, et ceux qui comptent encore dessus vont rapidement déchanter. L'heure est aux solutions efficaces, c'est-à-dire qui décarbonent vraiment et dont l'efficacité dure dans le temps. Il ne s'agit plus de dire « Je suis décarboné car j'ai investi dans une technologie dont on me dit qu'elle va réduire de 10 % mes émissions » ; c'était avant, dans un monde où l'on n'était pas encore vraiment responsable. Un monde d'avant les lois contraignantes comme la loi Climat et Résilience qui interdit progressivement la location des biens immobiliers peu vertueux énergétiquement, un monde d'avant l'obligation de déclaration annuelle de la performance énergétique des bâtiments tertiaires (sur la plateforme OPERAT) qui ouvre la voie à un contrôle effectif de la performance réelle délivrée année après année et surtout un monde d'avant les engagements environnementaux extra financiers (avec notamment la CSRD - Corporate Sustainable Reporting Directive) qui conditionnent de plus en plus, à travers toute l'Europe, la capacité des organisations à se financer dans de bonnes conditions. Un monde d'avant la matérialisation d'un « badwill », cette sous-valorisation qui sanctionne sur le marché la valeur des bâtiments passagers énergétiques, et avant le « goodwill », cette survalorisation des bâtiments vertueux même si celle-ci tarde encore à se matérialiser systématiquement.

Au-delà de la nécessaire efficacité des systèmes et d'une nouvelle frugalité, l'avènement du monde décarboné que nous devons bâtir implique une triple révolution.

- Une révolution technologique bien sûr, avec l'avènement de technologies bas carbone qui remplaceront les énergies fossiles et les matériaux les plus carbonés,
- une révolution du financement avec des plans de financement très différents du monde carboné,
- et une révolution servicielle nécessaire pour garantir l'efficacité des investissements bas carbone dans le temps.

La révolution des technologies bas carbone du bâtiment

Si la construction neuve ne représente qu'une fraction du parc immobilier, c'est surtout l'exploitation des bâtiments existants — responsable à 75 % des émissions via le chauffage et la climatisation — qu'il faut transformer en priorité. Au cœur de cette transition : la frugalité énergétique, l'efficacité technologique et surtout, le passage aux énergies renouvelables. Parmi elles, la géoénergie s'impose comme une solution d'avenir.

Que faut-il décarboner ? La construction, bien sûr, et ça ne sera pas une mince affaire ; elle ne pèse chaque année que moins d'un pourcent du parc immobilier existant.

Pour être au rendez-vous de la décarbonation tel que prévu par les Accords de Paris, et conformément aux alertes formulées par le GIEC sur l'urgence climatique, il est indispensable de s'attaquer dès maintenant aux émissions de CO₂ générées par l'exploitation du parc existant.

D'où viennent ces émissions ? Principalement du chauffage et de la climatisation pour près de 75%. Bien sûr, il s'agit de favoriser la frugalité et l'efficacité qui passent par des changements de comportements (des températures de consigne plus raisonnables tout simplement) mais aussi par des technologies de conduite continue des installations plus précises pour s'adapter en toutes circonstances à la situation du bâtiment dans son environnement. Ces technologies existent et permettent dès à présent de réduire année après année d'une

vingtaine de pourcents la consommation d'énergie et les émissions de CO₂. Mais cela ne suffit pas.

La SNBC - Stratégie Nationale Bas Carbone - décrit la manière dont la France pourrait respecter les objectifs des accords de Paris, donnant au secteur du bâtiment le soin de se décarboner à hauteur de 94% d'ici à 2050 par rapport à leur niveau de 2015. Ainsi, la frugalité et l'efficacité

sont des actions nécessaires mais pas suffisantes, il faut aller plus loin. Il s'agit de quitter les énergies fossiles (gaz, fioul notamment) pour basculer du côté des énergies renouvelables électrogènes et thermiques. En France, l'énergie électrique du réseau étant déjà largement décarbonée grâce à la production nucléaire et hydraulique et à la montée en puissance du photovoltaïque et de l'éolien, c'est au niveau de la production thermique que la bascule vers le bâtiment bas carbone peut se faire. Un temps, la France a misé sur la biomasse pour faire ce chemin mais celle-ci est une ressource qui n'est pas illimitée et pour laquelle il y a une compétition d'usage qui est propice à l'inflation. Son utilisation pour la décarbonation des réseaux de chaleur haute température et pour la décarbonation des besoins thermiques des industries semble plus pertinente que pour le chauffage des bâtiments. C'est aussi une énergie limitée à la production de chaleur (chauffage et eau chaude sanitaire notamment). Or, dans un contexte de réchauffement climatique, les besoins de froid montent en flèche

dès aujourd'hui et pour les besoins futurs à anticiper dans les programmes de rénovation énergétique d'aujourd'hui.

C'est dans ce contexte que les solutions de géoénergie apparaissent maintenant comme le futur de ce monde bas carbone en devenir.

La géoénergie s'appuie sur les calories ou les frigories qui se trouvent dans le sous-sol pour produire le chaud et le froid nécessaires au confort des utilisateurs de bâtiments. Elle est adaptée à presque tous les types de bâtiments. :



les bâtiments tertiaires de bureau qui ont besoin de chaud et de froid,



les bâtiments de logement qu'ils soient en logement individuel ou collectif et qui ont des besoins principalement de chaleur mais pour lesquels il faudra anticiper des besoins de climatisation ou de rafraîchissement croissants,



les bâtiments plus techniques comme les bâtiments de commerce, les entrepôts, les bâtiments de santé ou les écoles et les universités ainsi que les usines pour leurs besoins thermiques hors haute température.

Plusieurs techniques de géoénergie coexistent. Certaines installations puisent leur énergie d'un aquifère souterrain s'il existe sous le bâtiment, d'autres s'appuient sur un champ de sondes géothermiques qui permet de récupérer la chaleur et le froid naturel du sol, rendant ainsi la géoénergie universelle, avec 97% des sols du territoire français éligibles. Enfin, élément majeur pour l'acceptation sociétale de cette technologie, la géoénergie est totalement silencieuse et quasiment invisible...

La géoénergie est surtout très performante car elle permet de diminuer durablement la consommation d'énergie finale jusqu'à 70% et les émissions de CO₂ jusqu'à 95% pour des programmes de rénovation bâtiminaire. C'est considérable et cela correspond aux objectifs complets que l'on retrouve dans les lois contraignantes pour la rénovation énergétique et environnementale du bâtiment.

Ainsi, avec un investissement dans une seule technologie, on adapte le bâtiment au regard des lois sur la baisse de la consommation d'énergie (décret tertiaire et loi climat et résilience) et vis-à-vis de la baisse du carbone (Stratégie Nationale Bas Carbone, loi climat et résilience et CSRD). Qui peut en dire autant ?

Mais la performance technique n'est pas tout. Une technologie, même très vertueuse d'un point de vue environnemental, ne pourra s'imposer que si elle est financière et compétitive.

Pour être au rendez-vous de la décarbonation tel que prévu par les Accords de Paris, et conformément aux alertes formulées par le GIEC sur l'urgence climatique, il est indispensable de s'attaquer dès maintenant aux émissions de CO₂ générées par l'exploitation du parc existant.



La révolution du financement des technologies bas carbone

La transition énergétique ne se fera pas sans une révolution du financement. Si les technologies bas carbone du bâtiment telles que la géoénergie sont plus coûteuses à l'installation, elles s'avèrent très économiques à l'usage. Grâce à des dispositifs incitatifs et à de nouveaux modèles de financement il devient possible de massifier la rénovation sans mobiliser de lourds capitaux propres.

La transition n'aura pas lieu si nous ne sommes pas capables de la financer. Comment financer les technologies bas carbone du bâtiment en rénovation ?

Ce qui caractérise les technologies bas carbone, c'est qu'elles coûtent plus cher à installer que les technologies carbonées. Par exemple, les coûts d'investissement d'une solution de géoénergie sont deux à trois fois plus élevés que ceux d'une chaudière à gaz. À l'inverse, les coûts de fonctionnement sont beaucoup moins élevés, permettant ainsi un plan de financement pouvant aller jusqu'à l'auto-financement à moyen terme.

À productions de chaleur et de froid équivalentes, les solutions de géoénergie se révèlent en moyenne 70% plus efficaces que les solutions utilisant des énergies fossiles et 40 à 50 % moins onéreuses en coût de fonctionnement que des solutions utilisant des énergies fossiles.

À cette performance intrinsèque, notons que ces technologies sont bien soutenues par l'État

A productions de chaleur et de froid équivalentes, les solutions de géoénergie se révèlent en moyenne 70% plus efficaces que les solutions utilisant des énergies fossiles et 40 à 50 % moins onéreuses en coût de fonctionnement que des solutions utilisant des énergies fossiles.

Français, qui y voit une source d'effacement des émissions de carbone suffisamment abondante pour réussir la décarbonation complète du parc immobilier français à un coût compétitif.

Une maîtrise d'ouvrage peut viser 30 à 35 % de subvention sur le coût d'une solution géoénergie avec un retour sur investissement autour de 12 à 15 ans.

Pour massifier la décarbonation d'un parc, les maîtrises d'ouvrages peuvent confier la totalité de la construction et du financement des chaufferies et climatisations bas carbone à base de géoénergie à des spécialistes du sujet qui financent tout ou partie de la solution à leur place en se rémunérant dans le cadre de contrat à long terme (15 à 30 ans). Ainsi ces opérateurs énergéticiens revendent une énergie thermique décarbonée dans le cadre de contrats de performance énergétiques et environnementaux ou de vente d'énergie.

Ces contrats financés permettent de traiter plus rapidement la totalité d'un parc sans dépendre de ses propres capacités de financement. Ils permettent aussi de réduire les risques majeurs tels que :

- L'inflation liée aux énergies fossiles (+600% au moment du début de la guerre en Ukraine, généralisation de l'utilisation d'un GNL structurellement plus cher, etc.),
- La montée en puissance des taxes carbone (le trilogue européen a voté la création d'un marché du carbone sur le principe du pollueur/payeur pour l'immobilier européen [ETS2] calqué sur le marché du carbone des industriels [ETS1] qui sera effectif au début de 2027, c'est-à-dire demain au rythme des investissements de la rénovation immobilière),
- La perte de valeur d'un parc carboné et non efficient énergétiquement comme le prouve dès à présent, année après année, l'étude des Notaires de France sur la valeur de l'immobilier,
- La perte de capacité à financer une activité carbonée (corrélative aux déclarations CSRD - Corporate Sustainability Reporting Directive, obligatoire dès 2025 en complément des comptes annuels des entreprises et directement imbriquée dans la SFDR - Sustainable Finance Disclosure Regulation encadrant la finance durable en Europe).

L'État français, qui a bien compris que sa capacité d'autofinancement de la rénovation énergétique et environnementale de son propre parc (100 millions de m² pour l'État et 300 millions pour la territoriale) est particulièrement limitée, a fait voter une loi d'expérimentation instituant le « Marché Global de Performance Énergétique avec Paiement Différé » le 28 mars 2023 pour débloquer le rythme de rénovation de celui-ci. Cette révolution des conditions de financement de la commande publique, couplée à l'utilisation de la géoénergie, permet de financer par les économies d'énergie les investissements ainsi que le coût de son financement.

Ce monde bas carbone nécessite des investissements importants dans des systèmes énergétiques autonomes qui permettent d'auto produire, pour directement autoconsommer son énergie décarbonée.

Pour être compatible avec les nouveaux standards juridiques d'ESG (Environnement, Social et Gouvernance) et de la finance, les acteurs de l'immobilier ont le choix de financer la totalité de leurs nouveaux investissements ou de faire appel à des acteurs spécialisés dans la construction et le financement de ces installations.

Dans tous les cas, les investissements étant plus importants en amont et les économies finançant ces investissements étant dépendantes de la performance des installations dans le temps, ce monde bas carbone s'accompagne nécessairement de services permettant de garantir la performance des installations afin de dé-risquer les investisseurs, quels qu'ils soient, et de garantir la décarbonation attendue

La révolution de la performance garantie

La transition énergétique du bâtiment exige désormais des résultats mesurés, certifiés et durables. Pour répondre à cette exigence, de nouvelles offres clés en main émergent, intégrant des garanties de performance énergétique et environnementale sur le long terme. Une révolution discrète mais décisive pour réussir la décarbonation du secteur.

Avant, une promesse marketing suffisait. « La technologie de GTB - Gestion Technique du Bâtiment - va vous faire économiser X%... » Aujourd'hui, avec des reportings basés sur des consommations réelles et validés par des certificateurs - en France, les commissaires aux comptes, des bureaux de contrôle comme Bureau Veritas, des plateformes numériques d'État comme OPERAT - il va falloir prouver que la décarbonation promise est au rendez-vous. Bâtiment après bâtiment, année après année, il va falloir décarboner sans perte de performance dans le temps. Les rénovations effectuées les premières années devront toujours délivrer leur performance énergétique et carbone vingt ou trente ans après. C'est la condition sine qua non pour que l'on réussisse cette transition vers un bâtiment durable et vertueux d'un point de vue environnemental sans que cela soit ruineux pour la société dans son ensemble.

C'est nécessaire, mais un peu lourd pour les maîtrises d'ouvrage qui ne disposent pas de tous les spécialistes pour être en capacité de garantir

ces performances. Ainsi, avec l'avènement de ce monde bas carbone, vont se développer des offres complètes, packagées, de solutions clés en main qui seront accompagnées de garanties de performances énergétiques et environnementales. Au fond, les maîtrises d'ouvrage n'achètent plus un

matériel qui est susceptible de s'user ou de se dérégler mais plutôt un service qui leur garantit une énergie thermique finale produite avec une grande efficacité. Ce qui est important dans l'acte d'achat de l'énergie décarbonée, ce n'est plus le matériel mais l'assurance que la performance promise est au rendez-vous, de la première à la dernière année de vie du matériel. Derrière la garantie du rendement thermodynamique des installations, il y a la garantie de

la consommation d'énergie finale et de l'émission de CO₂ pour un besoin donné. Ces garanties conditionnent le respect des plans de financement et les plans de décarbonation. La garantie de performance énergétique et environnementale est le nerf de la guerre de la transition. Elle est la condition de sa montée en puissance et donc de sa réussite.

Ce qui est important dans l'acte d'achat de l'énergie décarbonée, ce n'est plus le matériel mais l'assurance que la performance promise est au rendez-vous, de la première à la dernière année de vie du matériel.



LES DIFFÉRENTS TYPES DE GÉOÉNERGIE ET LEURS ATOUTS

Les différents types de géoénergie

Les systèmes géothermiques à la maille du bâtiment - La géothermie de basse enthalpie

La géoénergie qui entre généralement dans le cadre réglementaire de la Géothermie de Minime Importance (GMI), correspond à une géothermie de faible enthalpie (c'est à dire un système thermodynamique fonctionnant à faible température), de faible profondeur et dont les calories extraites du sol sont rehaussées par l'utilisation de pompes à chaleur. Elle est mise en avant par les pouvoirs publics dans de multiples rapports comme étant une énergie d'avenir pour soutenir la décarbonation du parc immobilier français. Du fait de son caractère universel, de sa

disponibilité abondante sur tout le territoire pour répondre aux besoins de froid et de chaud des bâtiments et d'un besoin relativement faible de soutien public, elle pourra représenter 100 TWh de production à horizon 20402 soit un tiers des besoins thermiques des bâtiments tertiaires et des logements collectifs.

La géoénergie peut être utilisée comme source de chaleur et de froid décarbonée aussi bien pour les bâtiments neufs que pour les bâtiments existants à rénover.

Les champs de sondes géothermiques

Un champ de sondes géothermiques est une installation composée de plusieurs forages verticaux ou horizontaux dans le sol, utilisés pour exploiter l'énergie thermique terrestre. Ces sondes, qui sont généralement constituées de tubes en polyéthylène, sont insérées dans des puits creusés à des profondeurs variant généralement entre 50 et 200 mètres et d'un diamètre d'une quinzaine de centimètre. Un fluide caloporteur (souvent un mélange d'eau et d'antigel comme le glycol alimentaire) circule dans les tubes, absorbant la

chaleur du sol ou y rejetant de la chaleur, selon la saison. En hiver, la chaleur extraite est transférée via une pompe à chaleur à un système de chauffage pour chauffer des bâtiments, tandis qu'en été, l'excès de chaleur peut être évacué dans le sol pour refroidir les bâtiments. Cette technologie permet d'exploiter une source d'énergie renouvelable et durable, contribuant ainsi à la réduction des émissions de gaz à effet de serre et à l'efficacité énergétique des bâtiments.

La géoénergie sur aquifère

La géothermie sur aquifère de basse enthalpie est une méthode d'exploitation de l'énergie thermique présente dans les nappes phréatiques à faible profondeur (moins de 100 m de profondeur) et à des températures modérées, généralement inférieures à 15 °C. Cette technique repose sur le pompage de l'eau souterraine à travers des forages pour en extraire la chaleur, qui est ensuite utilisée par une pompe à chaleur pour assurer le chauffage et le rafraîchissement de bâtiments et la production d'eau

chaude sanitaire. Après avoir transféré sa chaleur, l'eau est réinjectée dans l'aquifère, ce qui rend le système durable et respectueux de l'environnement (pas de prélèvement net d'eau souterraine). La géothermie de basse enthalpie est particulièrement indiquée dans les régions où les nappes d'eau sont abondantes et facilement accessibles, offrant une source d'énergie renouvelable, stable et réduisant la dépendance aux combustibles fossiles.

La géoénergie en thalassothermie

La thalassothermie est une méthode de production de chaleur renouvelable qui utilise l'énergie thermique des eaux de mer ou de rivière. En exploitant la température relativement stable des océans ou des rivières, ce système permet de chauffer ou de refroidir des bâtiments de manière durable et écologique. Des pompes à chaleur sont utilisées pour extraire la chaleur de l'eau de mer et la transférer aux systèmes de chauffage ou de climatisation. La thalassothermie est particulièrement efficace dans les zones côtières, où l'accès à l'eau de mer est facile, et contribue à la réduction des émissions de gaz à effet de serre en offrant une alternative aux énergies fossiles.



Le géostockage

Le géostockage est une technique de stockage souterrain de l'énergie thermique, utilisant la capacité du sol ou des aquifères pour stocker et restituer de la chaleur ou du froid selon les besoins saisonniers. Ce système consiste à injecter de l'énergie thermique dans le sol ou dans des nappes phréatiques pendant les périodes de faible demande, pour la récupérer ensuite durant les périodes de forte demande. Par exemple, en été, l'excès de chaleur des bâtiments ou tout simplement la chaleur de l'air de l'été peut être stocké dans le sol et récupéré en hiver pour le chauffage, ou inversement pour le froid. Le géostockage utilise les installations traditionnelles de la géothermie (champs de sondes ou doublet de forage géothermique) pour injecter ou extraire l'énergie stockée dans le sol ou dans des aquifères, assurant ainsi une gestion efficace

du stockage/déstockage de l'énergie thermique d'une saison à l'autre. Cette méthode contribue à l'amélioration de l'efficacité énergétique, à la réduction des coûts énergétiques et à la diminution des émissions de gaz à effet de serre, en intégrant les ressources renouvelables de manière intelligente et durable. Elle est particulièrement adaptée pour garantir les rendements d'une installation sur un temps long grâce à sa capacité d'adapter la quantité de chaleur et de froid stockée pour suivre les besoins thermiques évolutifs des bâtiments tout en garantissant les rendements thermodynamiques de l'installation. Le géostockage nécessite l'utilisation d'une régulation prédictive performante pour stocker et déstocker les bonnes quantités d'énergie afin de pérenniser la performance.

Les smartgrids thermiques de dernière génération grâce aux boucles d'eau tempérée

Les BETEG, ou Boucles d'Eau Tempérée à Énergie Géothermique, représentent une innovation majeure dans le domaine des réseaux de chaleur et de froid urbains. Ces systèmes utilisent la géothermie de basse enthalpie (c'est-à-dire des systèmes thermodynamiques à basse température) pour créer des boucles d'eau tempérée, fournissant une source stable et renouvelable de chauffage et de refroidissement pour les bâtiments connectés.

En puisant de l'eau souterraine à des températures modérées, ces boucles permettent de réguler efficacement la température des bâtiments tout au long de l'année, avec une consommation énergétique réduite. Les BETEG sont conçues pour être intégrées dans des environnements urbains, offrant une alternative écologique et économique aux systèmes traditionnels de chauffage et de climatisation. Grâce à leur capacité à stocker et

redistribuer l'énergie thermique, elles jouent un rôle crucial dans la transition vers des villes plus durables et résilientes, réduisant les émissions de gaz à effet de serre et la dépendance aux combustibles fossiles. En intégrant des technologies avancées de gestion énergétique, les BETEG optimisent l'utilisation des ressources géothermiques, améliorant ainsi l'efficacité énergétique globale des infrastructures urbaines. Les smart grids thermiques de dernière génération à base de géothermie de basse enthalpie représentent une avancée technologique dans la gestion intelligente et durable de l'énergie thermique. Ces réseaux thermiques intelligents intègrent des systèmes géothermiques pour exploiter la chaleur stable et renouvelable du sous-sol à faible profondeur. Ils utilisent des technologies avancées de surveillance et de contrôle pour optimiser la distribution de la chaleur et du froid, ajustant en temps réel la production et la consommation d'énergie en fonction des besoins des utilisateurs et des conditions environnementales.

En intégrant des technologies avancées de gestion énergétique, les BETEG optimisent l'utilisation des ressources géothermiques, améliorant ainsi l'efficacité énergétique globale des infrastructures urbaines.

Ces smart grids thermiques sont souvent équipés de capteurs, de compteurs intelligents et de systèmes de gestion de l'énergie basés sur l'Internet des objets (IoT) et des algorithmes d'intelligence artificielle (IA). Cela permet une régulation fine et une répartition efficace de l'énergie thermique, minimisant les pertes et maximisant l'efficacité. En outre, ces réseaux peuvent intégrer d'autres sources d'énergie renouvelable, comme le solaire ou la biomasse, et peuvent être utilisés comme unités de récupération des énergies fatales provenant d'activités industrielles locales ou des eaux grises créant ainsi des systèmes hybrides encore plus résilients et écologiques.

Les utilisateurs finaux bénéficient d'une énergie plus stable, d'une réduction des coûts énergétiques et d'une empreinte carbone diminuée. De plus, ces systèmes favorisent la flexibilité et la résilience du réseau énergétique, contribuant ainsi à la transition vers des villes plus intelligentes et durables.



La géoénergie un atout pour le futur de l'immobilier décarboné

L'atout d'une production multi-énergies

Les installations de géoénergie permettent de générer à la fois du chaud et du froid à partir d'une seule infrastructure et d'un seul investissement. Cela représente un atout pour l'efficacité énergétique et la rentabilité des systèmes de climatisation et de chauffage. En intégrant des technologies telles que les pompes à chaleur réversibles eau/eau ou avec les Thermo-frigo-pompe, les systèmes géothermiques peuvent successivement ou simultanément fournir du chauffage en hiver et de la climatisation en été, maximisant ainsi l'utilisation des infrastructures. Dans des configurations plus simples sans fonctionnalité de climatisation, on

peut simplement faire du « geo-cooling » qui est un simple rafraîchissement des bâtiments (baisse de la température ambiante de quelques degrés) en générant une consommation d'énergie électrique extrêmement réduite.

Cette double fonctionnalité réduit les coûts d'installation et d'exploitation, tout en diminuant l'empreinte carbone. Les économies d'énergie réalisées et la flexibilité accrue dans la gestion thermique rendent cette approche particulièrement attractive pour les bâtiments résidentiels, commerciaux et industriels, contribuant à une transition énergétique plus durable et économique.

L'atout de l'universalité

La géoénergie est une source quasi universelle d'énergie thermique décarbonée avec en France près de 97 % des sols éligibles à son utilisation. Pour les bâtiments neufs, le champ de sondes peut être installé sous les bâtiments. En rénovation, il faut disposer d'environ 10 à 15 % de la surface à chauffer ou climatiser à proximité du bâtiment. Une fois installée, cette technologie ne nécessite pas de

maintenance et peut être recouverte de manière permanente par des infrastructures telles qu'une route, un parking, un jardin ou une allée, voire par le bâtiment lui-même en cas de construction neuve. Cela rend la géoénergie particulièrement pratique et discrète, tout en offrant une solution durable et efficace pour les besoins énergétiques.

L'atout de l'abondance et de la durabilité

La géothermie sur sondes est une ressource abondante et durable, car les calories de chaleur extraites en hiver sont naturellement régénérées grâce aux caractéristiques physiques du sol durant l'intersaison. Ce cycle naturel assure une exploitation continue et équilibrée de la chaleur terrestre, permettant de maintenir l'efficacité et la durabilité du système géothermique.

C'est la combinaison de l'universalité sur l'ensemble du territoire, de l'abondance de la ressource et de la durabilité de celle-ci qui rend le potentiel de la géoénergie beaucoup plus important que d'autres ressources renouvelables pour la décarbonation des bâtiments. Plusieurs études scientifiques et techniques envisagent que la production de géoénergie représentera 100 TWh en France à horizon 2040 soit un tiers des besoins de chauffage du tertiaire et des logements collectifs.

L'atout de la performance énergétique

La géoénergie se distingue par ses rendements thermodynamiques incomparables par rapport à toutes les autres sources connues de production de chaleur renouvelable. Grâce à la stabilité et la constance de la température du sol tout au long de l'année, les systèmes géothermiques peuvent atteindre des coefficients de performance réel sur toute une saison (SCOP - Seasonal Coefficient of

Performance) très élevés, souvent compris entre 3 (par exemple pour la production de chaleur et d'eau chaude sanitaire pour des logements collectifs) et 5 (par exemple pour le chauffage et la climatisation d'un bâtiment tertiaire), voire plus. Cela signifie qu'ils peuvent produire trois à cinq fois plus d'énergie thermique qu'ils ne consomment d'électricité pour faire fonctionner les pompes à chaleur.

L'atout de la performance carbone

La géoénergie permet de produire une chaleur renouvelable fortement décarbonée grâce à ses rendements thermodynamiques très élevés. Elle est particulièrement efficace en France, où le réseau électrique est très peu carboné avec seulement 64/82 g CO₂/kWh électrique consommé.

Par rapport à une chaufferie à gaz, elle divise par presque 10 les émissions de CO₂ en baissant de près de 95% ces émissions. Elle répond ainsi à la totalité du chemin de décarbonation demandé aux bâtiments dans le cadre de la stratégie National Bas Carbone.

2 Rapport sur la géothermie de surface du Haut-commissariat au Plan
<https://www.info.gouv.fr/actualite/responsabilite-climatique-la-geothermie-de-surface-une-arme-puissante>

3 Rapport sur le stockage intersaisonnier de l'académie des technologies
<https://www.academie-technologies.fr/publications/le-stockage-intersaisonnier-de-chaleur-un-atout-pour-le-climat-et-la-souverainete/>

Qu'en est-il de l'analyse du cycle de vie d'une installation de géoénergie ?

Le bilan carbone des installations de géoénergie est excellent, d'autant plus quand il vient en remplacement d'un système à source fossile. Les éléments clés de la décarbonation de la fonction thermique du bâtiment par la géoénergie sont :

- Le remplacement des systèmes actuels (typiquement chaudière gaz avec un rendement proche de 0,88) par un système de production très efficace (SCOP des PAC géothermiques) ;
- Le changement de source primaire en quittant le gaz (230 g CO₂ / kWh) à l'électricité (80 g CO₂ / kWh) ;
- La mutualisation des moyens de production pour les bâtiments ayant des besoins de chauffage et de climatisation : le même équipement répond aux deux besoins thermiques.

L'investissement carbone des forages géothermiques est rentabilisé d'un point de vue carbone en 6 à 18 mois (temps de retour carbone).

En combinant ces éléments, le gain carbone peut atteindre 90-95 % sur la production thermique. L'investissement carbone des forages géothermiques est rentabilisé d'un point de vue carbone en 6 à 18 mois (temps de retour carbone).

L'atout de la durée de vie des installations

La durée de vie des systèmes des installations de géoénergie peut atteindre 50 à 100 ans. Sur les deux composants constitutifs des systèmes de géoénergie on utilise des matériels avec des durées de vie remarquables tout à fait incomparables avec les autres technologies du marché.



Au niveau des installations en sous-sol

Les installations en sous-sol ont une durée de vie incroyablement longue comparable à la durée de vie des bâtiments. En effet un champ de sondes géothermiques a une durée de vie d'une centaine d'années et un forage sur aquifère peut durer une trentaine d'années s'il est régulièrement entretenu devenant le cœur de la valeur verte d'un bâtiment.

Au niveau de la chaufferie

L'utilisation de pompes à chaleur eau/eau sont des matériels qui sont structurellement moins fragiles que les pompes à chaleur air/eau (dont les pièces mécaniques rotatives des aérothermes ont des durées de vie courtes). Ainsi plusieurs études comparatives présentent des durées de vie pour les Pompes à Chaleur (PAC) géothermiques allant jusqu'à 27 ans de durée de vie là où les PAC aérothermiques ont des horizons beaucoup plus réduits (autour de 18 ans).

De plus, plus la chaufferie est dimensionnée pour répondre à des besoins importants (pour des logements collectifs par exemple) plus le matériel s'avère résistant dans le temps et plus les coûts de maintenance sont relativement moins onéreux.

L'atout de la réduction des externalités négatives

La géoénergie à l'atout de ne générer que très peu d'externalités négatives :

- Elle évite les nuisances sonores sont inexistantes dans le cadre d'une production de géoénergie,
- Elle produit du froid sans rejeter dans l'air de la chaleur ce qui évite de contribuer à la création d'îlots de chaleur,
- Elle ne génère aucune émission de particules fines,
- Elle n'engendre pas de perte de biodiversité,
- Elle ne nécessite aucun transport d'énergie ni de terre rare,

On peut noter que la géoénergie utilise des pompes à chaleur qui peuvent, avec le temps, perdre le gaz émetteur de CO₂ de leurs compresseurs. Ce phénomène est cependant peu impactant au regard des gains carbone constatés par rapport aux solutions carbonées existantes (CF paragraphe sur l'analyse du cycle de vie de la géoénergie). De plus, les fluides frigorigènes utilisés dans les compresseurs des pompes à chaleur sont progressivement remplacés par des fluides à faible impact pour l'atmosphère et pour l'effet de serre avec un PRG - Pouvoir de Réchauffement Global de plus en plus bas.

SE LANCER DANS UN PROJET DE GÉOÉNERGIE EN PRATIQUE

Organiser la mise en place de votre centrale de géoénergie

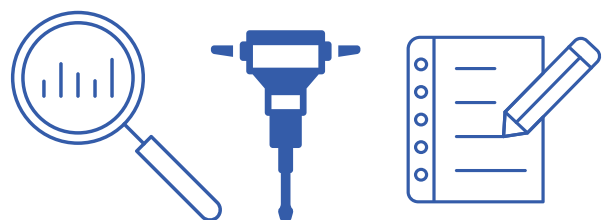
Les maîtrises d'ouvrage peuvent faire le choix de piloter l'ensemble du projet de géoénergie ou bien faire appel à des sociétés qui livrent des projets clés-en-main avec ou sans garantie d'exploitation. Ils peuvent enfin choisir de ne pas investir dans une installation de géothermie mais acheter une prestation globale qui se traduira par l'achat de chaleur/fraîcheur issue d'une installation de géothermie à un opérateur privé.

La gestion des prestataires via une sous-traitance allotie

Les maîtrises d'ouvrage accompagnées ou non d'un Assistant à maîtrise d'ouvrage peuvent faire travailler les différentes professions nécessaires pour mettre en place une production de géoénergie. Il est dans ce cas nécessaire de faire appel à différents professionnels qui peuvent être regroupés par lots :

Lots de Construction

- Un bureau d'études spécialisé en géothermie et en hydrogéologie qui va analyser pour vous les potentialités de votre terrain pour y installer une production de géoénergie et va dimensionner votre système par rapport aux besoins en énergie de votre (vos) bâtiment(s). Pour faciliter l'obtention de subventions et faciliter la contractualisation de vos assurances, il conviendra de veiller à ce que ce prestataire soit accrédité RGE 2013 et 10.07,
- Une société d'installation de la chaufferie thermodynamique. Pour faciliter l'obtention de subventions et la contractualisation de vos assurances, il conviendra de veiller à ce que ce prestataire soit accrédité QualiPAC/RGE
- Une maîtrise d'œuvre ayant la responsabilité de suivre le déroulement du projet.
- Un foreur spécialisé en géothermie pour réaliser les champs de sondes ou les doublets géothermiques pour profiter des aquifères disponibles. Pour faciliter l'obtention de subventions et la contractualisation de vos assurances, Il conviendra de veiller à ce que ce prestataire détienne une certification justifiant ses qualifications dans le forage géothermique (Certiforage)



Lots d'exploitation maintenance

- Une société de services énergétiques capable d'exploiter, de maintenir votre installation et en garantir les performances attendues.

Autres accompagnements

- Une société spécialisée dans le montage des dossiers de subvention
- Une société d'assurance pour couvrir les risques portés par la maîtrise d'ouvrage et éventuellement les risques d'exploitation
- Un tiers financeur si nécessaire

En marché public ce type de sous-traitance est réglementé par le code de la commande publique. Le tiers financeur pourra être un établissement bancaire ou financier ou l'opérateur de services énergétiques si le projet se monte sous une forme globale d'achat de chaleur/froid



La solution clé en main ou l'EPC – « Engineering Procurement and Construction »

L'acronyme EPC désigne "Engineering, Procurement, and Construction", que l'on peut traduire en français par "Ingénierie, Approvisionnement et Construction". Certains professionnels regroupent ces prestations sous le vocable « Conception-Réalisation ». Dans ce type de prestation, le Maître d'Ouvrage (MOA) se limite à exprimer ses besoins énergétiques et performanciers (volume d'énergie, équilibre froid/chaud, niveau de décarbonation visé, conditions d'achats, etc..) à charge au contractant de définir une réponse technique adaptée pour respecter les besoins du client. Le contractant est ensuite chargé de toutes les étapes, depuis la conception jusqu'à la mise en service, pour livrer un projet entièrement fonctionnel au client.

La particularité d'un contrat EPC réside dans le fait que le contractant gère l'intégralité du projet, y compris l'installation des équipements nécessaires, tout en en assumant l'entière responsabilité. Le MOA, dans le cadre d'un contrat EPC, fournit les spécifications techniques et fonctionnelles attendues (il peut utilement pour cela se faire accompagner par un assistant à maîtrise d'ouvrage), permettant ainsi au contractant de construire et de livrer le projet dans les délais convenus. C'est pourquoi les contrats EPC sont souvent appelés des "projets clé-en-main".

Le contrat EPC implique que l'EPCiste s'engage à offrir une gamme de services, incluant :

- La planification et la conception du projet,
- La gestion du projet et la supervision du bon déroulement des travaux tout en représentant le Maître d'Ouvrage (MOA) à chaque étape du processus (comme les appels d'offres et la répartition des travaux en différents lots),
- La supervision de l'approvisionnement des matériaux nécessaires au chantier,
- La gestion de la documentation essentielle pour le bon déroulement des travaux,
- L'aide apportée au MOA lors de la réception des diverses composantes de l'ouvrage, garantissant ainsi un projet complet.

En plus de coordonner ces différents aspects, EPCiste veille également à ce que l'ensemble du projet se déroule conformément aux besoins spécifiques du chantier, garantissant ainsi une exécution fluide et sans encombre.

En d'autres termes, un contrat EPC confie la responsabilité de la réussite d'un projet à une seule entité, simplifiant ainsi le processus et réduisant les coûts globaux malgré le coût additionnel couvrant les coûts propres à l'EPCiste. Bien que cela puisse varier d'un contrat à l'autre, il permet de forfaitiser le coût du projet en faisant porter au contractant les risques d'aléas et de la gestion des interfaces du chantier.

Les contrats de vente de chaleur et de froid

Le contrat d'énergie à la consommation (aussi appelé Le contrat "EaaS" (Energy as a Service) est un modèle dans lequel un client (cela peut être une entité publique ou privée, une copropriété, une association etc.) externalise la gestion de ses besoins énergétiques à un prestataire. **Ce fournisseur prend en charge l'ensemble des aspects liés à l'énergie pour que son client puisse se concentrer sur son activité principale. Il gèrera ainsi :**

- la conception et la construction de la centrale de géoénergie ainsi que la gestion de toutes les autorisations administratives,
- L'exploitation et la maintenance de la centrale sur la durée du contrat,
- Le financement du projet et de son exploitation, en incluant la récupération de toutes les aides disponibles et en mobilisant des investissements privés pour couvrir le reste à charge, sa refacturation au client sous forme de vente de chaleur et/ou de froid à travers un contrat long terme (en 10 et 30 ans).

Un contrat de ce type permet d'accéder à des technologies décarbonées sans nécessiter de lourds investissements initiaux. De plus les clients ne payent que ce qu'ils consomment dans une plage de consommation définie contractuellement. Enfin

dans ce type de contrats, le prestataire a un intérêt direct à assurer une grande qualité de réalisation lors de la construction de la centrale et d'en assurer une excellente exploitation car cela conditionne l'équilibre de son plan de financement.

Outre l'intérêt pour les maîtrises d'ouvrage de se départir des risques techniques et financiers de ce type de projet, ce type de contrats permettent aussi de garantir le maintien du niveau de décarbonation attendu sur une longue période (10, 20, 30 ans) dans le cadre des plans de décarbonation de RSE et de CSRD.

En France, ce type de contrat de vente de chaleur ou de froid décompose la facturation en deux composants distincts pour une meilleure traçabilité des coûts pour les clients :

- Une composante facture la consommation d'énergie (souvent nommé R1 comme dans la facturation des réseaux de chaleur ou P1) ;
- Une composante porte le financement de la centrale de géoénergie (souvent nommé R24 comme dans la facturation des réseaux de chaleur ou P4).

Au regard du code des impôts, cette structuration n'est pas strictement obligatoire (en dehors des réseaux de chaleur classés) mais elle doit être connu du client.

Les services d'exploitation et de maintenance

Comme toute installation de solution de production de chauffage, refroidissement, ECS, les installations de géoénergie doivent s'accompagner de contrat d'exploitation et de maintenance. Il y a un grand intérêt à les compléter par un contrat de performance énergétique et environnementale qui vous garantit la performance de la centrale de géoénergie dans le temps. On parle alors d'un

CPE ENR-R à ne pas confondre avec un CPE dans le cadre d'une rénovation bâtiminaire qui garantit la baisse des besoins de consommation énergétique d'un bâtiment. Dans le cas spécifique des contrats EaaS vous n'avez pas à gérer des contrats complémentaires d'exploitation et de maintenance ainsi que de garantie de performance car ils font nativement partie de l'offre EaaS.

Le contrat de performance énergétique ENR/R

Le Contrat de Performance Énergétique (CPE) est un dispositif contractuel visant à améliorer l'efficacité énergétique d'un bâtiment ou d'un ensemble de bâtiments, tels que les copropriétés, l'immobilier tertiaire ou les bâtiments industriels. Le CPE a été créé à la suite d'une directive européenne et transposé en droit français pour favoriser l'amélioration de la performance énergétique des bâtiments.

Le CPE est signé entre une maîtrise d'ouvrage et un opérateur spécialisé dans les services énergétiques. Il fixe des objectifs de performance énergétique à atteindre, comme la réduction de la consommation d'énergie et des émissions de CO₂ sous peine de pénaliser l'opérateur en cas de non atteinte

des résultats. Les performances énergétiques sont définies contractuellement, ainsi que les investissements nécessaires pour les atteindre.

Par extension se sont développés des Contrats de Performance Énergétique accompagnant les centrales de production d'ENR/R que ce soient des générateurs électrogènes comme les champs photovoltaïque ou éolien ou les centrales thermiques de géoénergie. Dans ce cas, les CPE garantissent souvent le rendement thermodynamique du système dans le temps sur lequel repose l'équilibre économique des projets ainsi que les objectifs de décarbonation attendus.

Comment s'assurer de garantir la performance dans le temps ?

Tous les contrats de performance énergétique et environnementaux ne se valent pas. Ainsi, il faut s'intéresser à la fois à la performance intrinsèque garantie (par exemple dans le cadre d'un CPE accompagnant une centrale de géoénergie, on pourra viser -70% en énergie finale et -90-95% d'émission de CO2 dans un programme de rénovation.

Ces objectifs dépendent de la nature du bâtiment et de la qualité du système énergétique historique (à remplacer) mais il faut aussi vérifier pour combien de temps cette garantie s'applique et quels sont les mécanismes d'indemnisation en cas de sous-performance.

Le temps est important. Il doit être le plus long possible pour couvrir au minimum le temps de retour sur investissement de l'installation et se prolonger idéalement sur la durée de vie du matériel pour garantir le plan de décarbonation.

Cependant, certaines maîtrises d'ouvrage préféreront choisir de fractionner les CPE pour pouvoir changer de prestataire en relançant des appels d'offre pour remettre les prestataires en compétition, mais il faudra à chaque renouvellement bien s'assurer de conserver à minima les engagements précédents.

L'assiette financière sur laquelle reposent les pénalités est également importante. En effet, si une maîtrise d'ouvrage choisit de financer son infrastructure de production bas carbone, elle diminue sa capacité à faire porter le risque de la performance sur son prestataire exploitant. Si le prestataire chargé de l'exploitation d'une chaufferie n'a pas financé cette chaufferie, il limitera sa garantie à une portion du coût de sa prestation d'exploitation et de maintenance qui représente une partie du coût complet de l'installation et de son exploitation sur sa durée de vie. À l'inverse, si la maîtrise d'ouvrage confie le financement de tout ou partie de l'infrastructure bas carbone à l'exploitant, il pourra augmenter sa garantie, et couvrir à 100% les risques de performance de l'installation. Il convient de mesurer que le budget de fonctionnement (P1) sur une longue période (20 ou 30 ans) représente bien souvent une charge bien plus importante que le budget d'investissement de départ (P4).

La couverture du risque plaide alors pour une solution financée qui permet de faire porter le maximum de responsabilité de la performance sur le prestataire spécialisé.

Un CPEE (Contrat de Performance Énergétique et Environnementale) couvrant la performance d'une unité de production de géoénergie pourra garantir le rendement thermodynamique du système par rapport à une demande donnée en acceptant un certain écart en termes de quantité demandée. Un système de malus protège le commanditaire d'un surcoût de consommation énergétique dû à une sous performance du système égale au surcoût de consommation énergétique engendré par cette sous performance. Le mécanisme de malus est souvent accompagné d'un système de bonus en cas de surperformance.

Pour rappel, voici les charges relatives à la mise en place et à l'exploitation d'une chaufferie et d'un système de climatisation :

P1 : Budget d'énergie finale consommée

P2 : Budget d'exploitation et de maintenance

P3 : Budget de remplacement du matériel

P4 : Budget de financement de l'investissement initial de l'installation

Pourquoi craindre un dérapage de la performance dans le temps ?



Plusieurs causes peuvent engendrer une sous-performance des systèmes de production d'énergie renouvelable thermique.

L'usure des systèmes – Le renouvellement du matériel

L'exploitation - maintenance des systèmes

Un système non entretenu et non exploité voit sa performance inéluctablement dériver dans le temps. Il faut donc prévoir dans le coût de l'exploitation du système, un budget (P2 et P3) qui couvre l'activité du prestataire énergétique qui s'engage à piloter le système pour le régler en fonction des conditions changeantes de son exploitation et pour en assurer la maintenance périodique afin d'en tirer le meilleur et être en capacité d'en garantir la performance dans le temps.

Il s'agit de financer le changement des pièces qui subissent une usure naturelle et inévitable. Pour éviter que la performance baisse avec le temps, le prestataire doit budgéter un coût de maintenance (P3) pour changer les pièces défectueuses et faire de la maintenance prédictive pour maintenir l'installation à sa performance nominale, c'est-à-dire à celle annoncée lors de la vente du système ou contractualisé dans le cadre d'un CPE. Ce P3 aussi appelé Gros entretien Renouvellement correspond au remplacement des pièces d'usure et pièces détachées ainsi qu'au budget pour anticiper le renouvellement des équipements nécessaires pendant la durée du contrat.

L'adaptation des systèmes aux conditions changeantes d'exploitation

Pour être en capacité de garantir les rendements thermodynamiques des systèmes comme ceux de géoénergie sur une longue période, il faut être en capacité de s'adapter aux conditions changeantes d'exploitation d'un bâtiment. En effet la demande en énergie peut varier fortement notamment dans l'équilibre entre la demande en chaud et en froid en fonction de plusieurs paramètres.

- Le changement climatique qui peut notamment augmenter les besoins de froid,
- Avec le vieillissement des matériaux d'isolation, ils peuvent perdre une part notable de leur performance et augmentent corrélativement les besoins thermiques du bâtiment,³

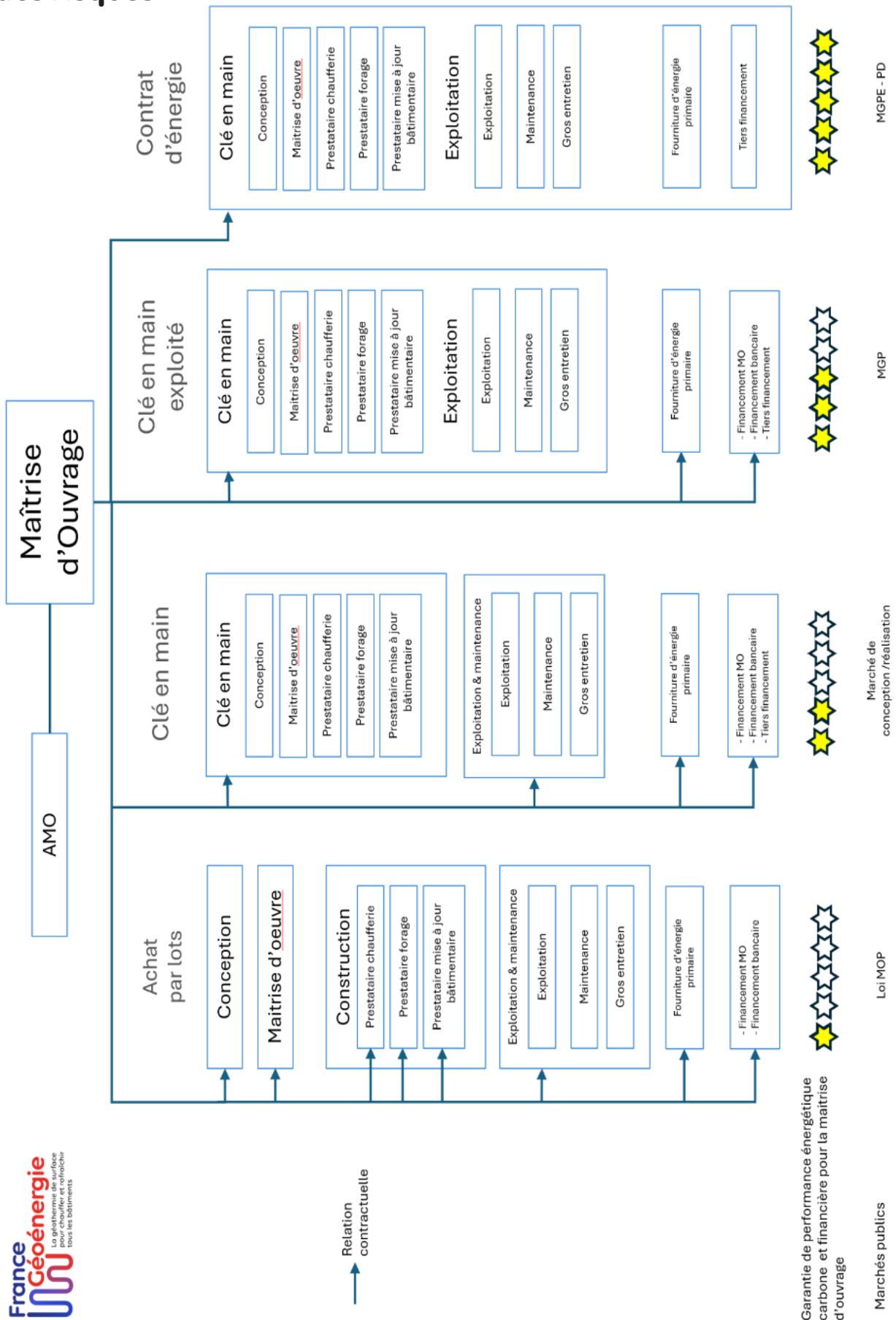


- Le changement d'usage d'un bâtiment peut changer drastiquement la nature de la demande en énergie thermique, par exemple lorsque l'on souhaite transformer un bâtiment de bureau en logement collectif,
- La consommation réelle des bâtiments neufs est souvent fortement en décalage avec les spécifications de conception des bureaux d'études et des promoteurs.

Afin de pouvoir garantir la performance des systèmes dans un environnement changeant, les nouvelles technologies de pilotage des solutions de géoénergie assurent une adaptation automatique des systèmes afin d'en garantir le rendement thermodynamique dans le cadre de Contrat de Performance Énergétique (CPE). C'est le cas notamment des technologies de géo-stockage qui permettent d'optimiser les performances thermodynamiques des systèmes grâce au pilotage du stockage des ENR-R et de l'extraction des énergies du sous-sol de manière optimisée.

³ <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1359431119374113>
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0378778809002825>
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0378778813006142>
https://www.matec-conferences.org/articles/mateconf/abs/2016/49/mateconf_ipicse2016_04036/mateconf_ipicse2016_04036.html
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0140988322005643?via%3Dihub>
https://www.lemonde.fr/economie/article/2020/10/04/en-allemande-les-renovations-energetiques-des-batiments-n-ont-pas-fait-baisser-la-consommation_6054715_3234.html

Synthèse des différents modes de contractualisation d'un projet de Géoénergie et leur incidence en termes de couverture des risques



L'assistant à maîtrise d'ouvrage un acteur clé de votre réussite

En fonction du modèle de relation contractuelle que vous visez, il vous faudra choisir des conseillers de nature différente.

Vous pouvez choisir, notamment pour les petits projets, de ne pas vous entourer d'Assistant à Maîtrise d'Ouvrage - AMO ou de Bureaux d'études spécialisés et faire directement appel à une entreprise qui se charge de concevoir et de réaliser votre centrale de géoénergie. Cette stratégie doit être réservée exclusivement à des offres de service qui sont accompagnées d'une garantie totale en performance pour que la maîtrise d'ouvrage soit totalement sécurisée.

Sinon, il est important de choisir vos conseillers en fonction du modèle contractuel que vous visez car tous les conseillers n'ont pas la compétence pour les différents modèles.

Si vous souhaitez acheter votre centrale, en avoir la responsabilité et en tirer le maximum de performance économique, dans ce cas il vous faudra vous entourer de conseillers qui maîtrisent la définition technique du projet et qui sont à même de vous assister dans le suivi de la qualité de sa réalisation, voire de son exploitation.

Si vous souhaitez acheter un résultat, c'est-à-dire contractualiser un contrat de fourniture de chaleur et de froid renouvelable, ou acheter une centrale clé en main accompagnée d'une garantie de performance solide, il faut choisir un assistant qui vous aide à définir un des objectifs de performances avec des conditions économiques d'achat avec le maximum de mécanisme de protection.

Acheter sa centrale et en avoir la responsabilité pour en tirer le meilleur rendement économique

Dans le cadre d'un achat d'une centrale sous votre responsabilité, l'assistant à maîtrise d'ouvrage ou un bureau d'étude spécialisé ou votre architecte peut jouer un rôle clé pour vous accompagner afin de maximiser le succès du projet. Ses tâches principales incluent :

- **Définition du projet** : Identifier les besoins énergétiques, analyser la faisabilité technique et économique, et définir le programme.
- **Gestion réglementaire** : Assister dans les démarches administratives (permis d'exploration, études d'impact) et garantir le respect des normes environnementales et énergétiques.
- **Optimisation des subventions et aides publiques** : Identifier les dispositifs d'aide (fonds publics, crédits d'impôt, subventions) et veiller à leur intégration dans le montage financier.
- **Choix des prestataires** : Organiser les consultations pour sélectionner les experts (bureaux d'études, foreurs, ingénieurs) et contractualiser.
- **Coordination et suivi du projet** : Superviser les études géothermiques, valider les plans, contrôler les budgets et coordonner les intervenants.
- **Suivi des travaux** : Superviser le forage, l'installation des équipements et résoudre les éventuels problèmes.
- **Mise en service et réception** : Vérifier la conformité des installations, accompagner les tests de performance et gérer les éventuelles réserves.

En résumé, l'AMO agit comme un expert et un garant pour que le projet de géothermie respecte les objectifs, les coûts, les délais et les exigences environnementales.

Si vous souhaitez acheter un résultat

Si vous faites appel à des prestataires qui vous fournissent une solution clé en main exploitée avec un plus haut niveau de garantie de service ou si vous souhaitez un contrat d'achat de chaleur et de froid renouvelable, dans ce cas votre AMO se concentrera sur la définition des objectifs de performance.

Dans un projet de géoénergie impliquant un acteur unique pour la **conception, réalisation, exploitation, maintenance et financement**, le rôle du conseiller est de définir des cadres contractuels solides et garantir la sécurité financière du projet.

1 Définition des besoins et des objectifs



Analyse des attentes énergétiques et financières : Évaluer les besoins en énergie, les objectifs de performance, et les priorités environnementales et économiques du maître d'ouvrage.

Identification des solutions contractuelles adaptées :

- Par un contrat de travaux clés en main accompagné d'un contrat d'exploitation et de maintenance et d'un Contrat de Performance Énergétique ENR/R garantissant les performance énergie et carbone de la centrale. Le projet pouvant être optionnellement tiers financé,
- En un contrat d'achat de chaleur et de froid renouvelable : Formaliser un contrat d'achat d'énergie intégrant des indicateurs précis de performance comme le niveau de décarbonation de l'énergie thermique délivrée et les conditions d'exploitation du service. Dans ce cas, la documentation contractuelle définit les conditions de la concession.



2 Élaboration et sécurisation du cadre contractuel

Rédaction et négociation des clauses contractuelles :

- Garantir que les objectifs de performance énergétique sont mesurables, atteignables et pénalisés en cas de non-respect.
- Inclure des mécanismes de partage des risques entre le maître d'ouvrage et l'opérateur (techniques, financiers, opérationnels).

Supervision des garanties de performance :

- Valider les méthodologies de mesure et de vérification des performances.
- Préciser les responsabilités et les engagements de l'opérateur dans chaque phase du projet.

Assistance dans la structuration des modèles de revenus : Identifier les conditions pour garantir la rentabilité, par exemple via des tarifs indexés ou des économies partagées.



3 Sécurisation du montage financier

Analyse des solutions de financement proposées :

- Vérifier la solidité du modèle économique (cash-flow prévisionnel, retour sur investissement).
- Évaluer les risques financiers (taux d'intérêt, fluctuations de marché, défauts).

Validation des garanties financières :

- Vérifier les assurances, garanties bancaires et engagements financiers de l'opérateur.
- Évaluer les mécanismes de couverture des risques (techniques, de sous-performance ou de non-conformité).



4 Suivi et pilotage stratégique

Contrôle des étapes clés :

- Superviser les tests de performance avant mise en exploitation.
- **Audit de l'exploitation et de la maintenance :** Vérifier que l'opérateur respecte ses engagements contractuels sur la durée.

Reporting au maître d'ouvrage : Fournir des rapports réguliers sur l'avancement, les performances atteintes et les aspects financiers.



5 Veille sur la conformité et la durabilité

Conformité réglementaire et sécuritaire : S'assurer que toutes les étapes (conception, réalisation, exploitation) respectent les normes et lois en vigueur.

Suivi des engagements environnementaux : Valider que les objectifs en matière de durabilité (réduction des émissions, efficacité énergétique) sont atteints.

En conclusion, la nature du travail de l'AMO/BET est fort différente en fonction du modèle de relation contractuel visé.



Le cas spécifique des marchés publics

Les marchés publics respectent les principes de liberté d'accès à la commande publique, d'égalité de traitement des candidats et de transparence des procédures. Ils se divisent en marchés classiques, marchés de partenariat et marchés de défense ou de sécurité :

Marché public de maîtrise d'œuvre : Ce type de marché concerne la conception et la réalisation d'un projet.

Marché public global (marché public de conception-réalisation, marché public global de performance) : Ces marchés englobent la conception, la réalisation et parfois l'exploitation d'un projet.

Partenariat d'innovation : Un marché qui encourage l'innovation et la recherche.

Marché public réalisé dans le cadre d'un programme d'expérimentation : Ces marchés sont liés à des projets pilotes ou d'expérimentation.

La loi MOP

La loi MOP (Loi n° 85-704 du 12 juillet 1985 relative à la maîtrise d'ouvrage publique et à ses rapports avec la maîtrise d'œuvre privée) établit les règles pour la réalisation de projets de construction dans le secteur public. Elle régit les relations entre les entités publiques et privées lors de la construction d'ouvrages publics.

Les principales dispositions de la loi MOP sont :

- 1. Maîtrise d'ouvrage publique (MOP) :** La loi définit le rôle du maître d'ouvrage public, qui est l'entité responsable de la réalisation d'un projet (par exemple, une collectivité territoriale, un établissement public, etc.).
- 2. Maîtrise d'œuvre privée :** La loi précise les missions du maître d'œuvre privé (architecte, bureau d'études, etc.) chargé de concevoir et de suivre la réalisation de l'ouvrage.
- 3. Mission de base du maître d'œuvre :** La loi MOP fixe les missions minimales du maître d'œuvre, notamment l'étude d'avant-projet, la direction des travaux et la réception de l'ouvrage.
- 4. Concours d'architecture :** La loi encourage l'organisation de concours d'architecture pour les projets publics afin de favoriser la qualité architecturale.
- 5. Appel d'offres :** La procédure d'appel d'offres est obligatoire pour la sélection du maître d'œuvre.
- 6. Contrat de maîtrise d'œuvre :** La loi définit les éléments essentiels du contrat entre le maître d'ouvrage et le maître d'œuvre.
- 7. Délais et coûts :** La loi impose des délais et des coûts prévisionnels pour les projets publics.

La loi MOP structure le processus de sélection et favorise la compétition équitable entre les entreprises et garantit que les projets publics sont réalisés par des professionnels qualifiés :

- 1. Appel d'offres :** La loi MOP exige que les projets publics passent par une procédure d'appel d'offres organisée par le maître d'œuvre. Les entreprises de construction doivent donc participer à ces appels d'offres pour avoir une chance de remporter le contrat.
- 2. Qualifications techniques et financières :** Les entreprises candidates doivent répondre à des critères de qualifications techniques et financières pour être éligibles. Cela garantit que seules les entreprises compétentes et solides financièrement sont retenues.
- 3. Concours d'architecture :** Lorsque la loi encourage l'organisation de concours d'architecture, les entreprises de construction doivent collaborer avec des architectes et des bureaux d'études pour proposer des projets de qualité. Cela peut influencer leur choix de partenaires.
- 4. Transparence et équité :** La loi MOP vise à assurer la transparence et l'équité dans le processus de sélection. Les entreprises doivent donc se conformer à ces exigences pour maintenir leur réputation et leur crédibilité.

Les Marché Global de Performance (MGP)

Le Marché Global de Performance (MGP) est une catégorie de marché public qui associe la réalisation ou la conception-réalisation à l'exploitation ou la maintenance avec un engagement de performance dans la durée. Un MGP est d'une durée maximale de 16 ans bien que la durée habituelle soit plutôt comprise entre 8 à 10 ans.

Le MGP est adapté aux objectifs de développement durable de la commande publique tout en respectant les impératifs économiques. Il déroge aux principes des marchés passés en lots séparés (allotissement) et à la règle de non-cumul des missions de maîtrise d'œuvre et d'entrepreneur de la loi MOP. Les engagements de performance mesurables sont essentiels pour le MGP, portant sur des aspects tels que le niveau d'activité, la qualité de service, l'efficacité énergétique ou l'incidence écologique.

Ce type de marché permet de mettre en œuvre un CPE (Contrat de Performance Énergétique).

Autres noms : Marché Global de Performance Énergétique (MGPE), Marché Public Global de Performance (MPGP)

Le Marché Global de Performance Énergétique à Paiement Différé (MGPE-PD)

Le Marché Global de Performance Énergétique à Paiement Différé (MGPE-PD) est un nouvel outil contractuel pour encourager la rénovation énergétique des bâtiments publics. Conformément à la loi du 30 mars 2023, il permet aux collectivités territoriales, à l'État et à leurs établissements publics de confier au titulaire du marché la charge du préfinancement des investissements de rénovation énergétique. Les MGPE-PD signifie un paiement différé des investissements à partir de la réception des travaux jusqu'à l'échéance du Marché, facilitant ainsi le financement des opérations de rénovation énergétique. En substance, cette approche permet à l'entité publique acquéreuse de ne pas assumer immédiatement le coût de l'investissement et de commencer à rembourser les loyers financiers correspondants au moment où seront constatés les économies d'énergies promises.

- 1. Établir un contrat MGPE-PD :** Le contrat doit spécifier les modalités de paiement différé et les engagements du prestataire.
- 2. Respecter les obligations contractuelles :** Le prestataire doit réaliser les travaux conformément au contrat.



“La rénovation énergétique des bâtiments publics est un défi de taille, avec un patrimoine total de 400 millions de m², dont 300 du côté des collectivités locales. Ces impératifs impliquent de mettre en œuvre des modes contractuels un peu différents de ceux auxquels on a été habitués. C’est la raison d’être de ce nouveau contrat, qui a été créé par la loi du 30 mars 2023 [...]. C’est difficile à chiffrer [le montant de l’investissement global], mais l’ordre de grandeur est de plusieurs dizaines de milliards d’euros d’ici 2050 pour l’ensemble du parc public, dont les collectivités territoriales. Par exemple, il y a 45 000 écoles, dont un petit nombre est performant énergétiquement. L’investissement sera très important.”

Jean Bensaïd, directeur Fin Infra.

Les atouts du MGPE-PD pour la mise en place de centrale de géoénergie

Des cash flows optimisés grâce à la durée du MGPE-PD peuvent couvrir sur la durée de vie du matériel

C’est une évolution majeure du MGP qui permet d’amortir l’investissement de la centrale de géoénergie sur la durée de vie du matériel et ainsi diminuer les cash flows relatifs aux financements de cette infrastructure pour que l’ensemble des coûts (Énergie + Exploitation + Maintenance gros matériel + Amortissement de l’infrastructure + Financement) puissent être inférieur ou égal aux au coût de l’énergie de l’ancienne chaufferie.

Pour atteindre cet objectif, certaines maîtrises d’ouvrage publique peuvent de plus choisir de co-financer avec l’exploitant tiers financeur le projet afin d’obtenir cette compétitivité en termes de coût de fonctionnement

Une sécurisation de la performance énergie et carbone de l’investissement

Un MGPE-PD s’accompagne toujours d’un contrat de performance énergétique qui garantit le performance énergie et carbone du dispositif sur la durée du contrat. Comme le contractant porte l’ensemble des coûts du projet de construction et d’exploitation, il peut couvrir jusqu’à 100% des éventuelles surcoût de consommation d’énergie dû à une sous performance du système sans plafonner sa garantie.

Un auto-financement de l’investissement et du coût de son financement

Avec les performances de baisse de consommation d’énergie de la géoénergie, il est assez courant que les économies d’énergies garanties puissent assurer le coût de son financement sur la durée de vie du contrat.

Un levier pour massifier la rénovation environnementale de son parc sans déséquilibrer ses budgets d’investissement et de fonctionnement

Pour un même niveau de charge annuelle qu’un contrat classique à base d’énergie fossile le contrat de type concessif d’une centrale de géoénergie permet de massifier la rénovation d’un parc afin d’aller plus vite vers plus d’économies énergétiques et carbone.

Une fiabilité des délais accrue

Le MGPE-PD est un puissant outil pour faire respecter les délais promis par le titulaire, sa rémunération commençant à la mise en production du service.

Une optimisation structurelle de la trésorerie

Dans le cadre d’un MGPE-PD de géoénergie les dates de perception des recettes (les économies d’énergie) sont alignées avec celles des paiements du projet.

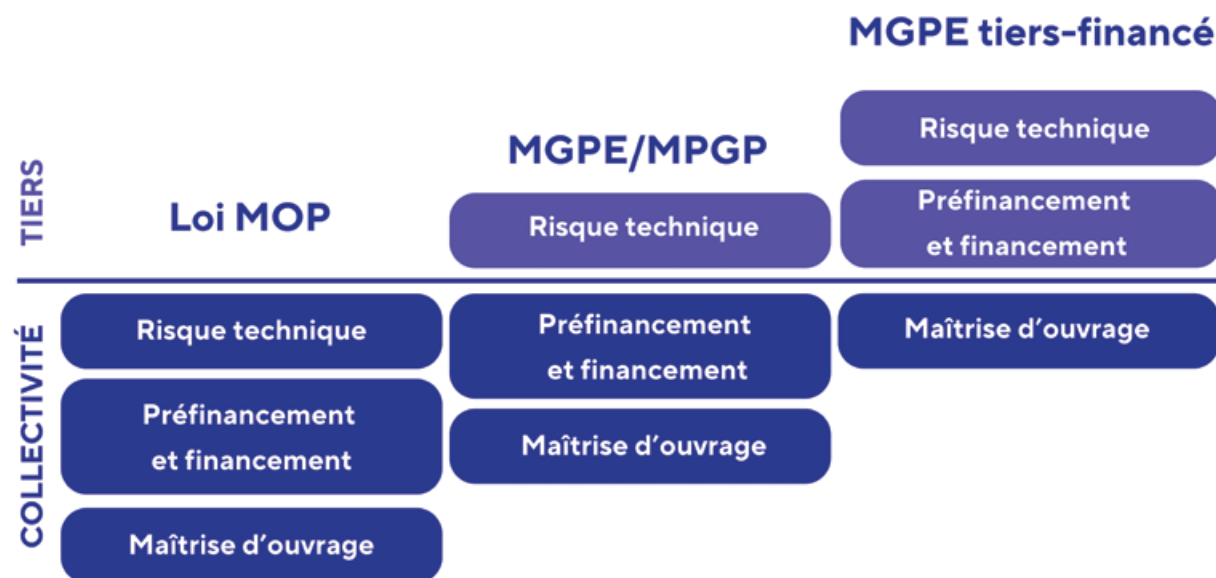
Les aides spécifiques au MGPE-PD

Pour favoriser l’adoption de ce dispositif contractuel de la commande publique plusieurs aides ont été mises en place. On peut citer notamment,

- L’Agence de la Transition Écologique (ADEME) et la Fédération nationale des collectivités concédantes et régies (FNCCR) ont récemment lancé un programme de financement et de soutien destiné à la préparation et à la mise en œuvre de ces marchés. Appel à Projets AMO CPE ACTEE/ADEME – ACTEE (programme-cee-actee.fr)
- Le programme Geoboost, lancé par l’ADEME, vise à accélérer le déploiement de la géoénergie en France en soutenant les acteurs publics et privés dans leurs projets de transition énergétique. Ce programme offre des aides financières pour les études de faisabilité de projet de géoénergie. Geoboost facilite également l’accès à des outils d’accompagnement technique et administratif, en partenariat avec des dispositifs comme ACTEE pour les collectivités. Ce programme ambitionne ainsi de démocratiser la géoénergie en renforçant son attractivité économique et son intégration dans les politiques de rénovation énergétique.

Le Marché Global de Performance Énergétique à Paiement Différé (MGPE-PD)

Répartition des responsabilités et des risques selon le véhicule juridique



Source : AFL « le CPE et les collectivités »

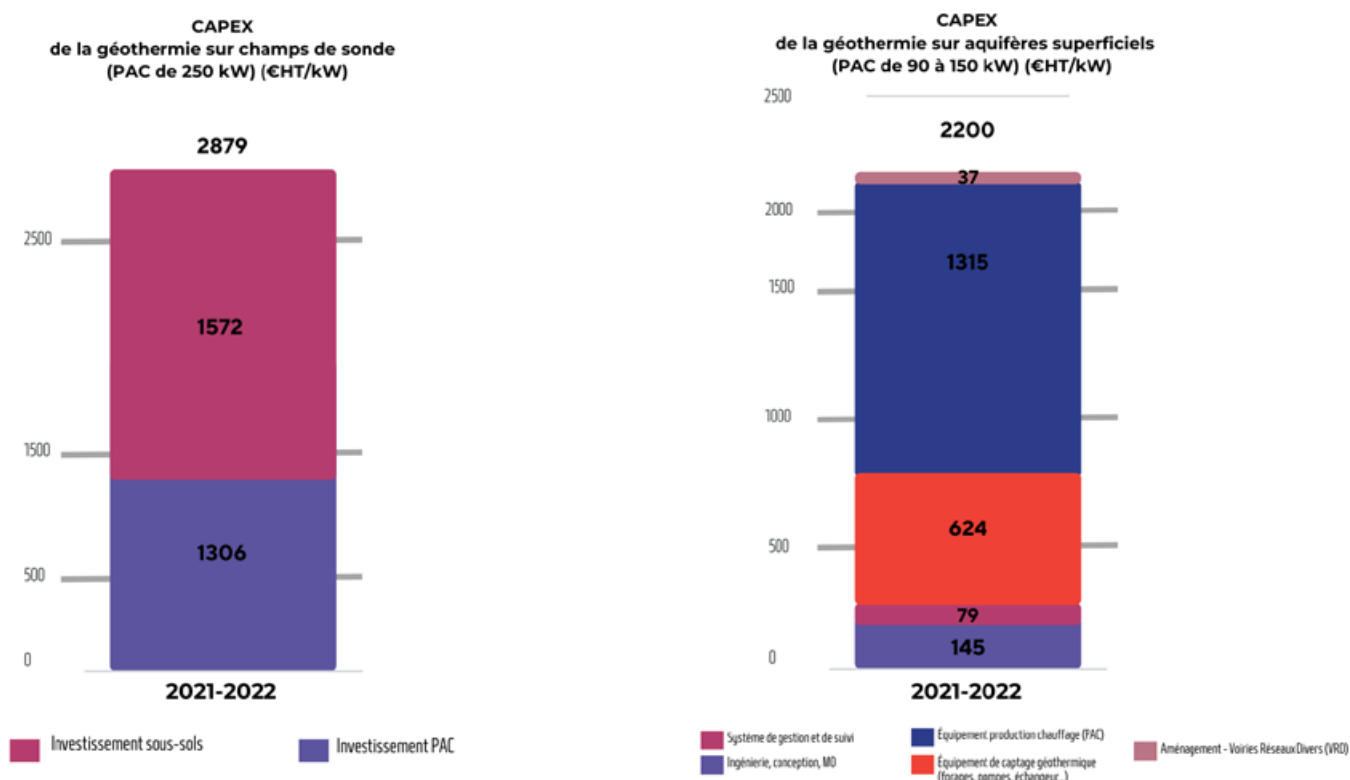
FINANCEMENT DE LA GÉOÉNERGIE

Le coût d'une installation de Géoénergie

Les coûts

Une centrale géothermique est caractérisée par des organes de surface et de sous-sol. La surface regroupe tous les éléments de la chaufferie et ceux du sous-sol, tous les forages géothermiques et les liaisons horizontales reliant les forages géothermiques à la chaufferie. D'autres coûts additionnels peuvent être nécessaires pour relier la chaufferie au bâtiment et pour assurer la distribution de la chaleur basse température dans le bâtiment. Ces coûts additionnels sont relatifs à la mise à niveau du bâtiment pour avoir la capacité de consommer de la chaleur basse température et représentent en moyenne 12% du coût total des projets de géoénergie.

Le coût moyen constaté d'une centrale de géoénergie se répartissent comme suit :



Les subventions et autres aides financières

Les aides et subventions peuvent être collectés en votre nom par vos prestataires maîtrise d'œuvre si vous gérez un projet d'achat par lot en direct ou par votre vendeur de solution clé en main (EPCiste) ou par votre vendeur d'énergie thermique.

Bien que vous n'ayez pas la nécessité d'organiser cette collecte par vous-même nous listons ci-dessous les principales sources d'aides et subventions.

Le Fonds Chaleur de l'ADEME

Le Fonds Chaleur est la principale source de subvention pour améliorer la compétitivité des projets de géoénergie par rapport aux énergies fossiles.

Toutes les opérations de géothermie de surface assistée par pompe à chaleur (PAC) ayant une production minimum de 25 MWh (production d'énergie géothermique entrée PAC) dans les secteurs de l'habitat collectif, tertiaire, agricole et industriel. Celles-ci incluent les installations de :

- PAC sur aquifère superficiel (nappe d'eau souterraine d'une profondeur inférieure à 200 mètres)
- PAC sur champ de sondes géothermiques ou sur géostructures énergétiques
- PAC sur eaux usées sur réseaux d'assainissement ou en station de traitement des eaux usées
- PAC sur eau de mer ou sur eaux de surface
- PAC sur eaux thermales ou eaux d'exhaure de mines

Les conditions d'aide de l'ADEME évoluent rapidement. Consulter le site de l'ADEME pour connaître les dernières conditions⁴.

Les certificats d'économies d'énergie

Les Certificats d'économies d'énergies ont été créés par les articles 14 à 17 de la loi n° 2005-781 du 13 juillet 2005 dite loi POPE. Ils constituent une obligation de réaliser des économies d'énergies sur une période donnée de trois à quatre ans. Cette obligation est portée par les obligés du dispositif, à savoir, les vendeurs d'énergie toute source confondue. La manière la plus répandue de réaliser des certificats d'économies d'énergie est d'utiliser les fiches d'opération standardisées, qui décrivent un grand nombre d'équipements pouvant être mis en place dans des secteurs différents (résidentiel, tertiaire, industrie, réseaux, transport et agricole).

Les fiches concernant la géothermie pour le secteur résidentiel sont les suivantes :

- [BAR-TH-166 : Pompe à chaleur collective de type air/eau ou eau/eau](#) (N.B. : seuls les équipements de type eau/eau sont concernés par la géothermie)
- [BAR-TH-169 : Pompe à chaleur collective de type air/eau ou eau/eau pour l'eau chaude sanitaire](#) (N.B. : seule les équipements de type eau/eau sont concernés par la géothermie)
- [BAR-TH-172 : Pompe à chaleur de type eau/eau ou sol/eau](#) (résidentiel individuel)

Les fiches qui concernent la géothermie pour le secteur tertiaire sont les suivantes :

- [BAT-TH-113 : Pompe à chaleur de type air/eau ou eau/eau](#) (N.B. : seuls les équipements de type eau/eau sont concernés par la géothermie)
- [BAT-TH-140 : Pompe à chaleur à absorption de type air/eau ou eau/eau](#) (N.B. : seuls les équipements de type eau/eau sont concernés par la géothermie)

⁴ <https://agirpourlatransition.ademe.fr/entreprises/aides-financieres/2025/installations-production-chaleur-froid-renouvelable-a-partir-geothermie> Les certificats d'économies d'énergie

Dans le cadre du Coup de Pouce chauffage des bâtiments résidentiels collectifs et tertiaires, les opérations relevant des fiches BAT-TH-113 et BAR-TH-166 peuvent être bonifiées. Les conditions d'application sont de valoriser cette bonification avec un signataire de la charte, l'impossibilité de se raccorder à un réseau de chaleur et la dépose de tous les équipements à énergie fossile.

Les coefficients de bonification peuvent être obtenus sur l'un ou l'autre des deux objectifs :

- Décarbonation : en remplaçant une chaudière (charbon, fioul, gaz) par une PAC eau/eau, le montant des CEE peut être multiplié par 5
- Contrat de performance énergétique : en s'engageant sur une performance à maintenir pendant une période d'au moins 5 ans, le montant des CEE peut être multiplié par un facteur dépendant de la durée de l'engagement.

CEE et fonds chaleur

Dans le cas d'opérations bénéficiant d'une aide forfaitaire du Fonds Chaleur, il n'y aura pas de délivrance de CEE possible. Cependant l'ADEME peut être consulté en fonction des projets pour envisager au cas par cas ce cumul.

Pour les opérations dont l'aide Fonds Chaleur est calculée par une analyse économique, une articulation entre l'aide Fonds Chaleur et les

Certificats d'Économie d'Énergie (CEE) sera possible, dès lors que l'impact économique de ces derniers est pris en compte par l'ADEME dans les conditions prévues par le Code de l'énergie.

France géoénergie travaille activement à convaincre les représentants de l'état de généraliser le cumul Fonds chaleur et CEE condition nécessaire pour un vrai compétitivité par rapport aux énergies fossiles.

Autres aides nationales, régionales et européennes

Pour être compétitif par rapport aux énergies fossiles, les développeurs de centrales de géoénergie complètent souvent les aides du Fond Chaleur et des CEE avec d'autres aides provenant de sources régionales et européennes notamment. Ces sources de subvention apparaissent comme essentielles à l'équilibre financier des projets et à leur compétitivité. Elles représentent à titre d'exemple près de 21% des coûts éligible des projets financés par l'ADEME en 2023.

Les Fonds européen de développement régional - FEDER

Le Fonds Européen de Développement Régional, plus communément appelé FEDER, est l'un des principaux programmes de financements européens de l'Union Européenne visant à promouvoir la cohésion économique, sociale et territoriale entre les régions. Depuis sa création en 1975, le FEDER a joué un rôle crucial dans la réduction des disparités économiques et sociales entre les différentes régions européennes.

Le FEDER s'inscrit dans les objectifs stratégiques de l'Union européenne communs à tous les États membres. Les deux objectifs principaux du FEDER en France sont Une Europe plus intelligente et Une Europe plus verte. Le FEDER en France chaque région a établi des priorités d'investissements en fonction des besoins des territoires ce qui rend cette source de subvention variable d'une région à l'autre. La géoénergie peut puiser dans les programmes suivants :

- OS1.4 Compétences pour la spécialisation intelligente et la transition
- OS2.1 Efficacité énergétique
- OS2.2 Énergies renouvelables
- OS2.3 Stockage énergétique intelligent
- OS2.4 Adaptation au changement climatique et prévention des risques

Le Fonds Vert

Annoncé à l'été 2022 et effectif depuis janvier 2023, le Fonds vert est un dispositif inédit pour accélérer la transition écologique dans les territoires. Il est destiné à financer des projets présentés par les collectivités territoriales et leurs partenaires publics ou privés dans trois domaines : performance environnementale, adaptation du territoire au changement climatique et amélioration du cadre de vie.

Pour accompagner la mobilisation des collectivités territoriales, le Gouvernement a décidé la pérennisation du Fonds vert jusqu'à 2027 pour contribuer à répondre aux enjeux de la planification écologique. Il faut noter cependant que ce fond a été diminué dans le cadre du budget 2025 voté au parlement.

Les crédits Fonds vert sont en quasi-totalité délégués aux préfets de région puis répartis par eux en fonction des besoins propres de chaque territoire. Cette déconcentration est essentielle pour répondre aux spécificités territoriales et accompagner les élus au plus près dans leur projet de territoire.

En 2023, le Fonds vert a déjà apporté un soutien financier à plus de 7 000 porteurs de projets concernant près de 6 000 communes en métropole et en outre-mer, pour des projets représentant des dépenses de 10 milliards d'euros et un engagement du fonds vert de 2 milliards d'euros.

Pour faire vos demandes de subvention au Fond Vert.

<https://aides-territoires.beta.gouv.fr/programmes/fonds-vert/>

Les fonds dépendants des régions et des départements

Plusieurs régions et départements ont monté des fonds spécifiques aux soutiens des actions de la transition qui sont éligibles aux projets de géoénergie. Renseignez-vous auprès de votre région.

Les minimis européens

Une simulation du taux de couverture du Fond Chaleur sur les projets soutenus en 2023 avec les nouvelles conditions de subvention listées ci-dessus fait apparaître un taux de couverture compris entre 45% et 56% des dépenses éligibles en fonction des catégories de projet. Ces taux de couverture sont limités par l'ADEME pour les projets de plus de 2000 MWh/an à un taux de subvention maximum de

45%. Pour les projets inférieurs à 2000 MWh les taux peuvent être supérieurs mais seront limités par les taux de subvention autorisés par la communauté européenne dans le cadre de la réglementation des minimis européen et du régime d'aides de l'ADEME exempté de notification n° SA 59358 relatif aux aides à la protection de l'environnement pour la période 2014-2023 (aides à la réalisation)

Les taux maximums d'intensité des Aides à l'investissement en faveur de la promotion de l'énergie produite à partir de sources renouvelables sont les suivants :

	Grandes entreprises	Moyennes entreprises	Petites entreprises
Hors zones AFR	45%	55%	65%
Corse (*)	50%	60%	70%
DOM-COM (**)	60%	70%	80%

(*) zone définie à l'annexe 1 du décret n°2014-758 modifié relatif aux zones d'aide à finalité régionale et aux zones d'aide à l'investissement des PME pour la période 2014-2020.

(**) zones définies à l'annexe 2 du décret n°2014-758 précité.

Les organisations non commerciales sont quant à elles soumises à une exemption des minimis jusqu'à 65% des sommes éligibles. A noter que les minimis s'appliquent au cumul de toutes les subventions reçues (et pas seulement au fond chaleur) exception faite des CEE qui ne sont pas des subventions en tant que telles.

Pour en savoir plus sur les conditions d'obtention des aides du Fond Chaleur pour un projet de géoénergie :

<https://agirpourlatransition.ademe.fr/entreprises/sites/default/files/Installations%20g%C3%A9othermie%20de%20surface%20et%20a%C3%A9rothermie%20-%20Conditions%20d%27%C3%A9ligibilit%C3%A9%20et%20de%20financement.pdf>

Les coûts des productions de la géoénergie

Les coûts d'investissement dans une centrale de géoénergie ne suffisent pas à caractériser le coût complet des productions des énergies renouvelables thermiques produites à partir d'une centrale de géoénergie. Le coût complet des productions thermiques est constitué principalement du coût d'amortissement de la centrale, des coûts d'exploitation et du coût de l'énergie primaire consommée pour ces productions.

L'amortissement des centrales de géoénergie

L'amortissement des investissements dans les centrales de géoénergie se caractérise par des durées de vie variable en fonction de la technologie retenue.

La durée de vie d'un champ de sondes géothermiques peut atteindre une centaine d'années. Pour les calculs du coût des ENR l'ADEME préconise de retenir une durée de 50 ans. Les PACs eau/eau utilisés dans ce type d'installation sont quant à eux d'une durée de vie de l'ordre de 25 ans.

Concernant les centrales de géoénergie sur aquifère, les durées retenues pour le calcul du coût

des productions thermiques sont de 20 ans aussi bien pour l'installation de sous-sol que de surface. Cette durée plus courte que sur les systèmes sur sondes géothermiques s'explique par l'entretien supplémentaire nécessaire à appliquer aux forages et aux équipements de pompage et de filtration. En effet, l'eau souterraine puisée dans les nappes et circulant dans les pompes et échangeurs primaires est généralement riche en minéraux et chargée en sables fins. Les pompes de circulation doivent être changées fréquemment, les équipements nettoyés et les forages régénérés tous les 10 ans pour éviter les colmatages et ensablement.

Le coût des services d'exploitation et de maintenance

La nature de ces prestations est très différente entre une centrale de géoénergie sur sondes et une centrale sur aquifère.

Les services d'exploitation accompagnant une centrale de géoénergie sur sonde

Les services d'exploitation maintenance accompagnant les champs de sondes géothermiques sont assez simples et peu onéreux car les sondes en tant que telles ne réclament aucune maintenance par défaut.

Côté chaufferie les PAC EAU-EAU sont parmi les plus robustes. Leurs composants sont moins fragiles que

celles des PAC AIR EAU dont les aérothermes sont soumis à de plus fortes sollicitations mécaniques. De plus, les PAC EAU-EAU ne fonctionnent pas en cycle court qui réduisent la durée de vie des compresseurs. Le chauffagiste assure une vérification du niveau de gaz du compresseur chaque année.

Les services d'exploitation accompagnant une centrale de géoénergie sur aquifères

Les services de maintenance des installations de géothermie de surface sur aquifère jouent un rôle clé dans la pérennité, l'efficacité et la sécurité de ces systèmes. Ces prestations incluent généralement des contrôles annuels / trimestriels. Les techniciens inspectent les équipements de pompage, vérifient l'état des capteurs thermiques, nettoient les filtres pour éviter les obstructions, et s'assurent que les échangeurs de chaleur fonctionnent de manière optimale. Ils assurent un contrôle visuel des câbles. Une attention particulière est portée à la qualité de l'eau de l'aquifère, pour détecter d'éventuelles variations chimiques susceptibles de nuire au système. Par ail-

leurs, un contrôle des performances énergétiques permet de garantir que l'installation offre un rendement optimal (extraction des données de suivi et vérification des débits et du rabattement). Ces interventions permettent de prévenir les pannes, d'optimiser la durée de vie des équipements et de réduire les coûts énergétiques à long terme.

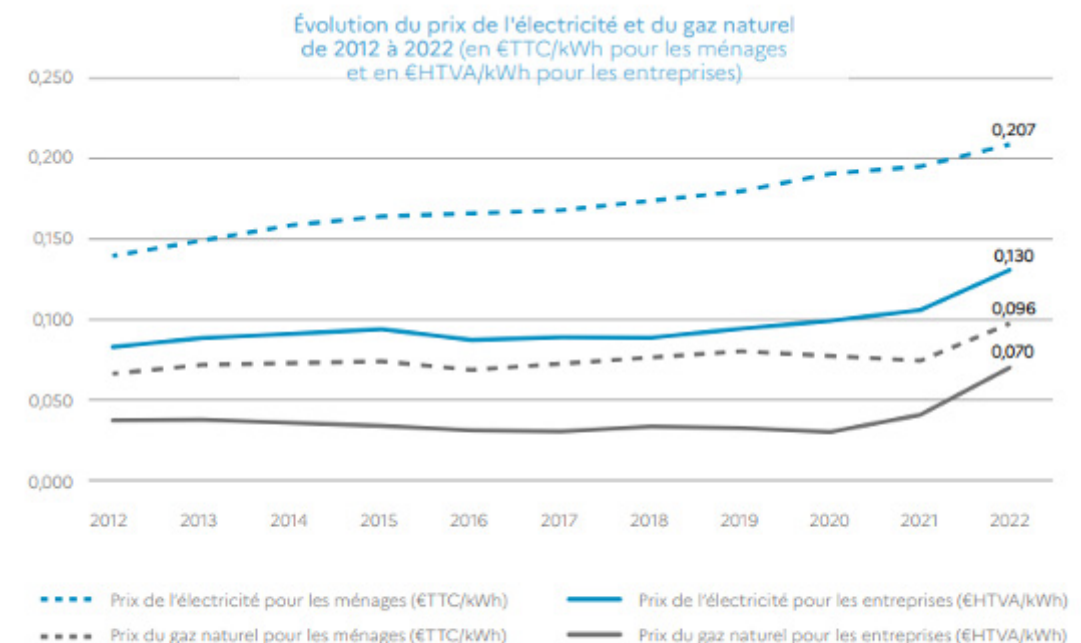
En termes de coût, une prestation annuelle de maintenance pour un système géothermique de surface sur aquifère se situe généralement entre 20 et 30€ par kW installé par an, selon la complexité de l'installation et le prestataire choisi.

Le coût des énergies primaires électriques en France

L'énergie primaire utilisée par les centrales de géoénergie pour extraire les calories du sol et pour faire tourner les pompes à chaleur est l'électricité. Nous avons la chance en France de nous appuyer sur une électricité largement décarbonée (64 CO₂/MWh). Le coût de l'électricité électrique varie en France en fonction des quantités consommées annuellement et le type de contrat d'approvisionnement. Demain, lorsque la réglementation autorisera la prise en compte de l'électricité verte achetée sous forme de PPA (Power Purchase Agreement), le poids carbone de l'électricité baissera de façon encore plus importante pour ne garder que le poids carbone en raisonnant en ACV (analyse cycle de vie).

A titre indicatif, les projets subventionnés par l'ADEME en 2023 ayant une puissance inférieure à 130kW consomment une énergie primaire électrique ayant un coût moyen de 151€/MWh HT quand les grandes installations ont un coût moyen de l'énergie électrique primaire à 141 €/MWh HT. Nous n'étudions pas dans cette étude les ratios économiques pour les installations individuelles.

Les coûts des énergies primaires étant susceptibles d'évoluer très rapidement nous vous invitons à vous référer aux tarifs mis en évidence par la CRE à la date de votre projet⁵.



5 https://www.cre.fr/fileadmin/Documents/Deliberations/2025/250115_2025-10_TRVE_inf_36_annexe_B.pdf
https://www.cre.fr/fileadmin/Documents/Deliberations/2025/250116_2025-25_TRVE_sup_36_S1_2025_annexe_B.pdf
https://www.cre.fr/fileadmin/Documents/Deliberations/2025/250115_2025-10_TRVE_inf_36_annexe_A.pdf

Les modes de financement de la géoénergie

Financement assuré par le client



L'autofinancement sur fonds propres

Il est assez rare qu'une maîtrise d'ouvrage finance l'ensemble de l'investissement dans une centrale de géoénergie sur ses fonds propres. Par convention, le coût de l'argent sur fond propre est assez élevé et est réservé à des opérations cœurs de métier et stratégiques pour l'activité de l'entreprise. L'ADEME retient dans ses études un coût de l'argent provenant des

fonds propres d'un client à 7% ce qui évidemment est un taux assez élevé⁶. Dans certains cas ce taux peut atteindre 10%-12% dans l'habitat ou l'industrie par exemple. C'est pourquoi une stratégie d'autofinancement à 100% de la géoénergie est assez peu pertinente.

L'auto-financement par le crédit

Lorsqu'une entreprise à une capacité d'endettement disponible, il paraît pertinent de financer partiellement les projets de géoénergie par de l'endettement. En 2024 nous constatons un taux moyen pour le financement des projets de 3.5% à 4.5% sur des durées de 10 à 15 ans. Un emprunt sur une durée longue permet d'optimiser les cash flows de la géoénergie pour se rapprocher des cash flows des solutions carbonées.

Le montant des subventions couvrant le programme est bien entendu une composante très importante

de la durée de retour sur investissement. La variabilité du coût des énergies fossiles de ces dernières années incite à la plus grande prudence sur ce sujet. Certaines entreprises ajoutent aux coûts directs des énergies fossiles ceux indirects du coût du carbone.

En général, on constate des programmes avec des temps de retours sur investissement très disparates pouvant aller d'une dizaine à une vingtaine d'années en fonction du contexte d'exploitation et du référentiel retenu.

Externalisation du financement



Les solutions de tiers investissement

La rentabilité et le retour sur investissement d'un projet de géoénergie reposent sur de multiples compétences et sur de nombreux facteurs difficiles à maîtriser par toutes les maîtrises d'ouvrage. Prix d'achat des centrales de géoénergie, maximisation des programmes de subvention, maintien de la per-

formance dans le temps, coûts actuels et futures des énergies plaident pour externaliser l'ensemble du financement, de la gestion et de l'exploitation des centrales de géoénergie pour n'acheter qu'un résultat : une énergie thermique décarbonée à un coût défini et compétitif.

Plusieurs profils d'offre sont disponibles sur le marché :

Tiers investisseurs non-concepteur et non exploitant

Il est possible de faire tiers financer un projet géré en direct par une maîtrise d'ouvrage. Dans ce cas, la maîtrise d'ouvrage mandate un bureau d'étude pour concevoir la centrale de géoénergie et suivre l'exécution du chantier jusqu'à sa livraison. La maîtrise d'ouvrage contracte par ailleurs un contrat d'exploitation et de maintenance avec son chauffagiste en veillant à ce que cette prestation de service soit accompagnée d'un contrat de prestation de service suffisamment protecteur concernant la performance énergétique délivrée dans le temps.

Certaines banques du marché ou des spécialistes du tiers financement des infrastructures énergétiques se positionnent pour financer ces projets

mais ils réclament un certain nombre de garanties assurés par l'exploitant en charge de la centrale. Ils préféreront financer des offres clés en main conçues, et réalisées par des entreprises d'EPC (Engineering, Procurement and Construction) assurant une cohérence globale au projet. Le contrat de performance énergétique reste souscrit entre la maîtrise d'ouvrage et le fournisseur d'énergie.

Globalement ce type de montage laisse une grande partie des risques dans les mains de la maîtrise d'ouvrage car le contrat du chauffagiste sera capé à une portion de son chiffre d'affaires qui représente assez peu du coût global du projet de son exploitation.

Concepteur, réalisateur, exploitant et tiers investisseur

Il existe une offre toujours plus dense de prestataires qui se spécialisent dans la fourniture de solution clé en main de centrale de géoénergie financées. La maîtrise d'ouvrage contractualise avec un seul prestataire énergétique qui se charge de la conception, la réalisation, l'exploitation et la maintenance tout en assurant le financement complet de l'ensemble de l'infrastructure.

Dans ce cas, la maîtrise d'ouvrage à l'intérêt à prendre un AMO plus juridique que technique pour bien négocier les clauses cadrant la performance. C'est avant tout une performance énergie et carbone qui est achetée plus qu'une installation comportant telle ou telle spécification technique. Sur les marchés publics qui passent par des appels d'offre, il faut se garder d'un appel d'offre trop cadré techniquement pour bien mettre en avant une performance énergétique et carbone.

L'intérêt des offres financées portées par des EPCistes est de pouvoir proposer des garanties importantes étant à la fois en pleine maîtrise de la conception, de l'exploitation et du financement de la centrale.

Les contrats de performances peuvent se baser sur la garantie des rendements thermodynamiques des installations sur la durée de vie des contrats qui peuvent être calés sur des durées longues correspondant à la durée de vie des matériels. Les

mécanismes de bonus et de malus peuvent ne pas être limités et peuvent donc prévoir d'indemniser la totalité des dérives de performance qui se traduisent par une surconsommation d'énergie.

Classiquement ce type de contrat est accompagné par des engagements de volume de consommation par les clients en termes de quantité de consommation minimum pour garantir à l'exploitant un revenu minimum viabilisant son investissement et maximum correspondant aux limites physiques de la puissance des installations.

Le contrat prévoit aussi les clauses de sortie du contrat avec notamment un rachat possible par la maîtrise d'ouvrage de l'ensemble du dispositif (clause dite de "take or pay").

L'achat de l'énergie primaire peut rester dans les mains du client.

Parmi ces acteurs, certains ont créé des structures de financement spécialisées dédiées au financement des centrales de géo énergie. Ces fonds spécialisés sont très pratiques car ils sont parfaitement structurés juridiquement et financièrement pour répondre aux modèles d'affaires adaptés à la géoénergie. Ils permettent par exemple de ne pas avoir à créer une structure de financement dédiée à un projet (Special Purpose Vehicles - SPVs).

Le financement dans le cadre d'un contrat de vente de chaleur ou de froid

Les contrats d'énergie consommée (ou EaaS Energy as a Service) représente un modèle innovant de fourniture d'énergie qui permet aux entreprises d'accéder à des solutions énergétiques sans avoir à investir dans les infrastructures nécessaires.

Comme décrit précédemment dans le paragraphe 3, les contrats d'énergie consommée est un modèle axé sur la fourniture de solutions énergétiques complètes et personnalisées, permettant aux clients d'accéder à des services énergétiques sans les contraintes d'investissement et de gestion des infrastructures.

Ainsi, les contrats d'énergie consommée (EaaS) se distinguent des solutions "géoénergie clés en main financées" par le fait qu'elles incluent l'achat d'énergie primaire et matérialisent le coût du service rendu par la vente d'énergie thermique rendue.

En France, une variante de ce modèle sont les contrats d'énergie consommée en fixe + variable (Modèle de facturation R1 – Energie primaire consommée et R2 – coût de service énergétique et de l'amortissement de l'infrastructure).

Le crédit-bail

Le crédit-bail parfois évoqué pour le financement de la géoénergie ne paraît pas pertinent sauf dans l'industrie. En effet le crédit bailleur a besoin pour couvrir son risque d'être en mesure de récupérer

le matériel qui finance si le client se retrouve en incapacité d'honorer sa dette ce qui est évidemment incompatible avec les forages géothermiques.

Autres modes de financement

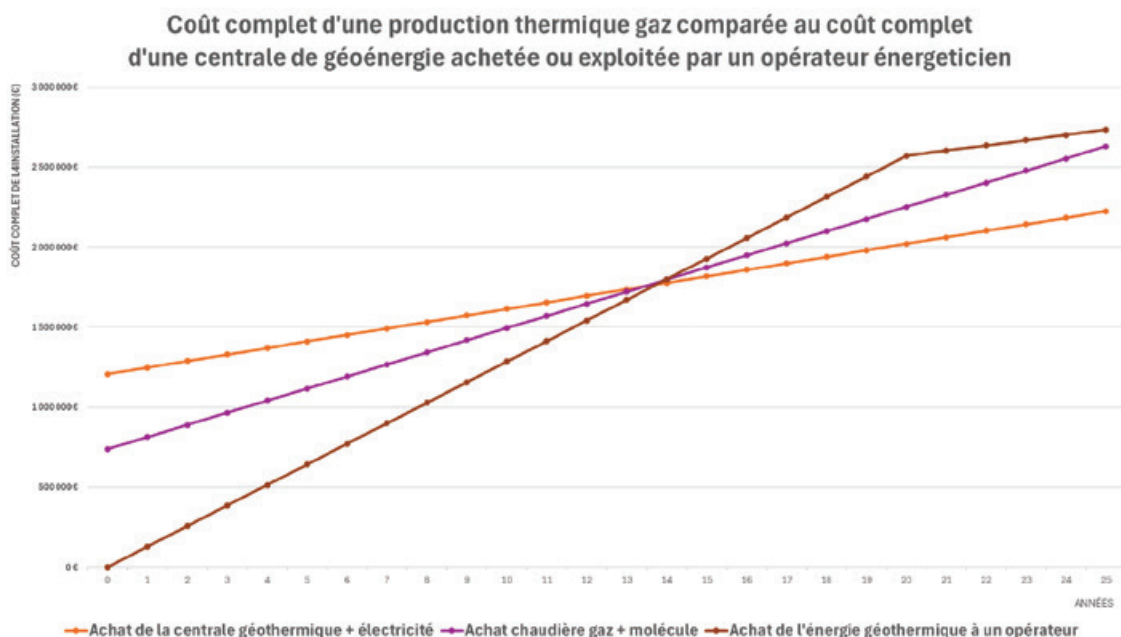
Un autre mode de financement qui semble très intéressant et que l'on a vu se développer dans les énergies renouvelables solaire est le financement participatif et citoyen. Nous n'avons pas connaissance

à ce stade de programme de géoénergie ayant eu recours à ce mode de financement mais cette piste mériterait d'être étudiée pour faciliter le déploiement de la géoénergie.

Comparaison des stratégies de financement

Une stratégie d'achat d'une centrale de géoénergie permet un retour sur investissement entre 15 et 20 ans en fonction du niveau de subvention. Elle demande un investissement conséquent en amont (son coût post subvention représente environ le double d'une chaudière à gaz) et permet de produire une énergie décarbonée le moins cher possible.

Une stratégie d'achat de son énergie dans le cadre d'un contrat d'achat de chaleur et de froid permet de profiter d'une TVA à 5,5% (si l'installation permet de livrer au moins deux clients). Elle a le grand avantage de minimiser ou de supprimer l'investissement en amont et de ne pas porter les risques d'exploitation.



Exemple de mise en place d'une centrale de géoénergie pour un bâtiment logement collectif de 126 appartements - 8200 m²

Année 0 : phase d'investissement pour les stratégies d'achat de la chaufferie

Année 1 à 20 R1+R24 - Année 21 à 25 : R1 uniquement pour l'achat de l'énergie thermique à un opérateur énergétique

Consommation annuelle de 1 GWh thermique soit 122 kWh ef./m²/an

Coût des énergies : 68,11€ TTC pour le gaz (avec abonnement réf. CRE 05/25) et 183,18€ TTC pour l'électricité (avec abonnement réf. CRE 01/2025), TVA à 20% sur le gaz et l'électricité et 5,5% sur la géoénergie.

Coût de l'opérateur énergétique sur 20 ans à 7%

Pour simplifier la lecture de la démonstration aucune inflation des énergies n'est incluse.

Coût de la chaufferie gaz : 702 K€ TTC

Coût de la centrale de géoénergie post subvention (fonds chaleur + CEE) : 1,207 K€

Hors des coûts d'exploitation maintenance.

Le coût complet des productions de géoénergie

Définition du LCOE – Levelized Cost Of Energy

Une vision la plus aboutie de la performance économique d'une centrale de géoénergie est d'en calculer son coût complet c'est-à-dire le coût du MWh thermique rendu. Il est constitué de l'amortissement actualisé de la centrale sur sa durée de vie, des coûts d'exploitation et de maintenance ainsi que l'énergie primaire (électrique) qui est consommée pour pro-

duire l'énergie thermique. L'indicateur le plus universel est le LCOE – (Levelized Cost Of Energy).

Voici la définition retenue par l'ADEME dans son étude sur le Coût des énergies renouvelables et de récupération en France Edition 2024.

HYPOTHÈSES DE SIMPLIFICATION

La formule générale du LCOE exige de disposer, pour chaque année, de la valeur de chacune des composantes de son calcul. Cela n'est généralement pas possible, ou n'a qu'un intérêt limité en dehors de l'analyse de projets particuliers, aussi plusieurs hypothèses simplificatrices sont formulées dans le cadre de cette étude :

1. Pour l'ensemble des filières, sauf pour les filières photovoltaïques et hydrauliques dont les productibles diminuent de respectivement de 0,4 et 0,23 % par an, la production annuelle est supposée constante sur la durée de vie de l'installation. Elle est notée Q .

2. La dépense d'investissement est supposée entièrement effectuée en début d'année 0: $K_t = 0$ pour $t = 1$ à n . Une exception est faite pour la géothermie de surface sur champs de sondes où une ou deux dépenses de capital ont lieu au cours de la durée de vie pour renouveler certains équipements.

3. Les charges fixes annuelles sont supposées constantes sur la durée de vie de l'installation, soit $F_t = F$ quel que soit t , de même que les charges variables par kWh : $V_t = V$ quel que soit t .

Finalement, la formule du LCOE se simplifie en :

$$LCOE = \frac{K_0 + \sum_1^n \frac{F + V}{(1 + r)^t}}{\sum_1^n \frac{Q}{(1 + r)^t}}$$

K_0 = investissement initial,

F = charges fixes d'exploitation annuelles,

V = charges variables d'exploitation annuelles,

Q = production annuelle.

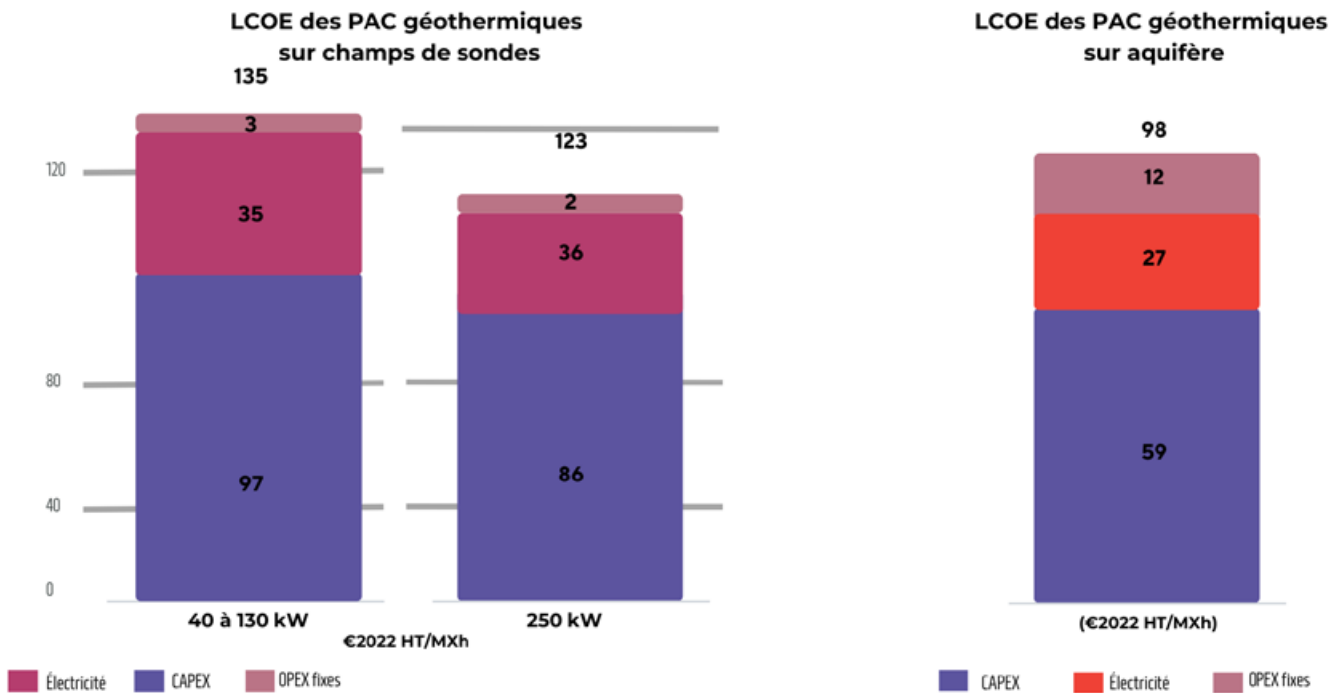
Le **taux d'actualisation** est noté « r » et la **durée conventionnelle de l'exploitation** « n ».

Pour la géothermie de surface sur champs de sondes, qui constitue une exception à l'hypothèse 2, le terme $\sum_1^n \frac{K_0}{(1 + r)^t}$ est ajouté au numérateur.

Le coût complet brute de la Géoénergie pour le chauffage par MWh

En se basant sur les coûts des centrales de géoénergie produites en France sur la période 2020-2023 communiqué par l'ADEME, nous présentons dans le tableau ci-dessous le coût moyen du MWh thermique produit à partir d'une centrale de géoénergie produisant du chaud uniquement. Ce

coût inclut l'amortissement de la centrale sur la durée de vie du matériel, les frais moyens d'exploitation et de maintenance, les coûts d'énergie primaire utilisées hors inflation. Le coût du MWh présenté est brute c'est-à-dire hors de toute subvention.

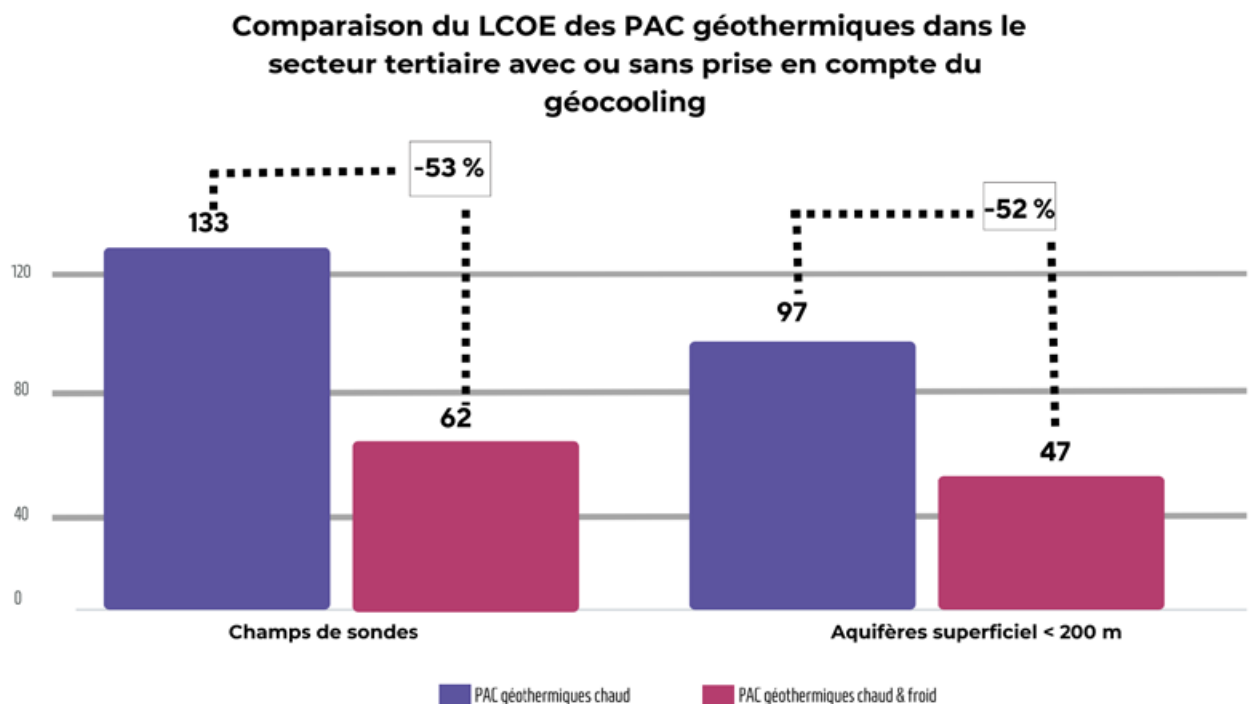


Source : ADEME - 012686 - Evolution des coûts des énergies renouvelables et de récupération entre 2012 et 2022

Le coût complet brut de la Géoénergie pour le chauffage et le rafraîchissement par MWh

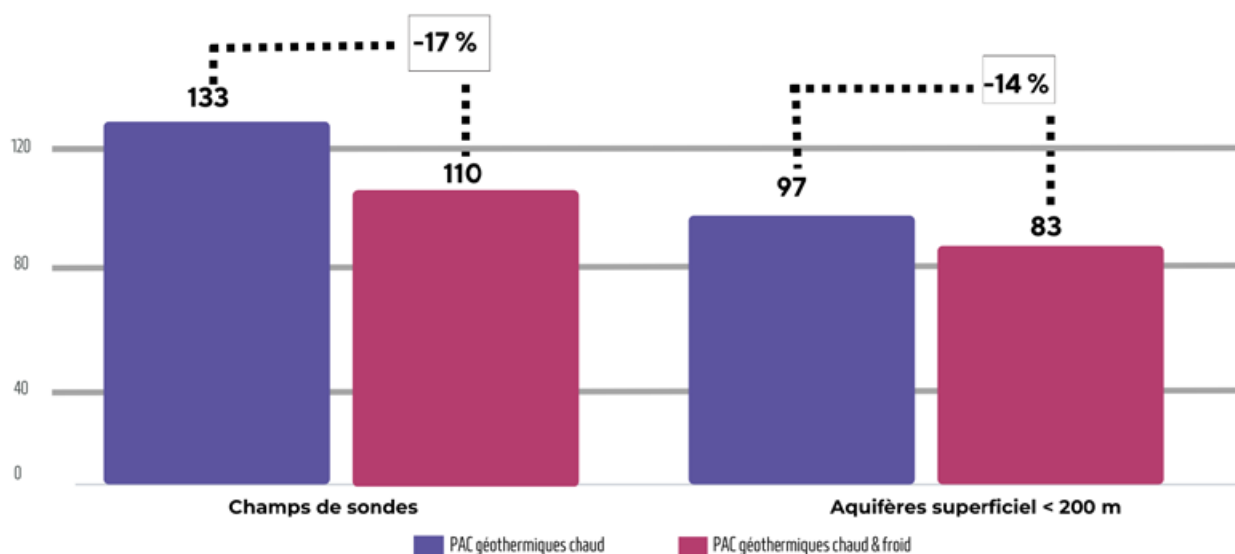
Une étude de l'ADEME à paraître sur l'évolution des coûts des énergies renouvelables et de récupération (ENRR) entre 2012 et 2022 - Edition 2024 met en évidence que les solutions de géoénergie produisant

du froid et du chaud présentent des coûts au MWh **de 14% à 53% inférieur** à des installations produisant uniquement du chaud.



Source : ADEME - 012686 - Évolution des coûts des énergies renouvelables et de récupération entre 2012 et 2022

Comparaison du LCOE des PAC géothermiques dans le secteur collectif avec ou sans prise en compte du géocooling



Source : ADEME - 012686 - Évolution des coûts des énergies renouvelables et de récupération entre 2012 et 2022

Compétitivité de la Géoénergie comparé aux autres énergies renouvelables thermique

Coût complet (LCOE) des ENR-R thermiques utilisées pour le secteur tertiaire et collectif

Géothermie 250 KW	- Entre 97 et 122 €/MWh pour une production de chaud uniquement - Entre 47 et 110 €/MWh pour une production de froid et de chaud
Chaufferie bois < 500 KW	Entre 159 et 192 €/MWh
Solaire thermique	159€ à 188 € HT/MWh

Coût complet (LCOE) des autres énergies thermiques utilisées pour le secteur tertiaire et collectif :

Chaudière gaz < 500 KW	94 € HT /MWh
Chaudière gaz 500 à 1000 KW	86 € HT/MWh
Production thermique à partir de PAC AIR-EAU	135 € HT/MWh
Production thermique à partir de PAC AIR-AIR	134 € HT/MWh

Source : ADEME - 012686 - Évolution des coûts des énergies renouvelables et de récupération entre 2012 et 2022

RETOUR D'EXPÉRIENCE DE PROJET DE GÉOÉNERGIE



CARTE D'IDENTITÉ DU PROJET

1 bâtiment

5 000 M²

Rénovation - depuis 2021

Hôtel (Piscine extérieure et courts de tennis)

PRODUCTION

Chauffage et climatisation
ECS douches et spas
Chauffage des piscines

RÉSULTATS

Energie de référence : gaz

-77%

d'économies d'énergie

-93%

de décarbonation

90,4 €/MWH HT

Coût complet du MWh thermique produit*

Selon la méthode LCOE (Levelized Cost of Energie) incluant le coût de l'énergie primaire, les services d'exploitation maintenance (P2) et le financement de la centrale de géoénergie hors frais d'intégration annexes dans le bâtiment auquel on soustrait les diverses subventions, Prix électricité à 136 €/HT

SOLUTIONS & TECHNOLOGIES

- **Solutions :** Géostockage sur sondes
- **Technologie sous-sol :** 52 sondes de 100 m de profondeur
- **Technologie surface :** 3 PAC géothermique 540 kW
- **Technologie de recharge :** panneaux solaires thermiques de 265 m²

MONTAGE CONTRACTUEL ET FINANCIER

- **Type de Montage contractuel :** fourniture d'énergie variable (EaaS)
- **Contrat de performance énergétique et carbone :** garantie totale
- **Concepteur et réalisateur du clé en main ou des lots :** Accenta
- **Tiers investisseur / opérateur énergétique :** Accenta
- **Part du tiers financement :** 100%
- **Exploitation maintenance :** MCI



CARTE D'IDENTITÉ DU PROJET

3 bâtiments - 61 logements

4 300 M²

Rénovation - depuis 2023

LOGEMENT COLLECTIF

PRODUCTION

Chauffage
ECS

RÉSULTATS

Energie de référence : gaz

-77%

d'économies d'énergie

-91%

de décarbonation

94,1 €/MWH HT

Coût complet du MWh thermique produit*

Selon la méthode LCOE (Levelized Cost of Energie) incluant le coût de l'énergie primaire, les services d'exploitation maintenance (P2) et le financement de la centrale de géoénergie hors frais d'intégration annexes dans le bâtiment auquel on soustrait les diverses subventions, Prix électricité à 136 €/HT

SOLUTIONS & TECHNOLOGIES

- **Solutions :** Géostockage sur sondes
- **Technologie sous-sol :** 17 sondes de 200 m de profondeur
- **Technologie surface :** PAC géothermique de 160 kW
- **Technologie de recharge :** panneaux solaires thermiques de 90 m²

MONTAGE CONTRACTUEL ET FINANCIER

- **Type de montage contractuel :** fournisseur d'énergie fixe+variable (r1+r2)
- **Contrat de performance énergétique et carbone :** garantie totale
- **Concepteur et réalisateur du clé en main / lots :** Accenta
- **Tiers investisseur / opérateur énergétique :** Aiden
- **Part du tiers financement :** 100%
- **Exploitation maintenance :** Idex

RETOUR D'EXPÉRIENCE DE PROJET DE GÉOÉNERGIE



HOTEL

CARTE D'IDENTITÉ DU PROJET

3 bâtiments

12 600 M²

Rénovation - depuis 2022

HOTEL & BUREAU

PRODUCTION

Chauffage

ECS

Chauffage piscine

RÉSULTATS

Energie de référence : gaz

-75%

d'économies d'énergie

-91%

de décarbonation

72,3 €/MWH HT

Coût complet du MWh thermique produit*

Selon la méthode LCOE (Levelized Cost of Energie) incluant le coût de l'énergie primaire, les services d'exploitation maintenance (P2) et le financement de la centrale de géoénergie hors frais d'intégration annexes dans le bâtiment auquel on soustrait les diverses subventions, Prix électricité à 136 €/HT

SOLUTIONS & TECHNOLOGIES

- **Solutions :** Géostockage sur sondes
- **Technologie sous-sol :** 83 sondes de 80 m de profondeur
- **Technologie surface :** PAC géothermique 470 kW
- **Technologie de recharge :** panneaux solaires thermiques de 100 m²

MONTAGE CONTRACTUEL ET FINANCIER

- **Type de Montage contractuel :** fournisseur d'énergie fixe+variable (r1+r2)
- **Contrat de performance énergétique et carbone :** garantie totale
- **Concepteur et réalisateur du clé en main ou des lots :** Accenta
- **Tiers investisseur / opérateur énergétique :** Accenta énergie
- **Part du tiers financement :** 80%
- **Exploitation maintenance :** MCI



Copropriété

CARTE D'IDENTITÉ DU PROJET

9 bâtiments - 550 logements

40 000 M²

Rénovation

LOGEMENT COLLECTIF

PRODUCTION

Chauffage

ECS

RÉSULTATS

Energie de référence : gaz

sous NDA

d'économies d'énergie

-86%

de décarbonation

sous NDA/MWH HT

Coût complet du MWh thermique produit*

Selon la méthode LCOE (Levelized Cost of Energie) incluant le coût de l'énergie primaire, les services d'exploitation maintenance (P2) et le financement de la centrale de géoénergie hors frais d'intégration annexes dans le bâtiment auquel on soustrait les diverses subventions, Prix électricité à NDA €/HT

SOLUTIONS & TECHNOLOGIES

- **Solutions :** Géostockage sur sondes
- **Technologie sous-sol :** 69 sondes de 300 m de profondeur
- **Technologie surface :** PAC géothermiques 1 MW
- **Technologie de recharge :** PAC AIR

MONTAGE CONTRACTUEL ET FINANCIER

- **Type de montage contractuel :** fournisseur d'énergie fixe+variable (r1+r2)
- **Contrat de performance énergétique et carbone :** garantie totale
- **Concepteur et réalisateur du clé en main / lots :** Accenta
- **Tiers investisseur / opérateur énergétique :** Aiden
- **Part du tiers financement :** nda
- **Exploitation maintenance :** Idex

RETOUR D'EXPÉRIENCE DE PROJET DE GÉOÉNERGIE



Logement collectif

CARTE D'IDENTITÉ DU PROJET

1 bâtiment

12 000 M²

Rénovation

Logement social

PRODUCTION

Chauffage

ECS

Climatisation

RÉSULTATS

Energie de référence : gaz

-53%

d'économies d'énergie

-67%

de décarbonation

79,4 €/MWH HT

Coût complet du MWh thermique produit*

Selon la méthode LCOE (Levelized Cost of Energie) incluant le coût de l'énergie primaire, les services d'exploitation maintenance (P2) et le financement de la centrale de géoénergie hors frais d'intégration annexes dans le bâtiment auquel on soustrait les diverses subventions, Prix électricité à 136 €/HT

SOLUTIONS & TECHNOLOGIES

- **Solutions :** géoénergie sur sondes
- **Technologie sous-sol :** 16 sondes
- **Technologie surface :** PAC géothermique 170 kW

MONTAGE CONTRACTUEL ET FINANCIER

- **Type de Montage contractuel :** clé en main
- **Contrat de performance énergétique et carbone :** garantie totale
- **Concepteur et réalisateur du clé en main ou des lots :** Celsius Energy
- **Tiers financier :** N/A



Industriel

CARTE D'IDENTITÉ DU PROJET

1 bâtiment

22 000 M²

Rénovation

INDUSTRIEL

PRODUCTION

Chauffage

Climatisation

RÉSULTATS

Energie de référence : gaz

-70%

d'économies d'énergie

-87%

de décarbonation

79,6 €/MWH HT

Coût complet du MWh thermique produit*

Selon la méthode LCOE (Levelized Cost of Energie) incluant le coût de l'énergie primaire, les services d'exploitation maintenance (P2) et le financement de la centrale de géoénergie hors frais d'intégration annexes dans le bâtiment auquel on soustrait les diverses subventions, Prix électricité à 136 €/HT

SOLUTIONS & TECHNOLOGIES

- **Solutions :** Géoénergie sur sondes
- **Technologie sous-sol :** 56 sondes
- **Technologie surface :** PAC géothermique de 600 kW
-

MONTAGE CONTRACTUEL ET FINANCIER

- **Type de montage contractuel :** clé en main
- **Concepteur et réalisateur du clé en main / lots :** Celsius Energy
- **Tiers financement :** N/A

RETOUR D'EXPÉRIENCE DE PROJET DE GÉOÉNERGIE



CARTE D'IDENTITÉ DU PROJET

11 bâtiments de logements,
bureaux, commerce, résidence
étudiante et enseignement

74000 M²

Neuf

PRODUCTION

Chauffage
ECS
Rafrachissement

RÉSULTATS

Energie de référence : gaz

-75%

d'économies d'énergie

-91%

de décarbonation

72,3 €/MWh HT

Coût complet du MWh thermique produit*

Selon la méthode LCOE (Levelized Cost of Energy) incluant le coût de l'énergie primaire, les services d'exploitation maintenance (P2) et le financement de la centrale de géoénergie hors frais d'intégration annexes dans le bâtiment auquel on soustrait les diverses subventions, Prix électricité à 136 €/MWh

SOLUTIONS & TECHNOLOGIES

- **Solutions** : Boucle d'eau tempérée à énergie géothermique (BETEG)
- **Technologie sous-sol** : géothermie sur nappe (40m de profondeur)
- **Smartgrid combinant** : PAC géothermiques, stockage thermique et PV
- **Technologie d'appoint** : PAC AIR/EAU

MONTAGE CONTRACTUEL ET FINANCIER

- **Type de Montage contractuel** : opérateur énergétique
- **Contrat** : fourniture de chaleur et de froid (HPA) avec garantie de performance
- **Conception, financement et réalisation** : E.ON
- **Exploitation maintenance** : E.ON
- **Projet soutenu par** : Fonds Chaleur ADEME



ECO CAMPUS

CARTE D'IDENTITÉ DU PROJET

4 bâtiment

95 000 M²

Neuf

Campus

PRODUCTION

Chauffage
ECS
Climatisation

RÉSULTATS

Energie de référence : gaz

68%

Taux couverture géothermie

21 M€

d'investissement

Dont 9,8 M€ pour la géothermie

Sans subventions ADEME

SOLUTIONS & TECHNOLOGIES

- **Solutions** : Géothermie, PV sur toiture, appoints froid (groupes froid) et chaud (gaz vert et cogénération gaz vert)
- **Technologie sous-sol** : 10 puits réversible de 100 m de profondeur
- **Technologie surface** : 2 Thermo-frigo-pompes (1,9 MW chaud et 3,1 MW froid), 4 groupes froid (5,6 MW), 5 chaudières biogaz (4,5 MW) et 1 cogénération (80 kW)
- **Technologie innovante** : ATEs (« Aquifer Thermal Energy Storage »)
- **Technologie d'auto-consommation** : PV 700 kWc avec stockage sur batteries

MONTAGE CONTRACTUEL ET FINANCIER

- **Type de montage contractuel** : offre globale clé en main financée
- **Contrat** : Concession réseau privé avec aménageur
- **Concepteur et réalisateur du clé en main / lots** : ENGIE Solutions
- **Tiers investisseur / opérateur énergétique** : Nexity, ENGIE Solutions
- **Part du tiers financement** : 100%
- **Exploitation maintenance** : ENGIE Solutions

RETOUR D'EXPÉRIENCE DE PROJET DE GÉOÉNERGIE



CARTE D'IDENTITÉ DU PROJET

5 immeubles

40 000 M²

Neuf

TERTIAIRE

PRODUCTION

Chauffage

ECS

Climatisation

RÉSULTATS

Energie de référence : gaz

72%

Taux couverture géothermie

6,2M€ d'investissement

Dont 900k€ pour la géothermie

Et 960k€ éligibles subventions ADEME

SOLUTIONS & TECHNOLOGIES

- **Solutions :** Géothermie sur nappe, réseau de chaleur et de froid (TVA 5,5%)
- **Technologie sous-sol :** 2 puits à 130 m de profondeur
- **Technologie surface :** 1 PAC géothermique réversible 840 kW; 1 PAC haute température 388 kW; Appoints secours : chaudières gaz et groupes froids
- **Technologie hybride :** PAC haute température pour ECS

MONTAGE CONTRACTUEL ET FINANCIER

- **Type de montage contractuel :** offre globale clé en main financé
- **Contrat :** Concession réseau privé avec aménageur
- **Concepteur et réalisateur du clé en main / lots :** ENGIE Solutions
- **Tiers investisseur / opérateur énergétique :** ENGIE Solutions
- **Part du tiers financement :** 100%
- **Exploitation maintenance :** ENGIE Solutions



CARTE D'IDENTITÉ DU PROJET

+600 logements

100 000 M²

Neuf

HABITATS et TERTIAIRE

PRODUCTION

Chauffage

ECS

Climatisation

RÉSULTATS

Energie de référence : gaz

95%

Taux couverture géothermie

8,3M€ d'investissement

Dont 730k€ pour la géothermie

Et 530k€ éligibles subventions ADEME

SOLUTIONS & TECHNOLOGIES

- **Solutions :** Géothermie sur nappe, réseau de chaleur et de froid (TVA 5,5%)
- **Technologie sous-sol :** 4 puits de 35 m de profondeur
- **Technologie surface :** 4 Thermo-frigo-pompes (6MW chaud et 5MW froid), chaudières numériques (ECS) et appoint Gaz (2MW) et groupe froid (2MW)
- **Technologie innovante :** stockage de glace (billes glacées à -6°C; 1,5MW)

MONTAGE CONTRACTUEL ET FINANCIER

- **Type de montage contractuel :** offre globale clé en mains financée
- **Contrat :** Concession réseau privé avec aménageur
- **Concepteur et réalisateur du clé en main / lots :** ENGIE Solutions
- **Tiers investisseur / opérateur énergétique :** Altarea, ENGIE Solutions
- **Part du tiers financement :** 100%
- **Exploitation maintenance :** ENGIE Solutions

RETOUR D'EXPÉRIENCE DE PROJET DE GÉOÉNERGIE



COMPLEXE



CARTE D'IDENTITÉ DU PROJET

+ 300 CHAMBRES

+ 20 000 M²

Réhabilitation

PRODUCTION

Chauffage

ECS

Rafraîchissement

RÉSULTATS

Energie de référence : gaz

100%

-90%

Taux couverture géothermie de décarbonation

3,1M€

d'investissement

Dont 320k€ pour la géothermie

Et 380k€ subventionnés par l'ADEME, le FEDER et la Région

SOLUTIONS & TECHNOLOGIES

- **Solutions :** Géothermie sur nappe
- **Technologie sous-sol :** 2 puits de 70 m de profondeur
- **Technologie surface :** 2 PAC géothermique de 250 kW
- **Technologie de recharge :** rafraîchissement passif par geocooling

MONTAGE CONTRACTUEL ET FINANCIER

- **Type de montage contractuel :** offre globale clé en mains
- **Contrat :** CPE
- **Concepteur et réalisateur du clé en main / lots :** ENGIE Solutions, EGIS
- **Tiers investisseur / opérateur énergétique :** ENGIE Solutions
- **Part du tiers financement :** 50%
- **Exploitation maintenance :** ENGIE Solutions



ECOLE



CARTE D'IDENTITÉ DU PROJET

1 bâtiment

3 600 M²

Réhabilitation et Neuf

ECOLE

PRODUCTION

Chauffage

ECS

Climatisation

RÉSULTATS

Energie de référence : gaz

80%

-87%

Taux couverture géothermie de décarbonation

550k€

d'investissement

Dont 265k€ pour la géothermie

Et 70k€ éligibles subventions ADEME

SOLUTIONS & TECHNOLOGIES

- **Solutions :** Géothermie sur sondes, PV en toiture, appoint secours gaz
- **Technologie sous-sol :** 5 sondes de 150 m de profondeur
- **Technologie surface :** PAC géothermique réversible 50 kW
- **Technologie d'auto-consommation :** PV 197kWc avec revente de surplus

MONTAGE CONTRACTUEL ET FINANCIER

- **Type de montage contractuel :** offre globale clé en mains
- **Contrat :** MPGP
- **Concepteur et réalisateur du clé en main / lots :** GCC, ENGIE Solutions
- **Tiers investisseur / opérateur énergétique :** ENGIE Solutions
- **Part du tiers financement :** 100%
- **Exploitation maintenance :** ENGIE Solutions

Foire aux questions

FAQ - Géoénergie, Solutions et Financements

INTRODUCTION ET CONTEXTE

Q1. Qu'est-ce que la géoénergie ?

La géoénergie utilise la chaleur du sous-sol pour produire de l'énergie thermique (chauffage ou climatisation) dans les bâtiments via des pompes à chaleur (sauf dans le cas de forage profond). Elle repose sur des technologies comme les sondes géothermiques ou l'utilisation des aquifères pour capter et stocker l'énergie.

Q2. Pourquoi choisir la géoénergie pour la décarbonation ?

Elle permet de réduire les émissions de CO₂ jusqu'à 95 %, diminue la consommation énergétique finale de 70 %, et est adaptée à une variété de bâtiments. De plus, la géoénergie offre des solutions pérennes et silencieuses, répondant aux exigences réglementaires. Enfin, la géoénergie est au global compétitive voir moins cher que les énergies fossiles et, en diminuant drastiquement la consommation d'énergie finale, elle protège fortement les consommateurs de l'inflation future des énergies fossiles.

TECHNOLOGIES DE GÉOÉNERGIE

Q3. Quels sont les types de systèmes géothermiques ?

- Champs de sondes géothermiques : Forages pour capter la chaleur du sol.
- Géoénergie sur aquifères : Exploitation de nappes phréatiques.
- Thalassothermie : Utilisation de l'énergie thermique des eaux de mer, rivière, fleuve, lacs.
- Géostockage : Stockage saisonnier de la chaleur ou du froid.
- Smartgrids thermiques : Réseaux intelligents intégrant la géoénergie.

DURÉE ET MISE EN PLACE

Q4. Quelle est la durée de mise en place d'une centrale de géoénergie ?

La mise en place de centrale de géoénergie d'une puissance de moins de 500 kW peut être réalisée en 6 à 12 mois selon la complexité du projet.

Étapes principales :

1. **Études préliminaires** (1 à 2 mois) : Analyse géologique et validation.
2. **Conception et démarches administratives** (2 à 4 mois) : Permis et dimensionnement.
3. **Forages et installations souterraines** (2 à 4 mois) : Sondes ou captages.
4. **Installation en surface et raccordement** (1 à 2 mois).
5. **Mise en service et ajustements** (1 mois).

Les centrales de géoénergie d'une puissance de plus de 500 kW nécessitent à ce jour une autorisation au regard du code minier délivré auprès des **DREAL**, sous l'autorité des Préfets de région, qui gèrent les dossiers d'autorisation et les questions réglementaires liées à l'environnement, au Code minier et aux installations industrielles.

MONTAGES FINANCIERS

Q5. Quels sont les principaux montages financiers pour la géoénergie ?

Les projets de géoénergie nécessitent des investissements initiaux importants. Voici les principaux mécanismes pour les financer :

1. Subventions publiques

- Fonds Chaleur ADEME : Financement partiel pour les études, équipements, et travaux.
- CEE (Certificats d'Économie d'Énergie) : Bonifications pour les projets d'économies d'énergie.
- FEDER et Fonds Vert : Soutien régional et européen pour les initiatives durables.

2. Contrats de tiers-financement

Le prestataire finance les installations et se rembourse sur les économies d'énergie générées.

3. Modèle EaaS (Energy as a Service)

L'opérateur prend en charge l'intégralité des coûts (conception, installation, exploitation) et facture l'énergie fournie selon une tarification convenue.

4. Contrats de performance énergétique (CPE)

Le prestataire s'engage à atteindre des objectifs d'économies mesurables. Il peut intégrer des garanties financières en fonction des résultats.

5. Marchés publics spécifiques

- **MGPE-PD (Marché Global de Performance Énergétique à Paiement Différé)** : Permet aux entités publiques de différer les paiements en s'appuyant sur les économies d'énergie générées.

6. Aides européennes et régimes de minimis

Depuis 2024, le plafond des aides de minimis a été relevé à 300 000 € sur trois exercices fiscaux, favorisant les petites entreprises.

ASPECTS FINANCIERS ET RÉGLEMENTAIRES

Q6. Qu'est-ce qu'un contrat EaaS (Energy as a Service) ?

Un modèle financier où un prestataire prend en charge la conception, l'installation, l'exploitation, la maintenance, et le financement d'une installation géoénergétique, en échange de paiements basés sur la consommation énergétique.

PERFORMANCE ET GARANTIES

Q7. Comment garantir la performance d'une installation sur le long terme ?

En établissant des Contrats de Performance Énergétique et Environnementale (CPEE) qui incluent des mécanismes de garantie pour la performance énergétique et les émissions carbone, sur des périodes de 20 à 30 ans.

Q8. Quels sont les avantages en termes de durée de vie des systèmes ?

Les installations en sous-sol, comme les champs de sondes géothermiques, ont une durée de vie de 100 ans. Les pompes à chaleur utilisées en surface peuvent durer jusqu'à 27 ans, avec un entretien adéquat.

MARCHÉS PUBLICS ET CADRES CONTRACTUELS

Q9. Qu'est-ce qu'un MGPE-PD (Marché Global de Performance Énergétique à Paiement Différé) ?

C'est un contrat public permettant de financer des installations bas carbone grâce aux économies d'énergie générées, avec des paiements différés alignés sur ces économies.

Q10. Comment la loi MOP régle-t-elle les projets publics ?

Elle définit les relations entre la maîtrise d'ouvrage publique et les prestataires privés, garantissant la qualité et le suivi des projets de construction publics.

APPLICATIONS ET RETOURS D'EXPÉRIENCE

Q11. Quels sont les secteurs adaptés à la géoénergie ?

Elle convient aux bâtiments tertiaires, résidentiels (individuels et collectifs), commerciaux, éducatifs, et de santé. Elle est aussi idéale pour anticiper la hausse des besoins en climatisation.

Q12. Principales qualités de la géoénergie

1. Durabilité et faibles émissions de CO₂ :

- La géoénergie est une source d'énergie renouvelable qui exploite la chaleur naturelle du sous-sol, garantissant des émissions de CO₂ jusqu'à 95 % inférieures par rapport aux systèmes conventionnels.
- Contribue significativement à la décarbonation des bâtiments et à la lutte contre le changement climatique.

2. Haute efficacité énergétique :

- Réduction de la consommation énergétique finale pouvant atteindre 70 à 80%, grâce à l'exploitation directe des ressources géothermiques.
- Stabilité des performances sur le long terme, quelle que soit la saison ou les fluctuations climatiques.

3. Solution pérenne :

- Longue durée de vie des installations :
 - Les infrastructures en sous-sol (sondes géothermiques) peuvent durer plus de 100 ans.
 - Les équipements en surface (pompes à chaleur) ont une durée de vie allant jusqu'à 25-30 ans avec un bon entretien.

4. Adaptabilité :

- Convient à de nombreux types de bâtiments : résidentiels (individuels et collectifs), tertiaires (bureaux, écoles), commerciaux et industriels.
- Compatible avec des systèmes à basse température, permettant des applications variées (chauffage, refroidissement, eau chaude sanitaire).

5. Discretion et faible impact esthétique :

- Les installations géothermiques, majoritairement enterrées, sont invisibles en surface, préservant ainsi l'esthétique des sites.

6. Fiabilité et indépendance énergétique :

- Source locale et constante, indépendante des fluctuations des prix des combustibles fossiles ou des importations d'énergie.
- Non intermittente (pas d'aléas climatiques), contrairement aux énergies éolienne ou solaire.

7. Adaptée aux réglementations environnementales :

- Conformité avec les exigences des stratégies bas carbone (comme la SNBC en France).
- Répond aux normes liées à la performance énergétique et aux plans de rénovation des bâtiments.

8. Flexibilité économique et possibilités de financement :

- Éligible à diverses subventions et aides financières (Fonds Chaleur ADEME, CEE, FEDER).
- Modèles contractuels innovants, tels que le EaaS (Energy as a Service) ou les CPEE (Contrats de Performance Énergétique et Environnementale).

9. Capacité à intégrer des réseaux intelligents :

- Participe aux smartgrids thermiques, optimisant l'échange de chaleur entre les bâtiments et réduisant les besoins énergétiques globaux des quartiers.

10. Réduction des nuisances sonores :

- Fonctionnement silencieux, sans émissions directes polluantes ou de particules en surface.

INSTITUTIONS ET CADRES RÉGLEMENTAIRES

AFPG (Association Française des Professionnels de la Géothermie)

L'AFPG est l'organisation qui fédère et représente les professionnels français de la géothermie : plus de 150 entités à fin 2024 présentes sur l'ensemble de la chaîne de valeur (géothermie de surface et profonde). Elle contribue également à la promotion de cette énergie renouvelable, locale et faiblement émettrice de CO₂, comme outil de souveraineté énergétique et solution de lutte contre le dérèglement climatique et d'adaptation à ses conséquences.

France Géoénergie

Le collectif France Géoénergie, initié à l'Université de la Ville de Demain et hébergé par l'AFPG (Association Française des Professionnels de la Géothermie), a pour vocation de promouvoir la géothermie de surface en facilitant l'acculturation et l'accès auprès des usagers publics et privés. France Géoénergie regroupe ainsi les utilisateurs de la géoénergie, les professionnels de la filière et les acteurs de la ville.

CSRD (Corporate Sustainability Reporting Directive)

Directive européenne visant à renforcer la transparence des entreprises sur leurs impacts environnementaux, sociaux et de gouvernance (ESG). Les grandes entreprises doivent déclarer leurs actions pour réduire leur empreinte carbone, favoriser la durabilité sociale et respecter des normes de gouvernance, ce qui influence directement le financement et la valorisation des bâtiments ou projets. La CSRD, ou directive sur la publication d'informations en matière de durabilité des entreprises, est une réglementation adoptée par l'Union européenne qui vise à renforcer la transparence et la comparabilité des rapports sur la durabilité des entreprises. Elle remplace et élargit le champ d'application de la NFRD (Non-Financial Reporting Directive).

Objectifs principaux :

- 1. Renforcer la transparence :** Imposer des standards plus stricts pour les entreprises en matière de publication d'informations liées aux impacts environnementaux, sociaux et de gouvernance (ESG).
- 2. Alignement avec les normes internationales :** Harmoniser les rapports de durabilité pour les rendre comparables à l'échelle mondiale.
- 3. Promouvoir la transition durable :** Soutenir les objectifs de l'Union européenne en matière de durabilité, notamment le Pacte Vert pour l'Europe.

Champ d'application :

La CSRD s'applique progressivement aux entreprises à partir de 2024, avec une couverture élargie :

Grandes entreprises : Celles dépassant deux des trois critères suivants :

- Un chiffre d'affaires net supérieur à 40 millions d'euros.
- Un bilan total de plus de 20 millions d'euros.
- Plus de 250 employés.

PME cotées : Concernées à partir de 2026 avec des obligations allégées.

Entreprises non européennes : Actives dans l'UE avec un chiffre d'affaires supérieur à 150 millions d'euros.

Impact attendu :

- Amélioration de la confiance des parties prenantes (investisseurs, clients, régulateurs).
- Facilitation de l'accès aux financements durables.
- Soutien aux entreprises pour mieux gérer et réduire leurs impacts négatifs sur la durabilité.

SFDR (Sustainable Finance Disclosure Regulation)

Le SFDR, ou règlement sur la publication d'informations en matière de durabilité dans le secteur des services financiers, est une réglementation européenne adoptée en 2019 et entrée en vigueur en mars 2021. Elle vise à accroître la transparence des informations liées aux impacts environnementaux, sociaux et de gouvernance (ESG) des investissements financiers.

Objectifs principaux :

- 1. Harmonisation des informations :** Standardiser la manière dont les institutions financières publient des informations sur la durabilité de leurs produits et investissements.
- 2. Lutte contre le greenwashing :** Permettre aux investisseurs d'identifier plus facilement les produits véritablement durables.
- 3. Amélioration de la transparence :** Fournir des données claires et comparables sur les impacts ESG des investissements.

Principales obligations :

1. Publication au niveau des entités :

- Les gestionnaires d'actifs et conseillers financiers doivent déclarer comment ils intègrent les risques de durabilité dans leurs décisions d'investissement.
- Transparence sur les impacts négatifs des investissements sur des critères de durabilité (appelés PAI : Principal Adverse Impacts).

2. Publication au niveau des produits :

Classification des produits financiers en trois catégories :

- Article 6 : Produits standards ne promouvant pas explicitement des caractéristiques ESG.
- Article 8 : Produits promouvant des caractéristiques environnementales ou sociales.
- Article 9 : Produits ayant des objectifs d'investissement durable spécifiques.

3. Communication renforcée : Publication d'informations sur les sites web, dans les documents précontractuels et les rapports périodiques.

Impact :

Le SFDR a transformé le paysage de la finance durable en exigeant une transparence accrue, en alignant les produits financiers sur les objectifs climatiques européens, et en renforçant la confiance des investisseurs envers les fonds durables.

OPERAT (Observatoire de la Performance Énergétique, de la Rénovation et des Actions du Tertiaire)

Plateforme numérique gérée par l'ADEME. Les gestionnaires de bâtiments tertiaires doivent y déclarer annuellement leurs consommations énergétiques, conformément au décret tertiaire. L'objectif est de suivre et réduire les consommations du secteur immobilier.

SNBC (Stratégie Nationale Bas Carbone)

Plan élaboré par le gouvernement français pour atteindre les objectifs climatiques de l'Accord de Paris. La SNBC fixe des objectifs de réduction des émissions de CO₂ dans plusieurs secteurs, dont le bâtiment, qui vise une réduction de 94 % d'ici 2050. Elle encourage l'adoption d'énergies renouvelables comme la géoénergie.

ÉNERGIE ET SYSTÈMES TECHNIQUES

Géoénergie

Énergie thermique issue du sous-sol, utilisée pour chauffer ou refroidir les bâtiments. Elle peut être exploitée via des sondes géothermiques ou des aquifères. Cette source d'énergie renouvelable réduit les émissions de CO₂ et améliore la performance énergétique des bâtiments.

Géostockage

Méthode de stockage d'énergie thermique dans le sous-sol. La chaleur collectée en été peut être réutilisée en hiver pour le chauffage, et inversement. C'est une technologie clé pour optimiser l'utilisation des énergies renouvelables dans les bâtiments.

GMI (Géothermie de Minime Importance)

Cadre réglementaire de géothermie à faible profondeur, souvent utilisé pour des maisons individuelles ou des petits immeubles mais aussi pour des bâtiments de plus grande taille. Ce système repose sur des pompes à chaleur connectées à des capteurs géothermiques installés près de la surface.

Pompe à chaleur (PAC)

Système thermodynamique qui capte la chaleur du sol, de l'air ou de l'eau pour la transférer dans un bâtiment à des fins de chauffage ou de climatisation. Les PAC sont des solutions efficaces et respectueuses de l'environnement lorsqu'elles utilisent des sources renouvelables.

Smartgrids thermiques (Boucles d'eau tempérée)

Réseaux thermiques intelligents qui permettent d'échanger de l'énergie thermique (chaleur ou froid) entre plusieurs bâtiments grâce à des circuits d'eau tempérée. Ces systèmes intègrent des énergies renouvelables pour optimiser les performances énergétiques globales.

Thalassothermie

Utilisation de l'énergie thermique des eaux de mer ou de lac pour chauffer ou refroidir des bâtiments côtiers. Cette technologie contribue à la transition énergétique des zones littorales en utilisant une ressource abondante et durable.

Rabattement de nappe

En géothermie, le rabattement désigne la baisse du niveau de la nappe phréatique ou du niveau de l'eau dans un aquifère lorsqu'il y a un prélèvement d'eau par pompage. Cette baisse est généralement mesurée par rapport au niveau statique de l'aquifère (le niveau naturel de l'eau sans pompage). Le rabattement est un paramètre clé pour évaluer l'impact d'une installation géothermique sur l'environnement et pour dimensionner correctement les équipements.

ÉCONOMIE, FINANCEMENTS ET CONTRATS

Cashflow

Le cashflow représente les flux de trésorerie générés ou consommés par une entreprise ou un projet. Il inclut les entrées (revenus, subventions) et les sorties (dépenses, investissements) d'argent sur une période donnée. Un cashflow positif indique que le projet ou l'entreprise génère des ressources financières excédentaires, tandis qu'un cashflow négatif peut signaler un besoin de financement supplémentaire.

CEE (Certificat d'Économies d'Énergie)

Dispositif réglementaire français obligeant les fournisseurs d'énergie à financer des projets de réduction de la consommation énergétique. Les particuliers, entreprises ou collectivités peuvent recevoir des primes pour leurs travaux de rénovation énergétique.

CPE (Contrat de Performance Énergétique)

Contrat entre un maître d'ouvrage et un prestataire. Ce dernier s'engage à atteindre des objectifs précis d'économies d'énergie, mesurés et vérifiables. Le prestataire peut être rémunéré en fonction des résultats obtenus, assurant ainsi la performance des travaux réalisés.

CPEE (Contrat de Performance Énergétique et Environnementale)

Évolution du CPE intégrant des engagements environnementaux, tels que la réduction des émissions de gaz à effet de serre et l'utilisation de matériaux durables. Il combine objectifs énergétiques et impacts environnementaux globaux.

EaaS (Energy as a Service)

Modèle financier permettant aux utilisateurs finaux d'accéder à des solutions énergétiques sans investissement initial. Le fournisseur gère la conception, l'installation, la maintenance et l'exploitation des équipements, garantissant une efficacité énergétique optimale.

LCOE (Levelized Cost of Energy)

Indicateur économique clé pour évaluer la compétitivité des sources d'énergie. Il représente le coût actualisé de la production d'énergie sur la durée de vie d'une installation, en tenant compte des coûts initiaux, opérationnels et de démantèlement.

Loi MOP (Maîtrise d'Ouvrage Publique)

Réglementation française encadrant les marchés publics pour garantir la qualité, la sécurité et la performance des projets. Elle s'applique notamment aux projets énergétiques et aux infrastructures.

MGP (Marché Global de Performance)

Contrat public combinant conception, réalisation, exploitation et maintenance d'un projet. Il inclut des objectifs mesurables de performance, tels que l'efficacité énergétique, et responsabilise les prestataires sur toute la durée du projet.

MGPE-PD (Marché Global de Performance Énergétique à Paiement Différé)

Variante du MGP permettant aux entités publiques de financer leurs projets grâce aux économies d'énergie générées. Les paiements sont différés et alignés sur ces économies, ce qui réduit le besoin d'investissement initial.

Minimis européens

Régime d'aides publiques plafonné à 300 000 euros sur trois exercices fiscaux depuis le 13 décembre 2023. Ce dispositif permet de financer des projets à petite échelle, notamment pour les PME, sans fausser la concurrence au sein de l'Union européenne.

Subventions (Fonds Chaleur ADEME)

Aides financières octroyées par l'ADEME pour réduire le coût des projets utilisant des énergies renouvelables comme la géothermie. Elles soutiennent la transition énergétique à l'échelle locale et nationale.

Tiers-financement

Solution où un tiers (entreprise ou organisme public) finance les travaux de rénovation énergétique et se rembourse grâce aux économies réalisées. Ce mécanisme permet de surmonter les obstacles liés au financement initial.

TRI (Taux de Rentabilité Interne)

Indicateur financier exprimé en pourcentage, utilisé pour mesurer la rentabilité d'un projet. Le TRI correspond au taux d'actualisation pour lequel la somme actualisée des flux de trésorerie (cash flow) générés par un projet est égale à l'investissement initial. Un TRI élevé indique que le projet est plus rentable.

Taux d'actualisation

Le taux d'actualisation est un pourcentage utilisé pour convertir une valeur future en une valeur équivalente actuelle, en tenant compte du temps et du risque associé. Il reflète la préférence pour l'argent disponible aujourd'hui plutôt que demain, en raison de facteurs tels que l'incertitude, l'inflation et les opportunités d'investissement alternatives.

Utilisations du taux d'actualisation :

1. Évaluation financière : Utilisé pour calculer la valeur actuelle nette (VAN) d'un projet ou d'un investissement, en comparant les flux de trésorerie futurs actualisés au coût initial de l'investissement.
2. Comparaison des projets : Permet de comparer différents projets ou investissements en tenant compte de leurs rendements futurs actualisés.
3. Analyse coût-bénéfice : Employé pour évaluer les impacts économiques et environnementaux des projets à long terme.

ENVIRONNEMENT ET QUOTAS CARBONE

CO₂ (Dioxyde de carbone)

Principal gaz à effet de serre responsable du réchauffement climatique. Les émissions de CO₂ proviennent majoritairement des combustibles fossiles, et leur réduction est un objectif central de la transition énergétique.

ETS 1 (European Trading System 1)

Système européen de quotas d'émission de CO₂ pour les industries énergivores et les compagnies aériennes. Il impose un plafond d'émissions et encourage leur réduction progressive via l'achat et l'échange de quotas.

ETS 2 (European Trading System 2)

Extension de l'ETS 1, appliquée aux secteurs des bâtiments et du transport routier. Ce mécanisme vise à intégrer de nouveaux acteurs dans les efforts de réduction des émissions de CO₂.

Calendrier de mise en œuvre :

- 2025 : Début de la surveillance et du rapportage des émissions par les fournisseurs de combustibles.
- 2027 : Entrée en vigueur complète de l'ETS 2, avec obligation pour les fournisseurs de restituer des quotas correspondant à leurs émissions.
- L'ETS 2 fonctionnera selon le principe du "cap-and-trade", où un plafond d'émissions sera fixé et diminuera progressivement pour atteindre une réduction de 42 % des émissions d'ici 2030 par rapport aux niveaux de 2005.
- Les fournisseurs de combustibles devront acheter des quotas aux enchères pour couvrir leurs émissions, ce qui devrait inciter à une transition vers des énergies plus propres.
- Une partie des revenus générés par l'ETS 2 sera affectée au Fonds social pour le climat, destiné à soutenir les ménages vulnérables et les micro-entreprises dans leur transition énergétique.

Le Système d'Échange de Quotas d'Émission 2 (SEQE-UE 2), également connu sous le nom d'ETS 2, est prévu pour être pleinement opérationnel en 2027.

Les prévisions concernant le prix du carbone de l'ETS 2 varient selon les sources. Selon une analyse de Vertis, les prix pourraient être de 68 € à 300 € par tonne de CO₂ renchérissement considérablement le prix du gaz^{4 5}

GESTION DE PROJETS ET RESPONSABILITÉS

ESG (Environnement, Social et Gouvernance)

Critères utilisés pour évaluer la durabilité des entreprises.

- Environnement : gestion des ressources, réduction des émissions de CO₂.
- Social : bien-être des employés, égalité des chances, impact sur les communautés.
- Gouvernance : pratiques éthiques, transparence, indépendance des organes de gestion.

MOA (Maîtrise d'Ouvrage)

Représente le commanditaire d'un projet. La MOA définit les objectifs, les besoins, et veille à ce que le projet respecte les délais, le budget, et la qualité attendue.

MOE (Maîtrise d'Œuvre)

Entité responsable de la conception, du suivi et de la réalisation technique d'un projet, en conformité avec les attentes définies par la MOA.

⁴ https://climate.ec.europa.eu/eu-action/eu-emissions-trading-system-eu-ets/ets2-buildings-road-transport-and-additional-sectors_en

⁵ <https://www.homaio.com/fr/post/quelle-est-la-prevision-des-prix-eu-ets-2-pour-2030>

PERFORMANCE ÉNERGÉTIQUE

SCOP (Seasonal Coefficient of Performance)

Indicateur de performance énergétique des pompes à chaleur, mesurant le rapport entre l'énergie produite pour le chauffage et l'énergie consommée sur une saison entière. Plus le SCOP est élevé, meilleure est l'efficacité.

SEER (Seasonal Energy Efficiency Ratio)

Indicateur de performance énergétique des systèmes de climatisation, calculant l'efficacité énergétique pour le refroidissement sur une saison complète. Un SEER élevé signifie une consommation moindre pour une même performance.

ANNEXES

LES DONNÉES D'ENTRÉES POUR LE CALCUL DU LCOE DES PRODUCTIONS DE GÉOÉNERGIE

LCOE Géo-Energie 2023 Production thermique - Données d'entrées	SONDES		AQUIFERE	
	<130 kW	>250 kW	<130 kW	>250 kW
SCOP	4,2		5,5	
Durée des productions	1 800		2 100	
Coût d'une Kw de géo-énergie (sans pointe) (€/kw)	3 917	2 654	2 983	2 654
Taux d'actualisation d'un investissement porté par la maîtrise d'ouvrage (%)	5,2%		5,2%	
Taux d'actualisation d'un investissement porté par un tiers financeur (%)	7,0%		7,0%	
Durée de vie installation en sous sol (années)	50		20	
Durée de vie chaufferie PAC géo (années)	25		20	
Charge d'exploitation (€/kW/an)	5	3,5	25	
Charge d'énergie primaire (Electricité - en €/Mwh)	151,55	144,00	151,55	144,00

LES TAUX D'ACTUALISATION RETENU EN FONCTION DES STRATÉGIES DE FINANCEMENT

GEO-ENERGIE			
	Financement porté sur le bilan de la maîtrise d'ouvrage	Financement partiellement porté par un tiers financeur	Financement complet porté par un industriel énergétique tiers financeur (garantie totale)
CALCUL DU TAUX D'ACTUALISATION - %			
Apports en capitaux propres	20%	20%	0%
Capitaux empruntés	80%	0%	0%
Tiers financeurs	0%	80%	100%
Taux de rémunération capitaux propres (%)	7,0	7,0	7,0
Taux de rémunération des capitaux empruntés (%)	3,5	3,5	3,5
Taux de rémunération Tiers financeurs (%)	7	7	7
Taux de risque (%)	1,0	1,0	-
CMPC en fonction de la structure de financement (%)	5,2	8,0	7,0

ANNEXES

Taux d'actualisation retenu par filière par l'ADEME 2022

Taux d'actualisation retenu par filière et par année (en %)

Filière/technologie		2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
Electricité												
Eolien terrestre	TA	7%	6%	6%	6%	5%	5%	5%	4%	4%	4%	4%
	dont risque	1%	1%	1%	1%	1%	1%	1%	1%	1%	1%	1%
Photovoltaïque centrales au sol	TA	6%	6%	6%	6%	5%	5%	5%	4%	4%	4%	4%
	dont risque	1%	1%	1%	1%	1%	1%	1%	1%	1%	1%	1%
Photovoltaïques sur grandes toitures	TA	6%	6%	6%	6%	6%	6%	5%	5%	5%	5%	5%
	dont risque	1%	1%	1%	1%	1%	1%	1%	1%	1%	1%	1%
Photovoltaïque petites et moyennes toitures	TA	6%	6%	6%	6%	6%	6%	5%	5%	5%	5%	5%
	dont risque	1%	1%	1%	1%	1%	1%	1%	1%	1%	1%	1%
Hydraulique	TA					6%	6%	5%	5%	5%	5%	5%
	dont risque					1%	1%	1%	1%	1%	1%	1%
CCGT Gaz	TA	6%	6%	6%	6%	5%	5%	5%	4%	4%	4%	4%
	dont risque	1%	1%	1%	1%	1%	1%	1%	1%	1%	1%	1%
Chaleur dans le collectif ou l'industrie												
Géothermie de surface	TA	6%	6%	6%	6%	5%	5%	5%	4%	4%	4%	4%
	dont risque	1%	1%	1%	1%	1%	1%	1%	1%	1%	1%	1%
Géothermie profonde	TA						5%	4%	4%	4%	4%	4%
	dont risque						1%	1%	1%	1%	1%	1%
Biomasse dans le collectif	TA	8%	8%	8%	8%	8%	8%	7%	7%	7%	7%	7%
	dont risque	3%	3%	3%	3%	3%	3%	3%	3%	3%	3%	3%
Biomasse dans l'industrie	TA	10%	9%	9%	9%	9%	9%	8%	8%	8%	8%	8%
	dont risque	4%	4%	4%	4%	4%	4%	4%	4%	4%	4%	4%
Solaire thermique sur toitures	TA	7%	6%	6%	6%	6%	6%	5%	5%	5%	5%	5%
	dont risque	1%	1%	1%	1%	1%	1%	1%	1%	1%	1%	1%
Solaire thermique au sol	TA						7%	6%	6%	6%	6%	6%
	dont risque						2%	2%	2%	2%	2%	2%
Traitement CSR	TA							8%	8%	8%	8%	8%
	dont risque							4%	4%	4%	4%	4%
Chaudières au gaz	TA	5%	5%	5%	5%	4%	4%	4%	3%	3%	3%	3%
Biogaz												
Cogénération et injection	TA	11%	10%	10%	10%	10%	9%	8%	8%	8%	8%	8%
	dont risque	5%	5%	5%	5%	5%	4%	4%	4%	4%	4%	4%

ANNEXES

Calcul du LCOE des REX

Caractéristique technique et performantiel de la centrale	Zone de saisie des données de votre REX	
Nature du bâtiment	Tertiaire	
Technologie	Sondes	
Puissance géothermique installé	KW	
Puissance avec pointe	KW	
SCOP géoénergie		
Production calorifique hors pointe	MWh	
Production frigorifique	MWh	
Production d'énergie hors pointe	MWh	
Production d'énergie avec pointe	MWh	
Consommation électrique	MWh	
Ration production énergie par Kw	Mwh/Kw/an	

Coût du projet et de la centrale

	Total	€/kw	%
Coût total du projet avec pointe	2 079 942	3 852	
Dont centrale de géoénergie		2 611	68%
Dont coût de l'upgrade batimentaire et de pointe		1 241	32%
Coût total de la centrale de géoénergie	1 409 942	2 611	
Dont coût de la surface (hors pointe)		1 699	65%
Dont coût des forages en sous-sol		912	35%
Subventions fonds chaleur		914	35%
Autres subventions et CEE			
Capex de la centrale de géoénergie Net de subvention	916 462	1 697	

Coût des charges variables

Prix du Mwh électrique (inclus abonnement)	€/Mwh	
Prix du service d'exploitation maintenance - P2	€/kw/an	

ANNEXES

Calcul du Taux d'Actualisation

	Proportion %	Taux %	CMPC
Coût Moyen Pondéré Capital CMPC			
Apport financier sur fond propre du client			7,00 %
Apport financier du client via de l'emprunt			7,00 %
Apport tiers financiers			7,00 %
	Type CPE	Taux risque	
Taux de risque			
1 - Sans CPE		0,00%	
2 - Avec CPE capé sur l'exploitation maintenance		0,00%	
3 - Avec CPE garantie totale		0,00%	
Taux d'actualisation du projet		7,00%	

Calcul du coût complet de l'énergie

Coût Sous sol	20,4
Coût surface	38,1
Coût maintenance	1,7
Coût de l'énergie	30,2
COUT COMPLET DE L'ENERGIE (LCOE) €/MWh HT	90,4

RÉFÉRENCES DOCUMENTAIRES

Accord de Paris

<https://unfccc.int/fr/process-and-meetings/the-paris-agreement/the-paris-agreement>

GIEC - Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat

<https://www.ipcc.ch/>

SNBC - Stratégie Nationale Bas Carbone

<https://www.ecologie.gouv.fr/strategie-nationale-bas-carbone-snbc>

ETS - European Trading System

https://ec.europa.eu/clima/policies/ets_fr

CSRD - Corporate Sustainability Reporting Directive

<https://ec.europa.eu/info/law/better-regulation/have-your-say/initiatives/12531-Corporate-Sustainability-Reporting-Directive-revision-en>

SFDR - Sustainable Finance Disclosure Regulation

https://ec.europa.eu/info/business-economy-euro/banking-and-finance/sustainable-finance/sustainable-finance-disclosure-regulation-sfdr_en

Loi Climat et Résilience

<https://www.ecologie.gouv.fr/loi-climat-resilience-ce-qui-change-pratique>

Plateforme OPERAT

<https://www.operat.fr/>

Le marché global de performance énergétique à paiement différé :

Nouvel outil contractuel pour la rénovation des bâtiments publics

Le blog du droit des contrats publics (efe.fr) <https://droit-des-contrats-publics.efe.fr/2024/02/23/le-marche-global-de-performance-energetique-a-paiement-differe-nouvel-outil-contractuel-pour-la-renovation-des-batiments-publics/>

Rapport sur la géothermie de surface du Haut-commissariat au Plan

<https://www.info.gouv.fr/actualite/responsabilite-climatique-la-geothermie-de-surface-une-arme-puissante>

Rapport sur le stockage intersaisonnier de l'académie des technologies

<https://www.academie-technologies.fr/publications/le-stockage-intersaisonnier-de-chaaleur-un-atout-pour-le-climat-et-la-souverainete/>

ANNUAIRE DES ACTEURS DE LA GÉOÉNERGIE

Pour que cette liste soit parfaitement à jour, nous vous renvoyons vers l'annuaire de l'AFPG Adhérents Archive - AFPG

Voici la liste des acteurs de la géoénergie classé par compétence

LES CONSEILS DES MAITRISES D'OUVRAGE

- Conseil juridique AMO pour un achat de centrale de géoénergie par lot séparés,
- Conseil juridique AMO pour un achat de solution clé en main avec contrat de performance avec ou sans financement sur les marchés privés,
- Conseil juridique AMO pour un achat de solution clé en main avec contrat de performance pour les marchés publics avec ou sans financement (MGPEPD),
- Conseil spécialisé dans la cartographie des potentialités géothermique d'un parc immobilier
- Conseil technique pour définir les spécifications techniques d'un site pour l'équiper d'une centrale de géoénergie

LES CONCEPTEURS ET REALISATEURS DE CENTRALES CLES EN MAIN

- Les concepteurs & réalisateur de solution clé en main,
- Les concepteurs & réalisateur de solution clé en main et exploité dans le cadre de CPE,
- Les concepteurs & réalisateur de solution clé en main, exploités en CPE et financés,

LES CONCEPTEURS

- Bureaux d'études spécialisé en géoénergie sur sonde
- Bureaux d'études spécialisé en géoénergie sur nappe
- Bureau d'étude spécialisé en en géoénergie en géostockage

LES REALISATEURS

- Les Foreurs de sondes
- Les foreurs spécialisés sur les forages sur nappes
- Les Fabricants de pompe à chaleur
- Les fabricants de plancher chauffant

LES EXPLOITANTS MAINTENEUR

- Les exploitants mainteneurs spécialisés dans l'exploitation et la maintenance des champs de sonde,
- Les exploitants mainteneurs spécialisés dans l'exploitation et la maintenance de solution de géostockage,
- Les exploitants mainteneurs spécialisés dans l'exploitation et la maintenance de centrale de géoénergie sur aquifère

LES TIERS FINANCIERS DE CENTRALES DE GEO-ENERGIE

LES BUREAUX D'ETUDES SPÉCIALISÉS DANS LE SUIVI ET LE CONTROLE

CONTRIBUTEURS ET REMERCIEMENTS

Sous la direction de **Pierre TRÉMOLIÈRES**
Co-délégué général de France Géoénergie
CEO de Accenta

Dimitri AYMARD – ENGIE SOLUTIONS
Jean BARON – KYOTHERM
Emma BARSELOTTI – CELSIUS ENERGY
Quentin BARRAL – ACCENTA
Victor BERRIOS – EGIS GROUP
Constance BERNARD – COM'PUBLICS
Jérôme BERTRAND – VINCI CONSTRUCTIONS
Juliette BIZOT – COM'PUBLICS
Christian BOISSAVY – CABINET BOISSAVY
Rémi CHAMPIGNY – ALEC MB33
Emmanuel DJIAN – VINCI CONSTRUCTIONS
Louis DEGAULMY – ARVERNE
Louis FLAMANT – DRILLHEAT
Emmanuel GALIS – FONDASOL
Nicolas GARAPON – MANERGY
Laetitia GEORGE – ADP
Thibault GUILHEM – IDEX
Bérengère LANNEAU – FEDENE
Jean-Loup LACROIX – STRATEGEO
Armelle LANGLOIS – VINCI CONSTRUCTIONS
Florence LAVRARD – EGIS
William LENGLET – ECOLE POLYTECHNIQUE
Aude LEVEQUE – OCEA SMART BUILDING
Philippe LESOIL – MAIA ENERGIES
Christophe LUTTMANN – AFPG
Xavier MOCH – AFPG
David OUARY – FONDASOL
Jean-François PERRET – EON
Mathilde PRONIER – COM'PUBLICS
Thibault REMY – DALKIA
Giovanni SOSIO – CELSIUS ENERGY
Eric TREVOIZAN – IDEX
Justine TOSTIN – DALKIA
Sandrine VERGNE – EUROVIA



France Géoénergie

La géothermie de surface
pour chauffer et rafraîchir
tous les bâtiments

CONTACT

Virginie Schmidlé Déléguée générale AFPG

virginie.schmidle@afpg.asso.fr

07 86 58 67 17

francegeoenergie@gmail.com