

CAHIER DES CLAUSES TECHNIQUES PARTICULIÈRES

**MARCHE AUDIT ET POTENTIELS EnR (SOLAIRE, MULTI EnR, GEOTHERMIE
ET BOIS)
REALISATION D'ETUDES D'OPPORTUNITE, DE FAISABILITE
REALISATION D'AUDITS ENERGETIQUES**

**LOT 5 : ETUDE DE FAISABILITE SUR LA MISE EN PLACE DE POMPE(S) A CHALEUR
GEOTHERMIQUE(S) SUR AQUIFERE SUPERFICIEL OU SUR CHAMP DE SONDES**

Grand Besançon Métropole
4 rue Gabriel Plançon
25043 BESANCON
Tél : 0381878889

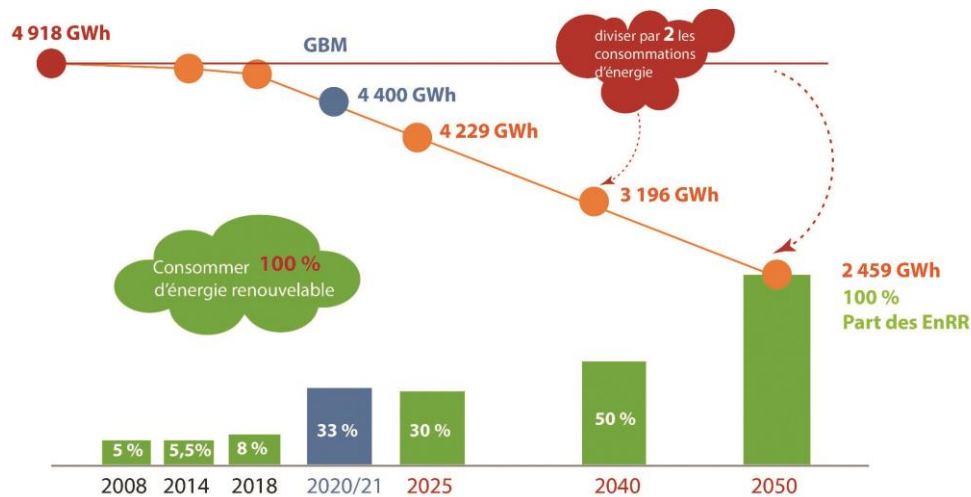


<u>Sommaire</u>	Page
Article 1 : CONTEXTE ET OBJECTIFS	3
Article 2 : OBJET DE LA CONSULTATION	4
Article 3 : EXIGENCES SUR LE PRESTATAIRE	5
Article 4 : CONTENU ET DEROULE DE LA PRESTATION DU MARCHE SUBSEQUENT	8
Lot 5 : Etude de faisabilité PAC à chaleur Géothermique	10
B.1- Phase 1 : Description générale de l'opération	10
B.2- Phase 2 : Etude des besoins thermiques (référence selon "DTU")	10
B.3- Phase 3 : Caractérisation des ressources géothermiques	11
B.4 - Phase 4 : Adéquation des besoins en surface / ressources sous-sol et choix des équipements	13
B.5- Phase 5 : Bilans énergétiques	16
B.6- Phase 6 : Bilans économique	17
B.7- Phase 7 : Bilan environnemental	18
B.8- Phase 8 : Conclusions	18
Article 8 : CONTROLE	18
Article 7: CESSION DES DROITS D'UTILISATION DES DOCUMENTS	18
Annexe	19

Article 1 CONTEXTE ET OBJECTIFS

La démarche de Grand Besançon Métropole :

Grand Besançon Métropole a adopté son Plan Climat Air Energie Territorial 2024-2029 dans lequel, la collectivité s'engage à devenir un territoire à énergie positive en 2050. Pour y parvenir, le territoire doit diviser sa facture énergétique par deux et développer ses énergies renouvelables.



Grand Besançon Métropole a missionné un bureau d'étude, pour réaliser une étude de potentiel des économies d'énergie et de développement des énergies renouvelables, qui a mis en évidence que la filière du solaire photovoltaïque et/ou thermique, la géothermie ainsi que le bois énergie, devaient être mieux exploités sur notre territoire.

Par ailleurs, Grand Besançon Métropole est doté de conseillers en énergie partagé (CEP) qui accompagnent les communes pour réaliser des économies d'énergie, des économies financières et développer les énergies renouvelables au sein des bâtiments communaux. Les prestataires devront travailler en lien avec les CEP dès lors qu'ils auront un bâtiment communal à diagnostiquer.

Afin d'avoir un réel rôle incitatif, Grand Besançon Métropole propose différentes études, audits énergétiques, études de faisabilité, tant aux communes qu'aux entreprises de son territoire pour les aider à franchir le pas de la rénovation, des ENR, et massifier leurs installations sur le territoire.

Ce cahier des charges fournit la trame à suivre pour la rédaction d'une étude entièrement dédiée à chaque projet. Les informations devront être le plus détaillées possibles. Les hypothèses de calcul ainsi que les éventuels logiciels utilisés seront clairement indiqués. L'ajout d'éléments (tableau, graphique, photos, etc...) permettant d'améliorer la compréhension de l'étude est vivement encouragé.

Objectifs de la mission

L'objectif de l'étude est de proposer aux communes et entreprises volontaires un outil d'aide à la décision pour l'installation d'énergies renouvelables dans leur patrimoine.

L'étude de faisabilité doit apporter au porteur de projet les éléments techniques, économiques, réglementaires et environnementaux lui permettant de se déterminer sur la faisabilité d'une telle opération. Elle requiert des compétences en sous-sol (hydrogéologie) et en thermique et a donc pour objectifs de :

- Vérifier la faisabilité technique et économique du projet d'implantation d'une installation de pompe à chaleur géothermique.
- Vérifier la compatibilité du projet avec le schéma directeur d'Aménagement et de Gestion des eaux (SDAGE) plus particulièrement sur les bassins pour lesquels ce SDAGE définit des nappes réservées à l'eau potable et des dispositions particulières relatives à la géothermie (par exemple bassins Loire Bretagne et en région Centre Val de Loire, ...).
- Proposer des solutions techniques adaptées au contexte et aux possibilités qu'offre le site.
- Comparer la solution géothermique aux autres possibilités en termes d'investissement, d'exploitation et d'impacts environnementaux.
- Etudier les solutions en matière de montage financier et juridique.

Toute l'analyse devra être effectuée avec un souci d'Utilisation Rationnelle de l'Energie (URE).

Les données thermiques devront être présentées selon les dénominations suivantes :

- la consommation d'énergie « utile » (Eu) qui est la part d'énergie servant effectivement à l'usage voulu par le consommateur (chaleur, lumière, force motrice)
- la consommation d'énergie « finale » (Ef) qui est la quantité d'énergie mesurée au compteur du consommateur (compteur électrique, gaz, pompe à essence, ...)
- la consommation d'énergie « primaire » (Ep) qui est la quantité d'énergie qu'il a fallu prendre dans la nature, transformer sous la forme utilisable par le consommateur et la transporter jusqu'à lui (le coefficient de conversion de l'énergie électrique en énergie primaire sera considéré égal à celui de la réglementation thermique soit 2,3).

Les conclusions des études réalisées seront présentées sous forme d'un rapport de synthèse, préciseront et hiérarchiseront l'ensemble des actions pouvant être réalisées. (Décrit plus loin)

Article 2 OBJET DE LA CONSULTATION

La mission confiée au prestataire consiste donc en la réalisation d'études différentes (études d'opportunité, études de faisabilité) qui seront enclenchées par bon de commande en fonction des besoins des futurs maîtres d'ouvrages potentiel (commune de X, entreprise Y....).

Le territoire d'intervention est celui de la Communauté Urbaine (67 communes).

Il s'agit d'un accord-cadre **avec 3 titulaires maximum** par lot. L'ensemble des prestations susceptibles d'être commandées est soumis au montant maximum du lot concerné (cf. Acte d'engagement).

Chaque étude fera l'objet d'un marché subséquent. Les services de la communauté urbaine pourront fournir les **études d'opportunité lorsqu'elles seront réalisées en interne**.

Article 3 EXIGENCES SUR LE PRESTATAIRE

EXIGENCES DE L'ADEME SUR LE PRESTATAIRE (cf. chapitre PRESTATAIRES D'ETUDES)

Conformément au dispositif d'aide à la décision validé par le Conseil d'Administration de l'ADEME le 23 octobre 2014, les aides pour la prestation correspondant à ce cahier des charges ne pourront être accordées, que si le prestataire détient un référencement bénéficiant de la reconnaissance RGE¹ (OPQIBI 20.13 ou OPQIBI 10.07) ou s'il peut attester de conditions équivalentes.

¹ *Reconnu Garant de l'Environnement : charte signée avec l'ADEME, le Ministère de l'Ecologie, du Développement*

Durable et de l'Energie et le Ministère de l'Egalité des territoires et du Logement. Elle concerne les signes de qualité (qualifications ou certifications) délivrés aux professionnels réalisant des prestations intellectuelles concourant à la performance énergétique des bâtiments et des installations d'énergie renouvelable.

OPQIBI 20.13 ou qualification équivalente : le bureau d'étude (BE) qui réalise l'ingénierie de conception et/ou l'ingénierie de réalisation.

OPQIBI 10.07 ou qualification équivalente : le bureau d'étude (BE) qui réalise l'étude des ressources géothermiques.

Grand Besançon Métropole recherche des titulaires ayant les compétences suivantes :

☞ **Compétences requises du prestataire**

Ce diagnostic sera réalisé par un **technicien du bâtiment confirmé**, par exemple un **bureau d'étude thermique** pour l'aspect énergétique du diagnostic, associé à un **architecte** pour sa connaissance du parc bâti et sa vision globale sur le bâtiment notamment si les travaux entraînent des modifications majeures des aspects des façades. Le prestataire pourra également s'entourer de la compétence d'un économiste, afin d'estimer financièrement les différentes préconisations réalisées en matière de travaux.

Un diagnostic complémentaire ponctuel portant sur un élément spécifique du bâtiment (installations techniques, aspect réglementaire, structures, étanchéité à l'air) pourra être confié à un sous-traitant (**bureau d'études technique, AMO**).

☞ **Compétences générales requises :**

- capacité d'analyse critique qualitative et quantitative pour aborder des améliorations opportunes, identifier les sources et conditions d'aides financières éventuels ;
- capacité relationnelle avec les usagers et les décideurs du projet pour recueillir toutes les informations nécessaires et coordonner les différents décisionnaires,
- indépendance sur le plan commercial,
- connaissances techniques des réglementations liées au secteur du bâtiment (expertise législative, réglementation thermique, réglementation du bâtiment, contraintes patrimoniales ...).
- Connaissances des dispositifs d'accompagnements techniques et financiers (de la région Bourgogne Franche Comté, de l'ADEME, du Sydeed, du Grand Besançon Métropole, des aides effinergie, des aides effilogis, ...)

Compétences thermiques

- connaissances théoriques relatives à la thermique du bâtiment, y compris les réglementations thermiques actuelles dans l'existant, les objectifs de performance des bâtiments basse consommation et les logiciels thermiques réglementaires,
- connaissances technique et pratique des bâtiments existants et de leurs équipements, notamment les spécificités liées à la rénovation BBC,
- connaissances générales et techniques des caractéristiques hygrothermiques des matériaux et des systèmes constructifs anciens (notamment des constructions d'avant 1948).

Compétences dans le domaine de la construction

- connaissance structurelle des bâtiments existants, des principales pathologies rencontrées sur les bâtiments existants,
- connaissances générales et contextuelles en architecture, notamment dans le cas de modifications de toiture, ou dans le cas de monuments classés ou de sites classés.
- connaissances dans le domaine des matériaux biosourcés.

Le prestataire devra désigner un chef de projet qui sera l'interlocuteur unique auprès du maître d'ouvrage et du comité de pilotage pendant toute la durée de l'étude

Restitution

A l'issue de la mission, le prestataire restitue clairement les résultats de la prestation au commanditaire. Cette restitution doit permettre une appropriation complète des résultats par les services de Grand Besançon Métropole.

Le rapport final définitif est élaboré après validation du rapport intermédiaire par les services de conseiller en énergie partagé de Grand Besançon Métropole et sera remis au format numérique (Word, Excel) plus 1 exemplaire papier.

A l'issue de la mission, le prestataire transmet également le résultat de l'étude par l'utilisation du portail Internet **DIAGADEME** (www.diagademe.fr)

Le prestataire s'engage à ne pas diffuser les rapports d'expertise sans autorisation du maître d'ouvrage.

Délais

Les délais maximum autorisés seront de quatre-vingt jours (80) calendaires pour le **LOT 5**. Ce délai débute à la date de notification du marché subséquent au titulaire jusqu'à la restitution du rapport finale et/ou réunion de présentation.

Qualités du rapport

Cette étude préalable doit réunir les qualités suivantes : rigueur du raisonnement et des calculs, exhaustivité des analyses et des propositions et indépendance vis à vis de considérations commerciales, qu'il s'agisse de marques d'équipements ou de nature d'énergie.

Le rapport, qui doit comporter deux parties, l'une complète (rapport détaillé d'audit, outils de suivi et gestion), puis une fiche de synthèse par bâtiment.

Il devra :

- Etre clair et lisible pour faciliter la décision et inciter aux travaux,
- Donner l'avis de l'énergéticien, un conseil d'individu à individu par quelqu'un qui a passé du temps sur place, qui a rencontré les hommes chargés de l'entretien ou de la gestion,
- Fournir une vision claire de l'image énergétique du ou des bâtiments,
- Fournir des informations suffisantes pour la réalisation des travaux préconisés et donc pour la consultation d'entreprises devant fournir des devis,
- Illustrer les recommandations de photos, de tableaux ou des diagrammes permettant une bonne compréhension des actions à engager et de leurs importances,
- Comporter des annexes techniques suffisamment complètes (pour vérifier un mètre par exemple),
- Mentionner les hypothèses et les valeurs de références utilisées pour la réalisation des études énergétiques et l'évaluation des économies financières,
- Proposer des améliorations conformes aux exigences de performance énergétique réglementaires minimales mais également des programmes plus ambitieux permettant d'atteindre des performances énergétiques renforcées notamment le niveau de performance énergétique BBC-Effinergie,
- Proposer plusieurs niveaux de lecture pour permettre à un maître d'ouvrage non technicien une bonne compréhension des enjeux et des travaux à engager,
- Etre remis en mains propres et commenté.

L'ADEME souhaite contribuer, avec ses partenaires institutionnels et techniques, à promouvoir la diffusion des bonnes pratiques sur les thématiques énergies et environnement. Pour cela, son dispositif de soutien **aux études d'aide à la décision** (pré-diagnostics, diagnostics, étude de projets) est ouvert aux entreprises, aux collectivités et plus généralement à tous les bénéficiaires intervenant tant dans le champ concurrentiel que non concurrentiel, à l'exclusion des particuliers.

Dans le cadre de son **dispositif d'aide à la décision**, l'ADEME soutient financièrement les études avec un **objectif de qualité et d'efficacité** pour le bénéficiaire afin de lui permettre de réaliser sa transition énergétique.

Les Cahiers des Charges de l'ADEME

Les cahiers des charges / guide pour la rédaction d'un cahier des charges de l'ADEME définissent le contenu des études que l'ADEME peut soutenir. Chaque étude est conduite par une société de conseils ci-après dénommée « le prestataire conseil » ou « Bureau d'études », pour un client ci-après dénommée « le bénéficiaire » ou le « Maître d'ouvrage ».

Le suivi technique de l'ADEME

L'ADEME assure un conseil technique et un suivi de la prestation.

Pour ce faire, l'aide de l'ADEME implique une transmission des résultats de l'étude.

La confidentialité de ces informations est garantie par l'utilisation des codes d'accès strictement personnels. Les informations ne sont accessibles que par l'ADEME, le prestataire et bénéficiaire du soutien de l'ADEME.

Contrôle – Bilan des études financées par l'ADEME

L'étude, une fois réalisée pourra faire l'objet- ce n'est pas systématique- d'un contrôle approfondi ou d'être analysée dans le cadre d'un bilan réalisé par l'ADEME. Eventuellement un contrôle sur site pourra être mené par un expert mandaté par l'ADEME afin de juger de la qualité de l'étude, de l'objectivité du rapport, de ses résultats, etc. Dans tous les cas, le bénéficiaire (commune ou entreprise) et/ou le titulaire pourront alors être interrogés sur l'étude et ses conséquences.

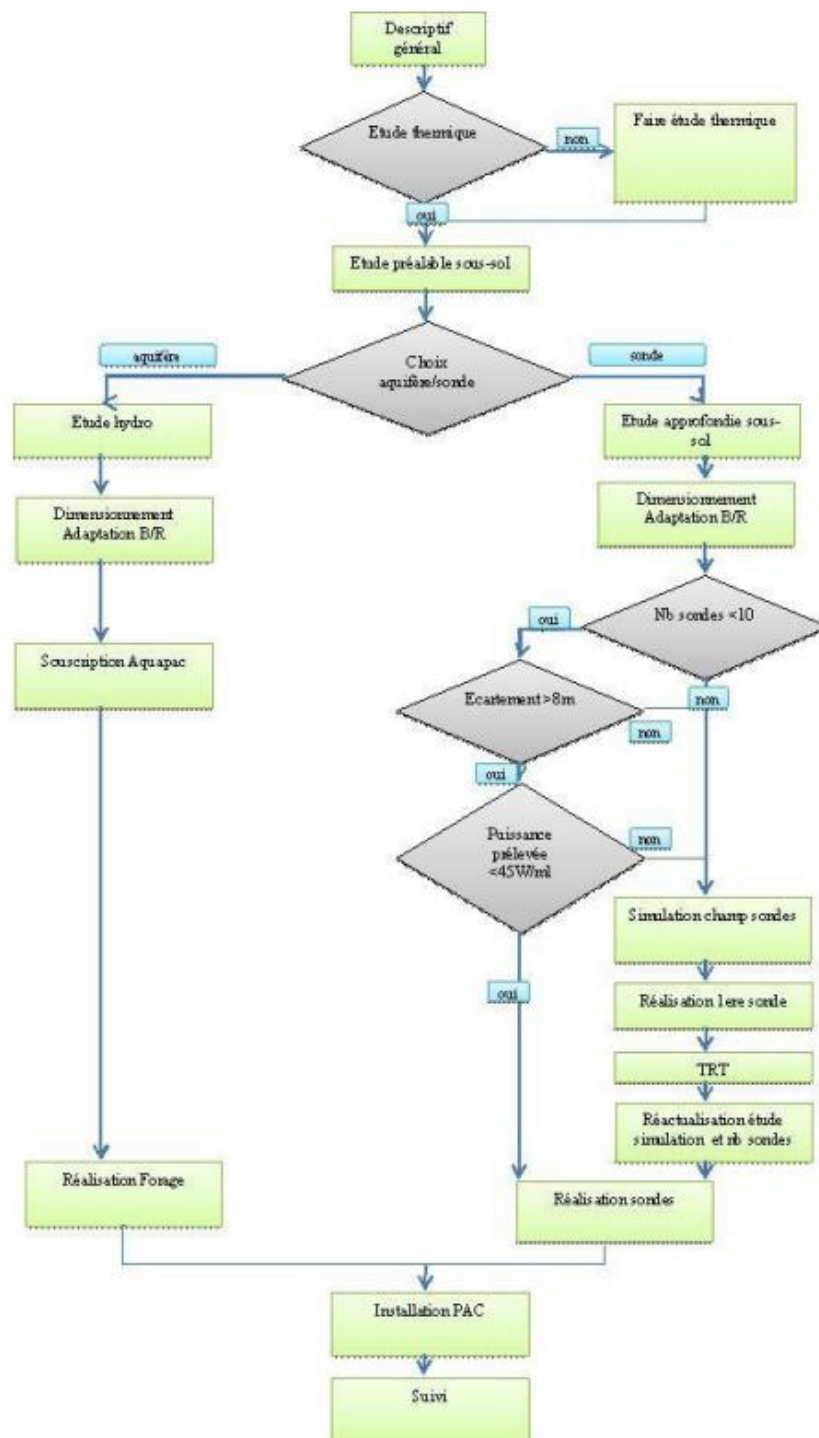
Le présent document précise le contenu et les modalités de réalisation et de restitution de l'étude qui seront effectués par un intervenant extérieur au bénéficiaire de l'aide de l'ADEME.

Pour tous les bâtiments existants est exigée une analyse énergétique des consommations définissant le ou les programmes de travaux pour améliorer la performance du bâtiment (dont les équipements utilisant les EnR). Cette analyse énergétique a pour objectif de sensibiliser les maîtres d'ouvrage aux investissements énergétiques les plus pertinents du point de vue économique et environnemental. Il n'y a pas de caractère obligatoire aux recommandations qui en découleraient.

Pour les bâtiments neufs et pour les bâtiments existants, pour lesquels la réglementation thermique et environnementale concernant la réhabilitation s'applique, les aides ne doivent pas simplement permettre le respect de cette réglementation. Elles doivent permettre d'obtenir des bâtiments de performance significativement supérieure à la réglementation en vigueur.

ARTICLE 4 CONTENU ET DEROULE DE LA PRESTATIONS DU MARCHÉ SUBSEQUENT

Dans le cas où l'étude d'opportunité est positive, l'étude de faisabilité sera réalisée en concertation avec le comité de pilotage et comprendra tous les éléments nécessaires pour permettre au maître d'ouvrage de prendre une décision éventuelle d'engagement de travaux. Ces études seront donc de niveau APS (avant-projet sommaire). Elles se dérouleront selon le logigramme suivant :



« B/R » signifie « Besoins/Ressources »

LOT 5 : Etude de faisabilité PAC Géothermie

B.1- Phase 1 : Description générale de l'opération :

L'étude doit comporter les éléments suivants :

1. Informations générales :

- . Situation et coordonnées du maître d'ouvrage
- . Responsable du projet (fonction et coordonnées)
- . Partenaires et associés (collectivités, organismes publics, industriels, ...)
- . Bureaux d'études chargés de l'étude de faisabilité qualifiés RGE (surface et sous-sol)
- . Contexte du projet (motivation, études préalables éventuelles, potentiel géologique local, contexte urbanistique et socio-économique, choix politiques et environnementaux, ...)

2. Périmètre concerné par l'opération

- Description détaillée du (ou des) bâtiment(s) actuel(s) et futur(s) et de leur environnement proche (joindre plan de masse et extrait du cadastre).
- Localisation, orientation et identification sur un plan (le cas échéant extensions futures).
- Usage et occupation du ou (des) bâtiment(s) : logements (type, nombre de logements), bureaux, commerces, locaux industriels, ...
- Propriétaire(s) des bâtiments
- Année de construction et éventuellement de réhabilitation
- Projets d'urbanisation et de réhabilitation (importance et planning)

Pour cette première phase, le titulaire veillera à reprendre les éléments fournis par le maître d'ouvrage et son architecte, à les compléter et à présenter une analyse critique détaillée

B.2- Phase 2 : Etude des besoins thermiques (référence selon "DTU")

Les besoins thermiques seront étudiés selon les règles de l'art inscrites dans les normes NF DTU (*Document technique unifié*).

Pour les bâtiments existants, l'étude des besoins thermiques inclura un volet URE Utilisation Rationnelle de l'Energie dont la méthodologie est décrite en Annexe 1 :. Cette étude prendra également en compte les exigences DEET (bâtiments soumis au dispositif Eco-Energie tertiaire) pour la rénovation.

Pour les bâtiments neufs, l'étude des besoins thermiques se basera sur une synthèse des calculs RE 2020 (Bbio, Cep, nr, Ic-énergie ...).

Seront étudiés les points suivants :

- Caractéristiques thermiques et données techniques de base du (ou des) bâtiment(s) et locaux : surface, volume, orientation, isolation, surface vitrée, renouvellement d'air, période de fonctionnement, etc.
- Détermination des besoins énergétiques prévisionnels annuels (chauffage, froid, ECS).
- Courbe monotone des puissances de chauffage, de froid et d'ECS appelées sur l'année.
- Détermination de la puissance totale à installer et à ventiler par type de production (PAC, appoint).
- Comparatif thermique de ce(s) bâtiment(s) par rapport à la réglementation thermique (RT) en vigueur pour les bâtiments neufs et par rapport à des ratios connus pour des bâtiments existants.

B.3- Phase 3 : Caractérisation des ressources géothermiques

Les études hydrogéologiques et géologiques seront réalisées par un bureau d'études ayant des compétences sous-sol. Elles seront basées principalement sur une étude bibliographique, sans forage test à ce stade d'avancement du projet.

B.3.1- Pour les opérations sur nappes

L'étude de faisabilité présentera notamment :

- Le contexte réglementaire sous-sol (par exemple cartes réglementaires liées au cadre de la géothermie de minime importance, ...),
- La compatibilité du projet avec les autres réglementations applicables localement : Schémas Directeur d'Aménagement et de Gestion de l'Eau (SDAGE) / Schéma d'Aménagement et de Gestion de l'Eau (SAGE), présence éventuelle de parcs naturels, présence de zones Natura 2000 et de zones naturelles d'intérêt écologique, faunistique et floristique (ZNIEFF)
- L'analyse du contexte géologique en tenant compte des forages à proximité et en utilisant la base de données des forages existants (banque BSS, ...),
- Le choix de l'horizon géologique,
- La coupe géologique prévisionnelle (profondeurs, épaisseurs, stratigraphie, ...),
- Les caractéristiques hydrogéologiques du réservoir (perméabilité, porosité, transmissivité, pression statique, piézométrie, température, débits, productivité, rabattement...),
- Les caractéristiques hydrochimiques du fluide (viscosité, salinité, point de bulle, ...),
- Le recensement des sites de forages potentiels (carte),
- La qualité physico-chimique générale de la nappe,
- La justification de l'implantation et de l'écartement des puits de forage selon le sens d'écoulement de la nappe et afin d'éviter le recyclage thermique entre puits de prélèvement et puits de réinjection.

S'il le souhaite, le maître d'ouvrage aura la possibilité de souscrire à la garantie « Recherche » AQUAPAC gérée par la SAF-Environnement³, notamment s'il y a une incertitude sur la ressource en eau exploitable. AQUAPAC est une assurance qui couvre les risques géologiques liés à la possibilité d'exploitation énergétique d'une ressource aquifère située en général à moins de 200 m de profondeur, puis au maintien de ses capacités dans le temps. Cette assurance s'applique aux installations utilisant des pompes à chaleur d'une puissance thermique supérieure à 30 kW.

³ Plaquette AQUAPAC et Dossier de demande de garantie disponibles sur : <https://www.geothermies.fr/les-garanties#aquapac>

B.3.2- Pour les opérations sur nappes

L'étude de faisabilité présentera :

- Le contexte réglementaire sous-sol (par exemple cartes réglementaires liées au cadre de la géothermie de minime importance, ...)
- La compatibilité du projet avec les autres réglementations applicables localement : Schémas Directeur d'Aménagement et de Gestion de l'Eau (SDAGE) / Schéma d'Aménagement et de Gestion de l'Eau (SAGE), présence éventuelle de parcs naturels, présence de zones Natura 2000 et de zones naturelles d'intérêt écologique, faunistique et floristique ZNIEFF)
- L'analyse du contexte géologique en tenant compte des forages à proximité et en utilisant la base de données des forages existants (banque BSS, ...) ;
- La coupe géologique prévisionnelle (profondeurs, épaisseurs, stratigraphie, ...)
- Les caractéristiques thermiques estimées du sous-sol qui pourront s'appuyer sur la base de données des tests de réponse thermique de terrain consultable sur l'espace cartographique du site www.geothermies.fr (température initiale, conductivité thermique ...)

Une vigilance particulière sera apportée aux zones karstiques et aux zones présentant des risques de dissolution ou de retrait-gonflement (argiles, évaporites), à la présence de failles au droit du site, à la qualité de cimentation (retour en surface du ciment, densité du ciment, cimentations complémentaires) et à l'isolation des aquifères traversés.

Que ce soit pour les opérations sur nappes superficielles ou sur champ de sondes géothermiques, les forages devront être réalisés selon les normes en vigueur :

- forages d'eau (NFX 10-999)
- forages de sondes (NFX 10-960-1, NFX 10-960-2, NFX 10-960-3, NFX 10-960-4, et NFX 10-970, norme qui impose notamment une cimentation totale sur la profondeur du forage).

B.4- Phase 4 : Adéquation des besoins en surface / ressources sous-sol et choix des équipements

Les équipements proposés pour la solution géothermie et la solution de référence seront justifiés par les résultats de l'étude des besoins thermiques :

Le choix du taux de couverture de la PAC modifie grandement l'investissement de départ. Il n'est donc parfois pas judicieux de couvrir la totalité des besoins en chaud et/ou en froid avec la solution de pompe à chaleur géothermique. La décision de couvrir les puissances crête de chaud et/ou de froid ou d'installer une puissance maximale limitée mais couvrant un fort pourcentage des consommations ou la décision de dimensionner l'échangeur pour obtenir un maximum de « rafraîchissement direct » venant du sol dépendent de la ressource géothermique disponible, des résultats de l'analyse en coût global et de la démarche environnementale de l'investisseur (Cf graphe en *Annexe 3* :). Les meilleures performances énergétiques de l'installation passent par une optimisation du dimensionnement de la PAC, d'un delta de température faible entre condenseur et évaporateur et des débits d'irrigation de la PAC.

B.4.1- Descriptif de la solution géothermie et appoint éventuel

- Caractéristiques du système de chauffage et/ou de froid par pompe à chaleur géothermique :
 - puissance thermique PAC,
 - puissance frigorifique PAC (le cas échéant),
 - puissance électrique compresseur,
 - nombre d'heures de fonctionnement,
 - COP annuel système (c'est-à-dire valeur moyenne du COP système sur l'année) selon les définitions rappelées en *Annexe 4* :
 - COP machine pour les PAC destinées au chauffage ou au chauffage et à la production d'ECS:
 - **pour PAC sur nappe : pour que le projet soit éligible aux aides de l'ADEME, le COP doit être égal ou supérieur à 4,5** (mesuré dans les conditions d'essais de la norme européenne EN 14511-2 en régimes de températures 10/7°C et 30/35°C).
 - **pour PAC sur sondes : pour que le projet soit éligible aux aides de l'ADEME, le COP doit être égal ou supérieur à 4** (mesuré dans les conditions d'essais de la norme européenne EN 14511-2 en régimes de températures 0/-3°C et 30/35°C).
 - **SCOP global annuel estimé minimum de 3 pour le chauffage seul (2,8 pour l'ECS ou l'ECS et le chauffage) :** Ce SCOP inclut la consommation du compresseur de la PAC et des auxiliaires telles que les pompes de circulation et pompes immergées de forage côté circuit primaire.
 - COP machine selon les régimes de température du projet (évaporateur et condenseur à préciser).
- Pour les PAC destinées à la production de froid :

- **EER machine** égal ou supérieur à **3,6** pour les PAC « électriques » (mesuré dans les conditions d'essais de la norme européenne EN 14511-2 en régimes de températures 12/7°C à l'évaporateur et 30/35°C au condenseur).
- **SEER global annuel** estimé minimum de **3,3** dans les conditions d'application du projet : le SEER global annuel inclut la consommation électrique du compresseur de la PAC et des auxiliaires de l'installation telles que les pompes de circulation côté circuit primaire.
- Taux de couverture des besoins par la (les) PAC.
-

Les différentes simulations permettant de justifier l'optimisation du taux de couverture retenu pour la pompe à chaleur seront fournies.

- Caractéristiques des forages sur nappe (caractéristiques prévisionnelles d'exploitation) : débits prévisionnels d'exploitation :
 - courbe débit avec pompage (f puissance électrique),
 - puissance des auxiliaires et énergies consommées par ces auxiliaires (pompes de circulation),
 - niveau statique,
 - puissance de la pompe immergée de forage,
 - température fond de puits,
 - température tête de puits,
 - pression en tête,
 - pression réinjection,
 - précautions prises pour ne pas altérer la nappe par le fluide frigorigène de la PAC, ou caractéristiques de l'échangeur placé entre la nappe et la PAC (échangeur de barrage).

Pour les opérations de PAC sur nappe, deux types de pompages d'essai seront réalisés avant la mise en exploitation des forages (puits de production et puits de réinjection) nécessaires à l'installation :

L'essai de puits ou essai par palier permet de définir les caractéristiques hydrauliques du forage par l'intermédiaire de sa courbe caractéristique.

L'essai de nappe ou essai de longue durée a pour but de tester l'aquifère et d'en déterminer les caractéristiques hydrauliques (transmissivité, ...).

- Caractéristiques du champ de sondes géothermiques :
 - nombre de sondes géothermiques,
 - profondeur des sondes (m),
 - longueur totale forée (m)
 - type de sonde (simple U, double U, ...)
 - diamètre extérieur des tuyaux (mm)
 - espacement moyen entre sondes (m)
 - puissance prélevée - prévision de sol rencontré,
 - ratio de puissance prélevée en W/ml⁴ de sonde,
 - disposition des sondes,
 - nombre d'heures de fonctionnement du champ de sondes (nombre d'heures équivalentes).

Pour les opérations de PAC sur champ de sondes dont la longueur totale de sondes dépasse les 1000 mètres linéaires, l'étude du sous-sol sera complétée par un test de réponse thermique du terrain (TRT) réalisé sur une sonde test et d'une simulation thermique dynamique sous-sol et surface (géomodélisation)⁵ afin d'optimiser le dimensionnement du champ de sondes et valider le maintien des performances énergétiques dans le temps. Cette étape permettra également de définir la nature exacte des matériaux présents dans le sous-sol, la présence éventuelle et l'importance de la nappe, ainsi que les propriétés thermiques du site. Elle peut nécessiter qu'un ou plusieurs forages test soient effectués. Pour les opérations dont la production reste inférieure ou égale à 50 MWh EnR/an, la réalisation d'un TRT et d'une géomodélisation n'est pas obligatoire mais peut être conseillée selon le contexte sous-sol au droit du projet.

⁴Attention, la valeur de puissance extraite par mètre « 50 W/m » permet simplement de vérifier si l'installation de PAC sur sondes entre ou non dans le cadre réglementaire de la géothermie de minime importance. Elle n'est pas à prendre comme un critère dimensionnant de l'installation.

⁵Géomodélisation réalisée à partir des logiciels FEFLOW, EED, TRNSYS ou logiciel équivalent <https://plateforme-geothermie.brgm.fr/fr/outil-de-dimensionnement>

- Schéma d'implantation des sondes ou des puits de forage sur nappe⁶ (production et réinjection) avec mention du sens d'écoulement de la nappe
- Régime de températures retenu (évaporateur, condenseur PAC)
- Ballon tampon en sortie condenseur PAC (s'il est prévu)

Il conviendra d'apporter une attention particulière au bon dimensionnement du ballon tampon pour éviter les courts cycles de la PAC. Le volume pourra varier en fonction du modèle de la PAC (durée des cycles courts, capacité de régulation, puissance et nature des composants internes, nature du fluide).

- Système d'émetteurs de chaleur/froid retenu avec pour chaque type d'émetteurs le régime de température associé

Pour éviter de dégrader les performances de la PAC, Il conviendra de travailler avec des émetteurs de très basse température côté bâtiments

- Rendement des échangeurs de chaleur (s'ils sont prévus)
- Système de production d'Eau Chaude Sanitaire (ECS) éventuel
- Caractéristiques de l'appoint éventuel en chaud et/ou froid (combustible utilisé, puissance thermique installée, rendement, raccordement hydraulique et régulation)
- Schéma de principe de l'installation (schéma hydraulique détaillé avec emplacement des compteurs)

Il conviendra d'insister sur la description des réseaux hydrauliques alimentant les émetteurs, surtout s'il y a deux types d'émetteurs fonctionnant à des niveaux de température différents.

- Instrumentation et gestion de l'installation (T int. ; T ext.) : définition des équipements de mesures nécessaires et appropriés aux différents modes de fonctionnement possibles de l'installation : chauffage, rafraîchissement, géocooling, préchauffage d'ECS (cf schémas préconisés par le CSTB en Annexe 5 :)
- Régulation (cascade, moteur à vitesse variable, ...) : description des modes de fonctionnement de l'installation

La mise en place d'un suivi des performances de l'installation PAC géothermique est impérative et conditionne l'octroi d'une aide financière éventuelle de l'ADEME au Maître d'ouvrage pour la phase investissements.

« La prise en considération des ouvrages de prélèvement d'eau voisins nécessite une distance minimale afin de ne pas les perturber de façon significative. La nouvelle opération ne doit pas causer une variation de température de la nappe d'eau exploitée de plus de 4° C soit aux limites parcellaires soit à 200 mètres des échangeurs géothermiques de production ou de réinjection hors des limites parcellaires.

B.4.2 - Descriptif de la solution de référence

La solution de référence sera définie comme étant la solution de production de chaleur et/ou de froid à partir d'énergie dite traditionnelle **couvrant les mêmes besoins thermiques que la solution géothermique** (pour exemple : chaudière au gaz naturel ou propane ou chaudière au fuel et/ou PAC/groupe froid aérothermique). Préciser la puissance thermique ou frigorifique, combustible/énergie utilisé(e), rendement PCI ou COP/EER.

B.5- Phase 5 : Bilans énergétiques

Le tableau des bilans thermiques devra être complété, suivant ce modèle proposé par l'ADEME.

	Besoins utiles	Solution géothermique (PAC + appoint éventuel)					Solution référence	
		Consommations			Production		Consommations	
		PAC *	Auxiliaires**	Appoint	PAC	Appoint	Combustible	Electricité
	(MWh)	(MWh _{ef})	(MWh _{ef})	(MWh _{ef})	(MWh _{ef})	(MWh _{ef})	(MWh _{ef})	(MWh _{ef})
Chauffage								
ECS								
Froid***								
Total								

* Consommation électrique du compresseur de la PAC

** Consommation électrique des auxiliaires : pompes de forage, pompes de circulation (hors pompes côté distribution) ;

***Froid : En cas de rafraîchissement direct (géocooling ou freecooling), l'indiquer clairement

B.6- Phase 6 : Bilans économique

B.6.1- Coûts d'investissements liés à la solution géothermique

Détermination des investissements poste par poste :

- Géothermie sur nappe : Forage, pompes, crépines, essais
- Géothermie sur sondes : sondes géothermiques (forages et essais inclus) et pompes de circulation des sondes géothermiques.
- PAC, thermofrigopompe et/ou échangeur
- Local technique (génie civil dédié)
- Régulation- Système de production d'eau chaude sanitaire (s'il y a)
- Système de chauffage d'appoint (s'il y a)
- Système de production de froid (s'il y a)
- Instrumentation et monitoring
- Emetteurs de chaleur et réseau de distribution (s'il y a)
- Ingénierie, conception et réalisation

B.6.2 – Coûts d'exploitation prévisionnels de la solution géothermique

- Détermination des consommations énergétiques annuelles et des dépenses afférentes (détail des postes P1 et P'1) :
 - o de la (ou des) PAC
 - o du système de production d'ECS éventuel
 - o du système d'appoint de chauffage/froid éventuel
 - o des pompes de circulation (hors pompes côté distribution)
 - o des pompes de forage
 - o Préciser le type d'abonnement et le tarif énergétique retenu
- Détermination des frais prévisionnels de conduite et de petit entretien (poste P2)
- Détermination des frais prévisionnels de gros entretien et réparation (poste P3)

Déterminer également les **coûts d'investissements et d'exploitation de la solution de référence**.

B.6.3 – Bilan économique comparatif entre les deux solutions (géothermie – référence)

L'analyse économique du projet doit utiliser :

- Des valeurs standard pour les paramètres clefs dont : taux d'actualisation, taux d'emprunt, scénario d'évolution des prix des énergies à 5%, 10% et 20%.
- Des indicateurs économiques classiques (Valeur Actualisée Nette, Temps de Retour sur Investissement, Taux de rentabilité interne).

Pour faciliter la compréhension par les maîtres d'ouvrage, le résultat de cette analyse économique sera exprimé en temps de retour actualisé, c'est-à-dire le temps nécessaire pour compenser l'investissement par les économies en tenant compte des coûts de fonctionnement et des coûts d'accès aux capitaux et du taux d'actualisation.

L'analyse économique doit permettre également d'estimer **le coût global de la chaleur et/ou du froid produit par la solution géothermique au regard de la solution de référence (en €/MWh)**.

Si l'analyse économique est basée sur des hypothèses économiques différentes, ce choix devra être justifié.

B.7- Phase 7 : Bilan environnemental

Évaluation de l'impact sur l'environnement :

- Estimation des gains en MWh/an apportés par la PAC par rapport à la situation existante et par rapport à la solution de référence,
- Estimation de la réduction des émissions de CO₂ en tonne/an et incluant un taux de fuite du fluide frigorigène de la PAC de 2 %/an (**cf. Annexe 6**) par rapport à la situation existante et par rapport à la solution de référence. Si le taux de fuite utilisé est différent ce choix devra être justifié.

B.8- Phase 8 : Conclusions

Réalisation d'un document de synthèse de l'étude de faisabilité présentant la solution technique proposée, y compris sa rentabilité économique, comparée à la solution de référence.

Le titulaire pourra rajouter tout élément qu'il jugera utile.

Article 1 - CONTROLE

Les études, une fois réalisées pourront faire l'objet- ce n'est pas systématique- d'un contrôle approfondi durant un délai de 1 an. Dans le souci de tester un échantillonnage représentatif, les dossiers seront choisis de manière aléatoire, à moins que les bâtiments considérés ne soient l'objet d'une plainte. Eventuellement un contrôle sur site pourra être mené par un expert mandaté par l'ADEME afin de juger de la qualité de l'étude, de l'objectivité du rapport, voire d'éventuels besoins de formation, car ce contrôle approfondi sera d'abord l'occasion d'un dialogue en vue d'une amélioration permanente de la procédure et de la qualification des intervenants.

Article 2 - CESSION DES DROITS D'UTILISATION DES DOCUMENTS et objets CRÉÉS

Les résultats de la prestation sont la propriété conjointe de l'ADEME, du Grand Besançon Métropole et de la commune bénéficiaire de la subvention aide à la décision. Les propriétaires pouvant utiliser les informations de façon anonyme pour des besoins statistiques ou scientifiques. Ceux-ci pourront librement exploiter les résultats consignés dans la fiche de synthèse.

ANNEXE 1 : Utilisation rationnelle de l'énergie (ure) dans les bâtiments existants

Analyse de l'existant

Le bureau d'étude aura en charge de définir pour chacun des bâtiments concernés :

- ✦ Les caractéristiques et l'état d'usage de l'installation en place : **chaudière**, brûleur, fluide caloporteur, rendement, **production d'ECS, groupes froids** s'il y a lieu, réseau de distribution, émetteurs (nombres et caractéristiques), régulation, température intérieure recommandée...
- ✦ Les caractéristiques thermiques des bâtiments et locaux concernés par le projet : surface, volume, orientation, isolation, surface vitrée, renouvellement d'air, période de fonctionnement.
- ✦ La prise en compte de la création, rénovation ou extension des bâtiments, changement ou couplage d'installation, prévision d'aménagements futurs.
- ✦ Le cas de bâtiments futurs : relevés à effectuer sur plans et en collaboration avec le bureau d'étude concepteur.
- ✦ Les besoins spécifiques (piscines, blanchisseries, ...)
- ✦ Les contraintes éventuelles (place en chaufferie, accès véhicule, ...)

Analyse des factures

L'objet de cette étape sera la détermination des consommations énergétiques constatées sur relevés de consommations (facture, quantités, etc.) sur les 2 ou 3 trois dernières années.

Analyse théorique

A partir des caractéristiques des bâtiments relevées (surfaces, volumes, intermittence, isolation en place, etc.), le bureau d'études aura en charge de réaliser une analyse thermique simplifiée par bâtiments. Il s'agira de déterminer la puissance et la consommation théorique de chaque bâtiment au regard de leur configuration actuelle (en chaud, en ECS et le cas échéant en froid).

Recollement de l'analyse théorique et des factures

Si les consommations issues de l'analyse théorique ne sont pas en cohérence avec l'analyse des factures, le bureau d'étude aura en charge d'étudier les raisons de ces écarts et de les caractériser.

Analyse des points de surconsommations

Le prestataire devra étudier les points de surconsommations s'ils existent. A l'aide de quelques ratios, il devra identifier les points critiques au niveau, entre autres :

- ✦ De l'utilisation des bâtiments et notamment de la régulation,
- ✦ Du rendement des équipements,
- ✦ De l'isolation des bâtiments (sols, murs, toiture, vitrage).

Cette analyse permettra de mettre en évidence les points à plus fort enjeu d'amélioration

Préconisations d'améliorations énergétiques

Le prestataire devra identifier les points critiques afin de diminuer les consommations de chauffage du bâtiment.

Analyse technique

En comparant l'analyse de l'existant et l'analyse théorique, le bureau d'étude aura en charge de proposer des solutions techniques simples visant à réduire les consommations de chauffage et de climatisation des bâtiments. Ces solutions peuvent être :

- ✦ Renforcement de l'isolation sur toute ou partie du bâtiment,
- ✦ Changement des vitrages,
- ✦ Amélioration de la ventilation,
- ✦ Amélioration de la régulation,
- ✦ Travail architectural simple (brise soleil, puit canadien, etc.),
- ✦ Programmation des plages de chauffe.

Le bureau d'étude mettra en évidence l'économie réalisée en MWh énergie finale.

Analyse économique

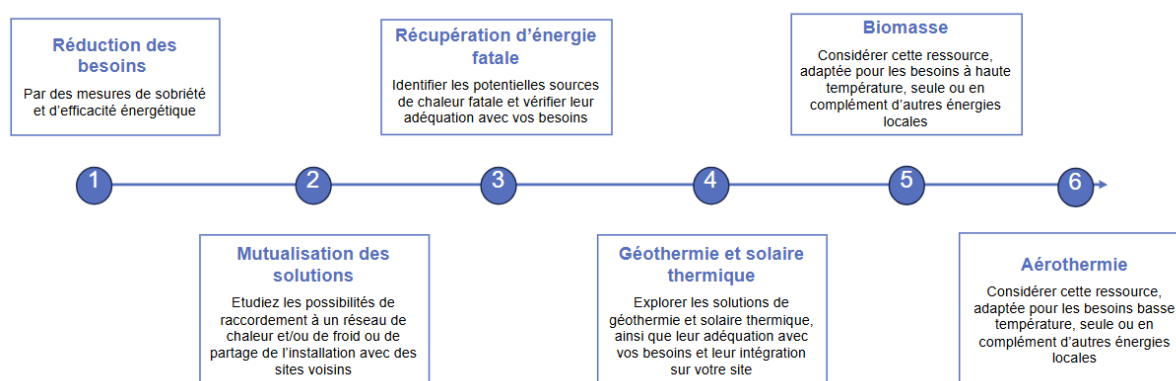
Chaque proposition technique fera l'objet d'un chiffrage des coûts d'investissement. L'analyse économique pourra être basée sur des ratios. Il sera tenu compte des possibilités d'aides en vigueur pour l'amélioration du bâti. Les informations sur ces aides sont disponibles auprès de l'ADEME.

Il est attendu une présentation claire et synthétique des améliorations à apporter, de leur coût et de leur rentabilité.

Echéancier

Le bureau d'étude devra identifier un échéancier réaliste de réalisation des travaux d'améliorations thermiques des bâtiments. Cet échéancier sera établi en concertation avec le maître d'ouvrage.

1 Démarche ENR choix



<https://www.enrchoix.idf.ademe.fr/>

ANNEXE 3 : Courbes monotones de charge

Figure 1 : Courbe monotone de charge (Chauffage et ECS) avec une $T_{eb} = -7^{\circ}\text{C}$

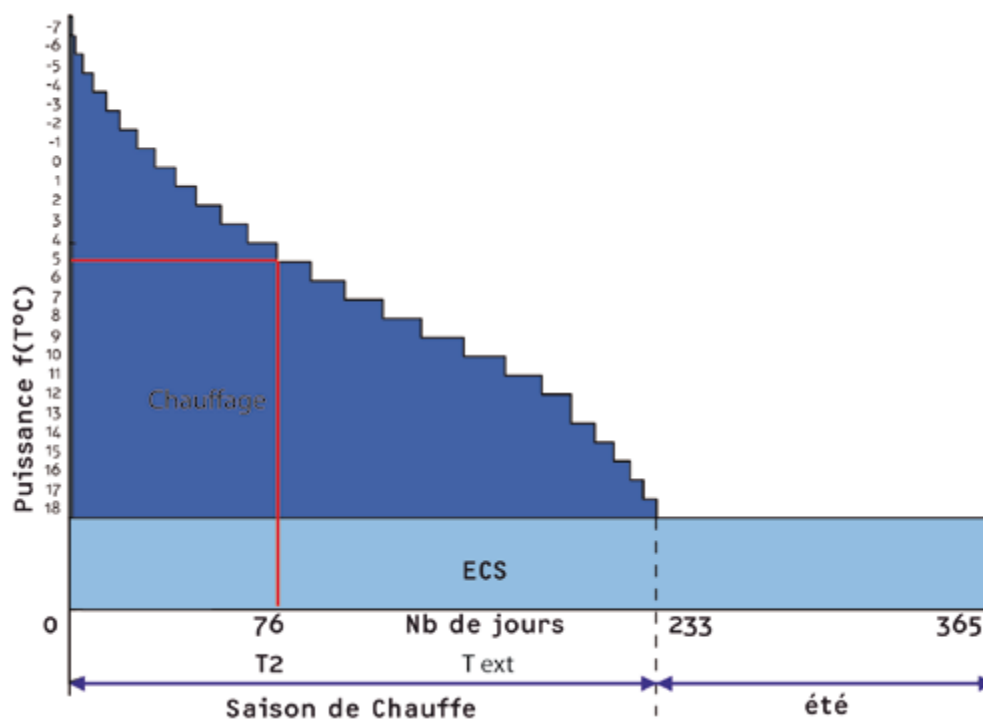
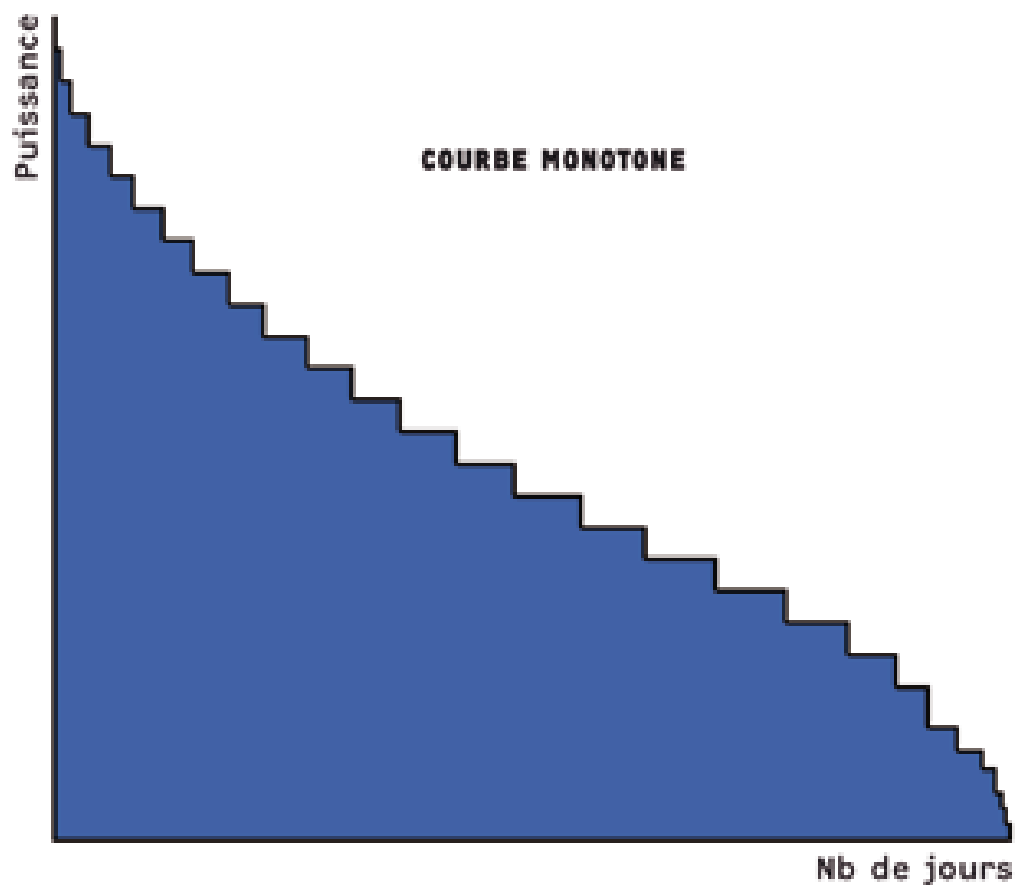


Figure 2 : Courbe monotone de charge Chauffage seul



ANNEXE 4 : Définition des différents coefficients de performance des installations de PAC géothermiques

COP machine

Il s'agit du rapport de l'énergie thermique produite par la PAC sur l'énergie électrique consommée par la PAC (compresseurs + auxiliaires non permanents). C'est le COP du groupe thermodynamique seul, tel qu'il peut être mesuré en usine par le constructeur.

Ce coefficient prend en compte les consommations électriques des auxiliaires non permanents dont le fonctionnement est asservi à la marche de la PAC ou qui sont alimentés périodiquement. Ces auxiliaires peuvent être :

- les ventilateurs (cas d'une pompe à chaleur sur l'air) ;
- des pompes de circulation asservies (avec fonctionnement simultané) au compresseur ;
- des résistances électriques (par exemple dégivrage des batteries)

Cette valeur est donc plus représentative de la performance de la machine.

$$COP = \frac{P_{CH}}{(P_{COMP} + P_{AUX})}$$

COP système

C'est le rapport entre l'énergie thermique produite par la PAC et l'énergie électrique consommée par cette PAC, les auxiliaires permanents et l'appoint, le cas échéant.

COP global de l'installation

Ce coefficient prend en compte les pertes d'énergies (par les réseaux de distribution notamment) qui ne contribuent pas au chauffage des locaux.

$$COP = \frac{(P_{CH} - P_{Pertes})}{(P_{COMP} + P_{AUX})}$$

COP annuel global de l'installation : C'est la valeur moyenne du COP système sur l'année

C'est le COP qui intéresse le maître d'ouvrage, pour calculer les performances énergétiques moyennes de l'installation, et donc calculer la rentabilité économique de son opération.

Sur les plages de température des PAC géothermiques sur aquifères (source froide > 12 °C), des COP mesurés sur des installations en exploitation donnent des valeurs généralement supérieures à 3,5.

Efficacité énergétique ou coefficient d'efficacité frigorifique EER ou « COP froid »

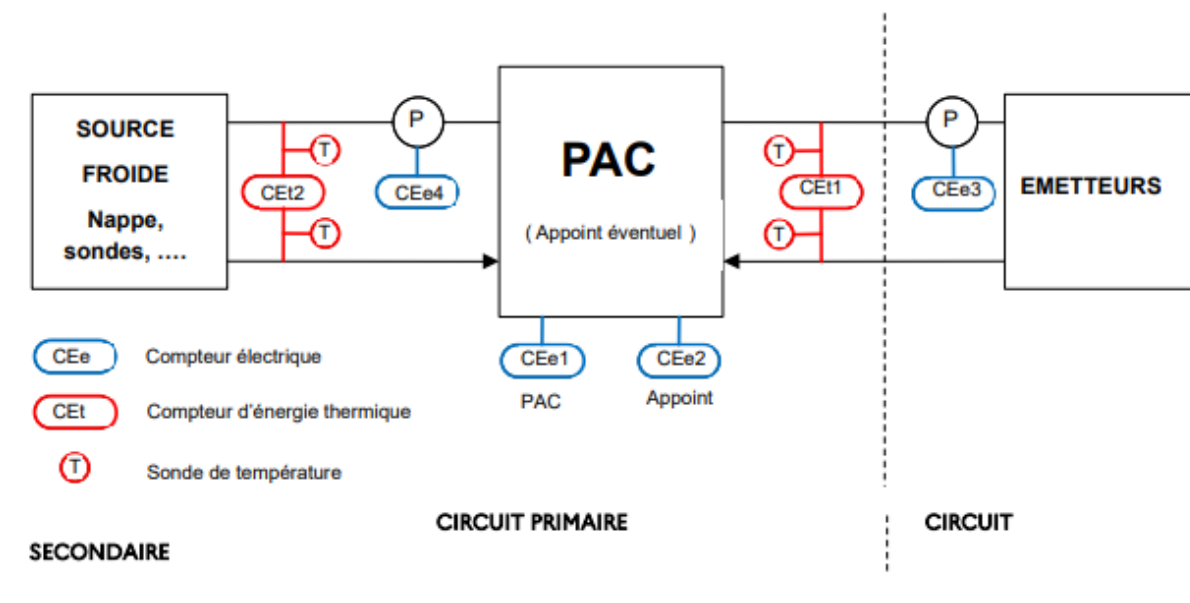
La performance en mode froid de la machine frigorifique réversible est exprimée par le coefficient d'efficacité énergétique. Il s'agit du rapport de l'énergie frigorifique produite par la PAC sur l'énergie électrique consommée par le compresseur :

$$C_{FR} = \frac{P_{FR}}{P_{COMP}}$$

ANNEXE 5 : Monitoring des installations de PAC

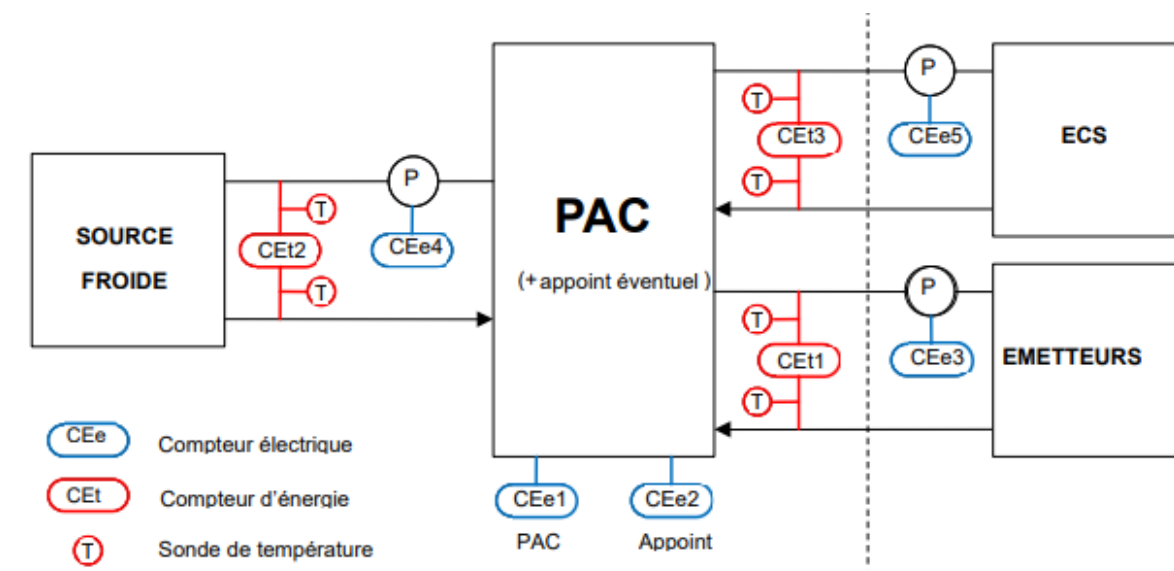
PAC à compression électrique

Instrumentation pour un fonctionnement chauffage ou froid :

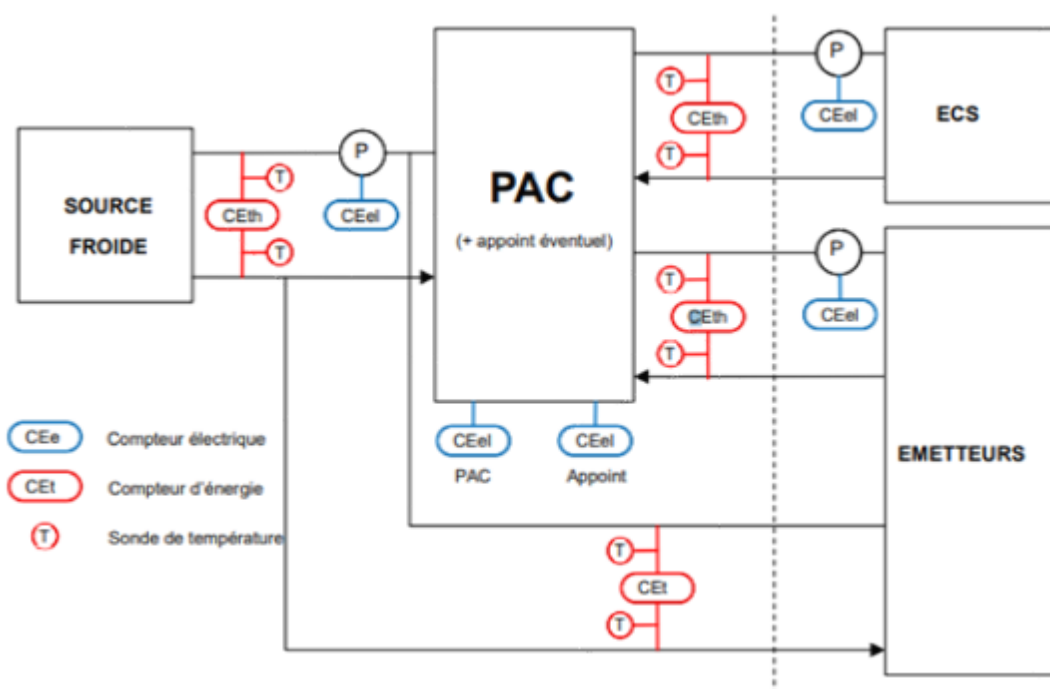


Dans le cas d'une installation réversible (production de chaud et de froid), les compteurs d'énergie doivent être réversibles.

Instrumentation pour un fonctionnement chauffage ou froid avec préchauffage ECS :

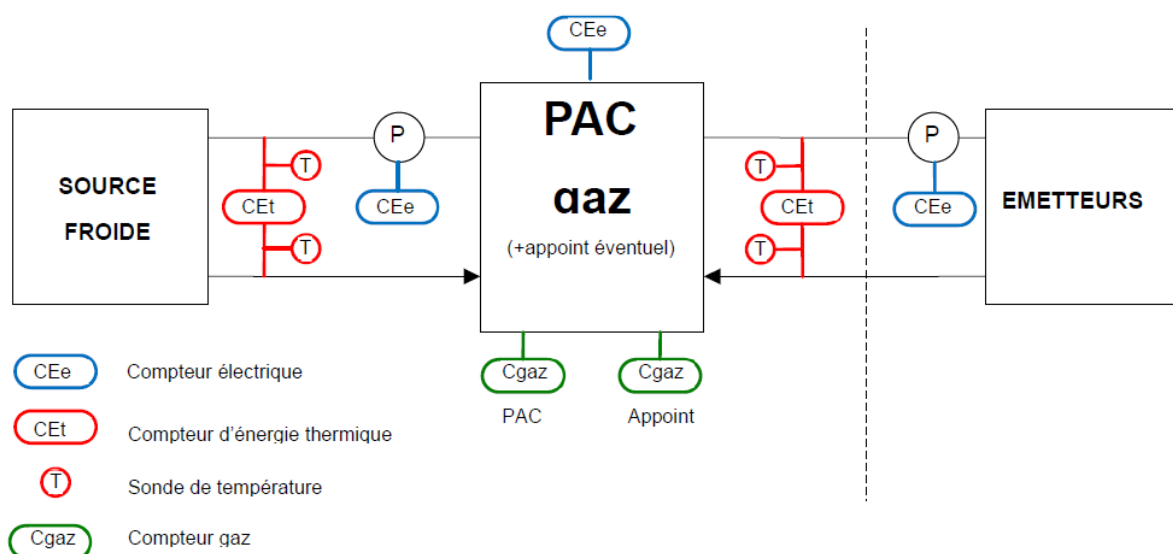


Instrumentation pour un fonctionnement chauffage, freecooling avec préchauffage ECS :



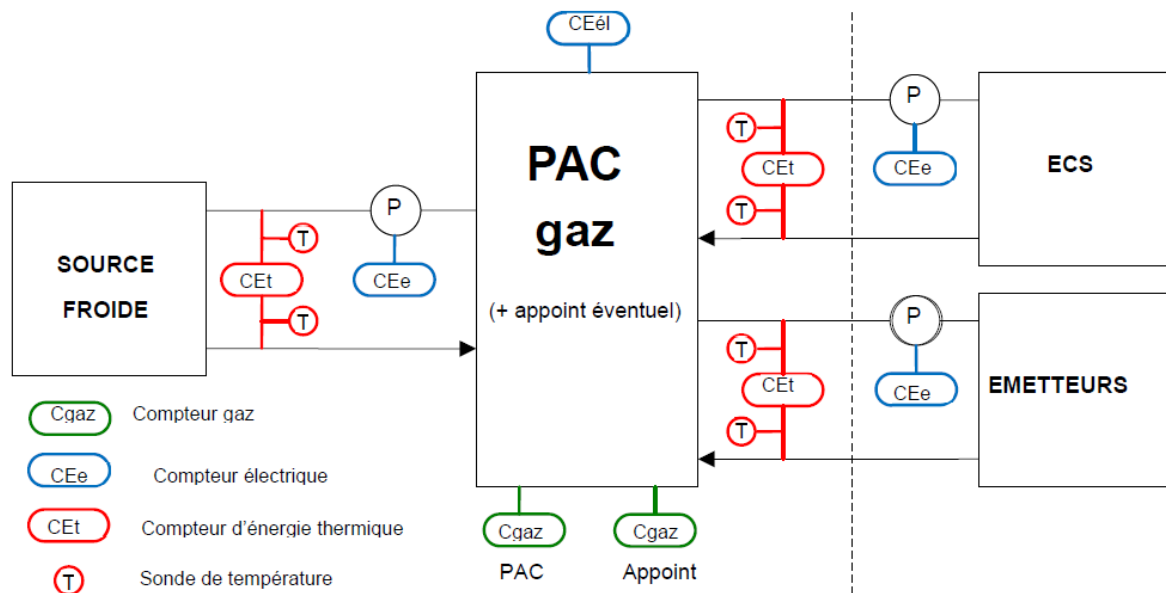
PAC gaz à absorption

Instrumentation pour un fonctionnement chauffage ou froid :

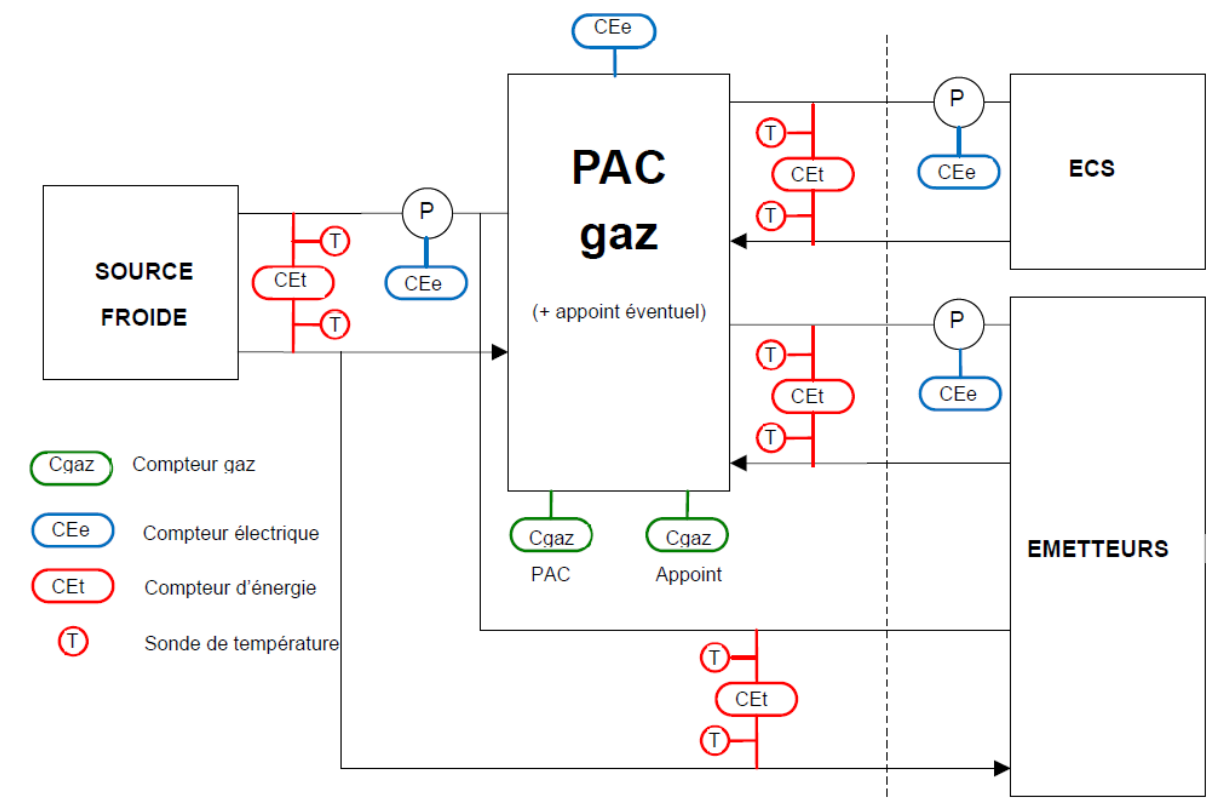


Dans le cas d'une installation réversible (chaud/froid), les compteurs d'énergie doivent réversibles.

Instrumentation pour un fonctionnement chauffage ou froid avec préchauffage ECS :



Instrumentation pour un fonctionnement chauffage, freecooling avec préchauffage ECS :



ANNEXE 6 : Estimation des émissions de CO2

Combustibles/Electricité	tCO ₂ /MWh PCI ou tCO ₂ /MWhélec
Gaz naturel	0,201
Fioul	0,272
Charbon	0,345
Electricité	0,0394

Source : Base empreinte ADEME

ANNEXE 7 : Outils et références à destination des bureaux d'études

Sites internet :

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

<https://www.afpg.asso.fr/la-geothermie-de-surface/>

<https://base-empreinte.ademe.fr/donnees/jeu-donnees>

Ressources documentaires techniques :

[Boîte à outils géothermie de surface](#)

[Guide méthodologique AFPG « La géothermie de surface » 2020, AFPG.](#)

[« Réussir un projet de qualité en géothermie de surface – pour produire du chaud et du froid », ADEME](#)