

GUIDE A LA REDACTION D'UN CAHIER DES CHARGES

Pour tout bénéficiaire d'un concours financier de l'ADEME
dans le cadre du dispositif d'aide à la décision

CAHIER DES CHARGES **ETUDE DE FAISABILITE RECUPERATION DE CHALEUR FATALE POUR VALORISATION INTERNE ET/OU EXTERNE**

Version janvier 2025

COLLECTION DES CAHIERS DES CHARGES
D'AIDE A LA DECISION

SOMMAIRE

1 - PREAMBULE.....	3
2 - INTRODUCTION.....	7
3 - PHASE 1 (OPTIONNELLE) : ANALYSE COMPLEMENTAIRE.....	11
4 - PHASE 2 : ETUDE DE FAISABILITE	12
5 - MODALITES DE REALISATION DE LA PRESTATION	18
6 - ANNEXES	20
6.1 - ANNEXE 1 - PREREQUIS : ETAT DES LIEUX ET DEFINITION DU PERIMETRE DU PROJET	20
6.2 - ANNEXE 2 - METHODES D'ANALYSES APPROFONDIES REALISABLES	22

1 - PREAMBULE

L'AIDE A LA DECISION DE L'ADEME

L'ADEME souhaite contribuer, avec ses partenaires institutionnels et techniques, à promouvoir la diffusion des bonnes pratiques sur les thématiques énergie 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.

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 dénommé « 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 qu'à l'ADEME, au prestataire conseil et au 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 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 et/ou le prestataire conseil pourront alors être interrogés sur l'étude et ses conséquences.

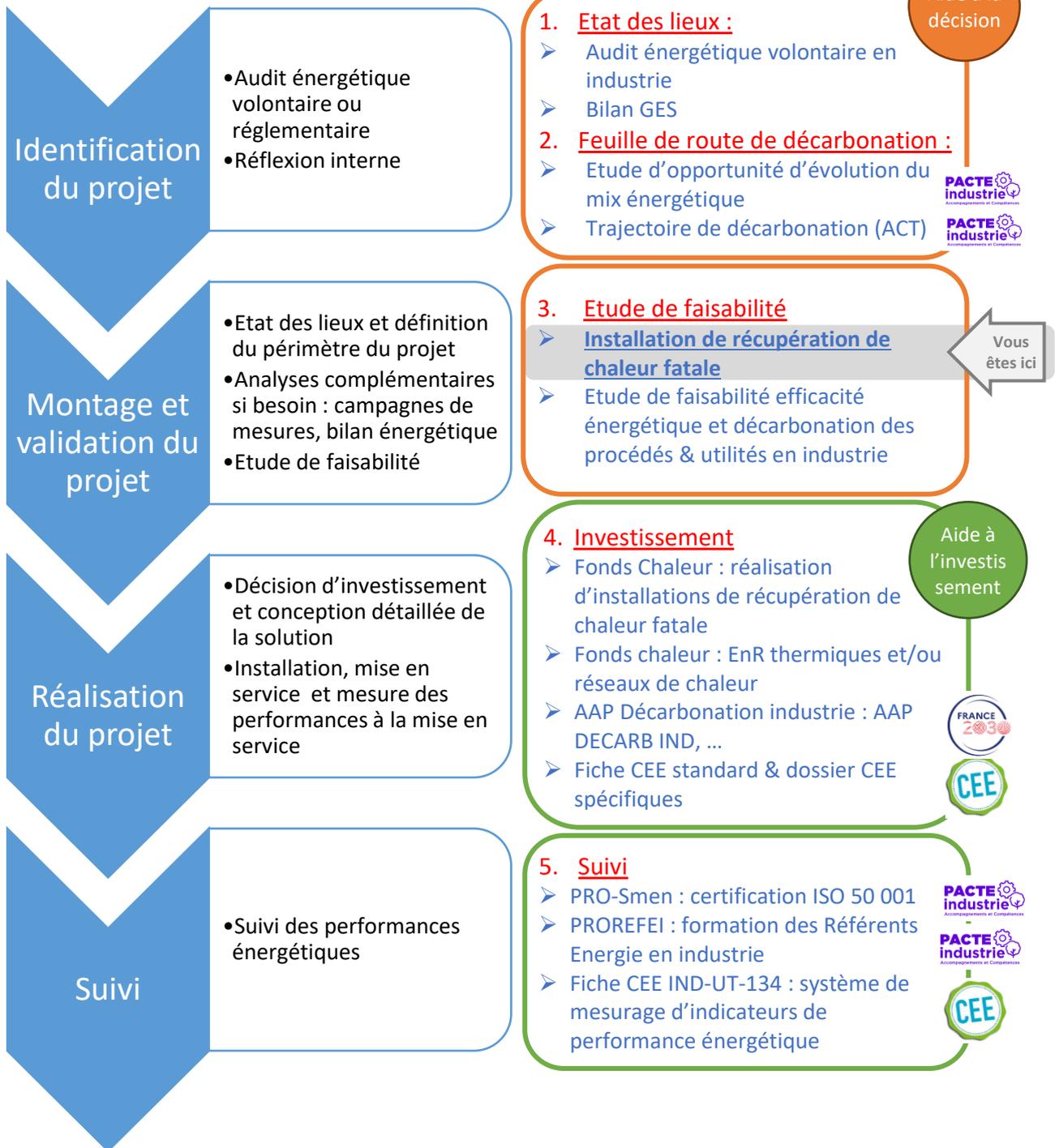
Le présent document précise le contenu et les modalités de réalisation et de restitution de l'étude qui seront effectués par un intervenant extérieur au bénéficiaire de l'aide de l'ADEME.

CHRONOLOGIE D'UN PROJET D'EFFICACITE ENERGETIQUE ET/OU DECARBONATION D'UN SITE INDUSTRIEL



L'ADEME

et les CEE vous accompagnent dans votre décarbonation avec les dispositifs suivants :



VISION DES DIFFERENTS DISPOSITIFS D'ACCOMPAGNEMENT

1. L'audit énergétique constitue un examen et une analyse méthodiques de l'utilisation de l'énergie et de la consommation d'énergie d'un site industriel, d'un bâtiment, d'un procédé... dans le but d'identifier les flux énergétiques et les potentiels d'amélioration de la performance énergétique ;
2. L'étude d'opportunité balaie l'ensemble des solutions potentielles de décarbonation de votre mix énergétique (changement de vecteur énergétique, récupération de chaleur fatale, production de chaleur et d'électricité renouvelable, électrification, etc.) et priorise les préconisations du plan d'actions non pas uniquement en fonction du temps de retour brut mais également en fonction de la trajectoire de décarbonation de l'entreprise.



Sur l'ensemble du territoire français, l'aide ADEME pour la réalisation d'un audit énergétique volontaire en industrie est proposée en combinaison de l'aide à la réalisation d'une étude d'opportunité d'évolution du mix énergétique du programme CEE « PACTE Industrie ».

Cette étude d'opportunité est complémentaire de l'audit et vous permet d'obtenir une feuille de route de décarbonation de votre site industriel (priorisation des solutions de décarbonation de votre mix énergétique).

Audit et étude d'opportunité sont alors réalisés en parallèle par le même prestataire conseil référencé par l'ADEME dans le cadre d'une étude globale. Le dépôt d'une demande d'aide pour une **étude combinée** audit-étude d'opportunité se fait directement sur la page du [programme PACTE Industrie](#).

→ Pour plus de renseignements : pacte-industrie.ademe.fr

3. L'étude de faisabilité apporte au bénéficiaire les éléments techniques, économiques, réglementaires et environnementaux lui permettant de se positionner sur la faisabilité d'une opération d'efficacité énergétique ou, plus globalement, de décarbonation de ses procédés et utilités. L'étude de faisabilité fait notamment suite à une solution identifiée lors d'un audit énergétique ou une étude d'opportunité.
4. L'investissement est décidé en fonction des critères et des objectifs du bénéficiaire et, des connaissances apportées par l'une des études précédentes.
5. Le plan de mesurage est indispensable pour vérifier les performances énergétiques du système mis en place au cours du temps. Ce suivi temporel sert à mesurer les dérives dues entre autres aux variations de production, au vieillissement des équipements, aux températures extérieures... et, à quantifier l'impact du changement des conditions de fonctionnement du site.

LEXIQUE

Chaleur de récupération : par chaleur de récupération ou **chaleur fatale** (ou aussi **chaleur perdue**), on entend une production de chaleur dérivée d'un site de production et qui n'en constitue pas l'objet premier, et qui de ce fait n'était pas nécessairement récupérée. Il s'agit par exemple de chaleur contenue dans les fumées de fours, de chaleur émanant de matériels fabriqués et en cours de refroidissement, etc. Il s'agit de capter puis transporter cette chaleur, qui serait perdue, pour favoriser son exploitation sous forme d'énergie thermique.

Le **Système de captage** désigne l'ensemble des équipements techniques permettant de récupérer la chaleur. Il peut être composé d'un organe de captage proprement dit, d'une boucle intermédiaire transportant cette chaleur d'une source à un usage afin de valoriser la chaleur ainsi récupérée vers un réseau de distribution de chaleur ou un poste de consommation (chauffage de bâtiment, chaleur pour procédé industriel autre) y compris vente pour un tiers.

Le **Réseau d'utilité** distribue de l'énergie thermique sous forme de vapeur, eau chaude ou fluides caloporteurs à partir d'une installation centrale de production à travers un réseau de distribution vers plusieurs postes de consommations (bâtiments industriels, procédés)

Le **Réseau technique**¹ distribue de l'énergie thermique sous forme de vapeur, eau chaude ou fluides caloporteurs à partir d'une installation centrale de production à travers un réseau de distribution vers plusieurs bâtiments ou sites pour le chauffage ou le refroidissement de locaux.

Le **Réseau de chaleur**², par définition, est un réseau technique raccordant des bâtiments appartenant au moins à deux bénéficiaires distincts (sans tenir compte de leur statut) à l'aide d'une canalisation de transport de chaleur empruntant au moins partiellement le domaine public.

Procédé unitaire : il s'agit d'une subdivision d'un procédé industriel complet qui consiste en général en une opération physique ou chimique (réacteurs, échangeurs, séparateurs, pompes...).

Energie finale (Ef) : quantité d'énergie mesurée au compteur du consommateur (compteur électrique, gaz, pompe à essence, ...).

Energie primaire (Ep) : 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.

Equation de corrélation : pour ce document, ce terme correspond aux équations permettant d'estimer les consommations d'énergie ou de matière en fonction d'un ou plusieurs facteurs influents (niveau de production, température extérieure, etc.).

¹ Selon l'arrêté du 17 janvier 2012 relatif aux définitions de la directive 2009/28/CE

² Selon le BO des impôts OI-TVA-LIQ-30-20-20 du 30/12/2012

CAHIER DES CHARGES

ETUDE DE FAISABILITE RECUPERATION DE CHALEUR FATALE POUR VALORISATION INTERNE ET/OU EXTERNE

2 - INTRODUCTION

Objectifs du document

Ce cahier des charges a pour objectif de décrire le déroulement et le contenu type d'une étude de faisabilité lors d'un projet de récupération de chaleur fatale pour une valorisation interne et/ou externe.

Ce document s'applique à tout type d'effluent caractérisé comme étant de la chaleur fatale d'un site. Il s'adresse particulièrement au secteur industriel, unités de valorisation énergétique (UVE)³, autres centrales de production d'énergie, data centers, grand tertiaire et stations d'épuration (STEP).

Pourquoi réaliser une étude de faisabilité ?

L'étude de faisabilité doit apporter au porteur de projet les éléments techniques, économiques, réglementaires et environnementaux lui permettant de se positionner sur la faisabilité d'une opération de valorisation de chaleur fatale.

L'étude de faisabilité fait notamment suite à une solution identifiée lors d'un audit énergétique ou une étude d'opportunité et permet :

- de vérifier la faisabilité technique et économique du projet ;
- de proposer des solutions techniques adaptées au contexte et aux possibilités qu'offre le site ;
- d'étudier les solutions en matière de montage financier et juridique.

La récupération de chaleur fatale doit s'inscrire dans une démarche d'efficacité énergétique cohérente qui se décline en trois étapes successives :

- 1) Réduire en amont, le besoin de chaleur utile et la consommation de combustibles, ce qui réduit indirectement la quantité d'énergie fatale ;
- 2) Valoriser en interne la chaleur fatale récupérée ;
- 3) Valoriser à l'externe, si le site est à proximité d'un réseau de chaleur ou d'un utilisateur/consommateur potentiel.

Quel est le périmètre de l'étude de faisabilité ?

Contrairement à l'audit énergétique ou à l'étude d'opportunité d'évolution du mix énergétique de PACTE Industrie qui balaie l'ensemble des solutions d'efficacité énergétique ou de décarbonation potentielles, l'étude de faisabilité se concentre sur une des solutions prioritaires identifiées dans l'une des études en amont (audit ou étude d'opportunité).

L'étude de faisabilité ne permet pas, à elle seule, de juger de la pertinence et de la cohérence du projet avec la stratégie de décarbonation du site et/ou de l'entreprise.

Cette étude permet avant tout **de valider la faisabilité du projet au regard d'un compromis technico-économique** sur le périmètre consenti et, en ce sens, il est nécessaire que l'étude de faisabilité s'inscrive dans le processus global décrit dans ce document.

Quelle priorisation des solutions de valorisation de la chaleur fatale ?

Au regard des rendements de transferts thermiques et/ou de transformation de la chaleur fatale en un autre vecteur énergétique, voici l'ordre de priorisation des solutions de valorisation :

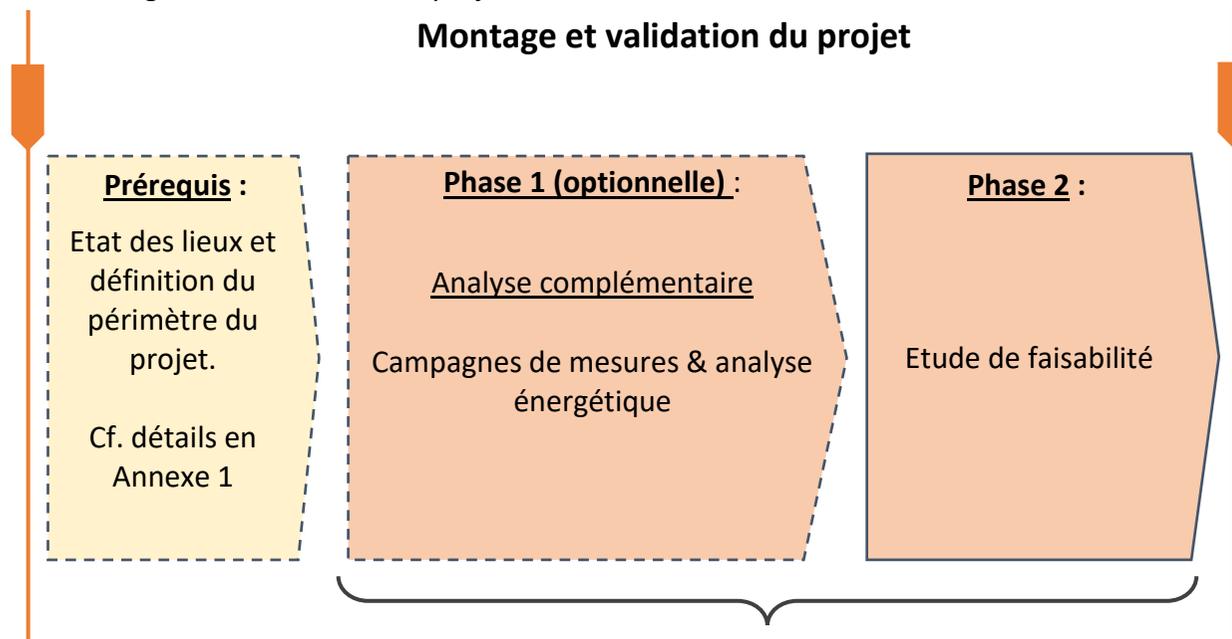
- 1) Valorisation directement sous forme de chaleur
 - a) En interne : au sein même du procédé/équipement fournissant la chaleur fatale ou sur un autre procédé/équipement voisin ou, par injection dans un réseau technique (exemple : réseau eau chaude).
 - b) A l'externe : par l'injection dans un réseau de chaleur urbain (RCU) ou un réseau de chaleur industriel (RCI) au sein d'une zone industrielle
 - c) Que ce soit en interne ou à l'externe, en fonction du besoin de l'usage final, la chaleur fatale peut être remontée en température via une PAC
- 2) Valorisation via un changement de vecteur énergétique :
 - d) Sans besoin de chaleur sur site ou à proximité alors, la chaleur peut être transformée en froid via un groupe froid à sorption ; le rendement de transformation est de l'ordre de 65%
 - e) En dernier recours, sans besoin de chaleur ni de froid sur site ou à proximité alors, la chaleur peut être transformée en énergie mécanique ou en énergie électrique via un ORC par exemple dont le rendement de transformation est de l'ordre de 10-15%

L'étude de faisabilité ne détaille pas les modalités de création d'un réseau de chaleur, mais en reprend les grandes lignes. Pour plus d'information sur l'extension ou la création d'un réseau de chaleur, reportez-vous au guide AMORCE sur la création d'un réseau de chaleur.

³ Depuis 2024, la récupération de chaleur fatale des UVE n'est plus éligible à l'aide à l'investissement de l'ADEME mais reste éligible sous certaines conditions aux CEE spécifiques. Cf. la fiche informative dédiée : http://atee.fr/system/files/2024-07/Fiche%20Informativ%20UVE%20_%2025062024.pdf

Chronologie type de l'étape de montage et de validation du projet :

Identification du projet



Objet du financement « Etude de faisabilité récupération de chaleur fatale »

Prérequis, non financée dans l'étude de faisabilité : Ce prérequis établit l'état des lieux des ressources documentaires et météorologiques disponibles sur site, afin de déterminer les besoins d'analyses et de mesures complémentaires nécessaires à la bonne réalisation de l'étude de faisabilité. Cf. tous les détails du prérequis en Annexe 1.

Phase 1 (optionnelle) : Cette phase permet, quand cela est nécessaire, d'obtenir des éléments complémentaires permettant de confirmer le cadre de l'étude initialement prévu ou l'ajuster voire le réorienter, en cohérence avec la feuille de route de décarbonation du site. Si toutes les données nécessaires à la conduite de l'étude de faisabilité sont déjà disponibles (audit énergétique détaillé par exemple), il est possible de passer cette étape.

Phase 2 : Le cœur du projet se situe dans cette phase d'analyse des données et d'établissement de bilans énergétiques et économiques consolidés, permettant de valider la solution de valorisation de chaleur fatale adaptés aux enjeux et contraintes du bénéficiaire.

Critères d'éligibilité :

1. A quel prestataire conseil faire appel ?

Pour réaliser une étude de faisabilité subventionnée par l'ADEME, le porteur de projet doit faire appel à un prestataire conseil garant de compétences techniques mais également garant de neutralité, d'objectivité et d'impartialité au regard d'intérêts particuliers.

Sont donc éligibles :

- les **Bureaux d'études comportant les codes NAF suivants : 7112B « ingénierie, études techniques » et 7022Z « conseil en affaires »** (ou structures justifiant par tout moyen d'une activité similaire) **et** étant **qualifiés OPQIBI 1717** ou qualification équivalente (ou justification de compétences dans la thermique/l'énergétique du secteur concerné) ;
- les **Centres techniques** justifiant de compétences dans la thermique/l'énergétique du secteur concerné.

Dans le cas particulier où le bureau d'études, sa maison mère ou filiales auraient des liens particuliers dans la vente, l'installation ou la maintenance d'équipements ou avec le dispositif des CEE, ces liens devront être clairement explicités dans le devis et dans le rapport final. De plus, selon les cas, l'ADEME pourra exiger que soit étudiée(s) une ou deux autre(s) solution(s) non dépendante(s) des intérêts particuliers afin d'objectiver la solution identifiée, objet de l'étude de faisabilité.

2. Quelle chronologie pour une étude de faisabilité pertinente ?

L'étude de faisabilité cible une solution ; cette solution doit alors obligatoirement avoir été définie au préalable par une étude en amont (audit ou étude d'opportunité par exemple).

En l'absence d'étude amont argumentant que la solution à étudier est pertinente au regard de la stratégie de décarbonation du site industriel et/ou de l'entreprise, alors l'étude d'opportunité d'évolution du mix énergétique, financée par PACTE Industrie, devra être réalisée en amont de l'étude de faisabilité afin de confirmer la pertinence technique et chronologique de la solution ciblée.

3 - PHASE 1 (OPTIONNELLE) : ANALYSE COMPLÉMENTAIRE

Cette phase optionnelle permet, quand cela est nécessaire, d'obtenir des éléments complémentaires permettant de confirmer l'intérêt du projet initialement prévu ou l'ajuster voire le réorienter, en cohérence avec la feuille de route de décarbonation du site. Si toutes les données nécessaires à la conduite de l'étude de faisabilité sont déjà disponibles, il est alors possible de passer cette étape.

A la suite de la récupération des données dont l'étude amont (audit énergétique ou étude d'opportunité d'évolution du mix énergétique par exemple), il est possible d'approfondir les diagnostics existants par l'application :

1. D'analyses complémentaires « classiques » (campagnes de mesures complémentaires et remise à jour du bilan énergétique) → **Option allégée**

Pour une campagne de mesures complémentaires, le prestataire conseil met en place des appareils de mesures supplémentaires pour valider ses analyses et, précise les éléments suivants :

- les moyens de mesure à employer en précisant ceux qu'il serait utile d'installer à demeure. La proposition est accompagnée le cas échéant d'une proposition financière concernant la fourniture des dits matériels ;
- l'intégration des moyens de mesure aux installations existantes ;
- les caractéristiques et les exigences métrologiques des moyens de mesures ;
- la périodicité des mesures envisagées ;
- les moyens nécessaires pour effectuer les mesures.

2. Des méthodes d'analyses approfondies (méthode du pincement, analyse exergétique, analyse systémique, etc.), dans le cas de schéma énergétiques complexes ou d'ensemble de procédés intégrés → **Option approfondie**

L'annexe 2 au §6.2 décrit succinctement quatre méthodologies d'analyses énergétiques approfondies. Ces dernières facilitent l'établissement d'une feuille de route de décarbonation consolidée.

In fine, à la suite de cette phase 1, deux cas sont possibles :

- soit le prestataire conseil valide le cadre du projet initialement prévu et, le projet peut alors continuer comme défini dans la proposition technique ;
- soit, le prestataire conseil a identifié d'autres solutions de récupération de chaleur ou d'efficacité énergétique pertinents à prendre en compte, faisant évoluer le projet initial. Le projet doit alors tenir compte de ces solutions et faire évoluer le cadre de l'étude de faisabilité en conséquence afin d'avoir un rendu d'étude des plus pertinents.

4 - PHASE 2 : ETUDE DE FAISABILITE

Le cœur du projet se situe dans cette phase d'analyse des données et d'établissement de bilans énergétiques et économiques consolidés, permettant de valider la solution de décarbonation adaptée aux enjeux et contraintes du maître d'ouvrage.

La valorisation de chaleur fatale sur un **réseau de chaleur** implique la prise en compte de paramètres qui ne sont pas décrits dans ce guide (cohérence avec les schémas directeurs régionaux, rapprochement des collectivités, gestion du réseau...). Pour rappel, ce guide est focalisé sur la conception d'un système de captage de chaleur. Pour l'extension ou la création d'un réseau de chaleur, veuillez-vous référer aux documents AMORCE respectivement « Schéma directeur d'un réseau existant de chaleur et de froid » et « Schéma guide de création d'un réseau de chaleur ».

Collecte et consolidation des données

Cette partie caractérise plus en détail les sources et besoins en chaleur concernés par ce projet. Il est crucial pour la suite de l'étude, notamment le bilan économique, d'assurer une précision maximum sur les valeurs présentées. Le prestataire conseil doit justifier de cette précision en donnant les caractéristiques techniques des instruments de mesures, ainsi que les hypothèses utilisées pour les calculs.

Une partie de ces informations est déjà capitalisée lors de l'état des lieux du site, cf. *Annexe 1 - Prérequis : Etat des lieux et définition du périmètre du projet*

La collecte des données se base sur les éléments transmis lors du prérequis (cf. Annexe 1), éventuellement des analyses complémentaires de la phase 1 et, se précise par les entretiens avec les équipes du maître d'ouvrage (direction, achat, production, méthode, maintenance, énergie etc.) en lien avec l'opération.

Pour quantifier les potentiels de récupération de chaleur fatale et les besoins de chaleur, le prestataire conseil doit accéder aux :

- Caractéristiques techniques de l'équipement : métrologie en place, dimensions, matériaux, épaisseur d'isolants, caractéristiques de technologies (brûleurs, compresseurs, pompes, échangeurs, dispositifs de rejet des effluents, etc. ;
- Caractéristiques opératoires de l'équipement : systèmes de régulation, consignes de fonctionnement, etc.. Il est souvent nécessaire de vérifier l'étalonnage des capteurs en place ;
- Relevés de consommation et de fonctionnement de l'équipement : consommations d'énergie, quantité de produit transformé, temps d'utilisation de l'équipement, évolution des températures, évolution des indicateurs de performances énergétiques, etc..

Consolidation des bilans :

- Bilan énergétique : à effectuer sur une période de fonctionnement significative de l'usine de manière à prendre tous les scénarios de fonctionnement. Il distingue les postes combustibles et bilan électrique. Ce bilan doit aussi être présenté en énergie primaire.

Remarque : Pour quantifier le gain énergétique réel du projet n'oubliez pas de prendre en compte les consommations induites par la solution (pompes de circulations, système de rehearse de la température, système d'appoint, maintien en température du stockage, etc.).

- Bilan des émissions directes de gaz à effet de serre : pour effectuer ce bilan les facteurs de conversion de la BASE EMPREINTE de l'ADEME sont à utiliser ; si l'énergie finale utilisée par le maître d'ouvrage n'apparaît pas dans cette base (exemple fourniture via un réseau de chaleur), un facteur de conversion est demandé au fournisseur ;
- Autres conséquences environnementales : les autres rejets dans l'environnement (eau, oxyde d'azote, etc.) sont à expliciter.
- Indicateurs de performances du site : le prestataire conseil doit estimer l'impact du projet sur les indicateurs de performances utilisés par l'industriel. Si nécessaire, il propose un jeu d'indicateurs caractérisant les performances du site.

Au-delà de la quantification des consommations, les bilans énergétique/matière/GES seront utiles à l'établissement des équations de corrélations.

Pour chacun des équipements de procédés ou d'utilités existant dans le périmètre du projet, le prestataire conseil prend soin de définir les coûts financiers et environnementaux des énergies et matières utilisées au travers des critères suivants :

- L'efficacité des systèmes (rendement) ;
- Le coût des énergies (€/kWh) ;
- Le facteur d'émission de CO₂ équivalent des énergies (kgCO_{2e}/kWh).

Une fois les analyses terminées, le prestataire conseil doit disposer des informations clés suivantes :

- La nature et les caractéristiques de la source de chaleur fatale (liquide, gazeux, corrosif, encrassé, réglementation sur son rejet, etc.) et du besoin des usages finaux (température, pression, humidité, débit, etc.) ainsi que les caractéristiques thermiques du fluide caloporteur (température de retour, température de consigne, pression, débit...). Le prestataire conseil prendra soin de valider la variabilité et/ou périodicité de ces caractéristiques ;
- L'estimation des besoins de chaleur (courbe de charge, monotone de puissance, équation de corrélation, facteurs d'influence, indices de performances énergétiques, pérennité du besoin de chaleur dans le temps...) ainsi que les caractéristiques des autres sources de chaleurs (coût de production, impact environnemental, pérennité de la production de chaleur dans le temps...) ;
- Les caractéristiques techniques des équipements, dont le schéma PFD (diagramme des flux procédés) de la solution, et leurs indicateurs de performance ;
- Les facteurs influençant les performances énergétiques (variation de la production, température extérieure, etc.) ;
- La liste des fournisseurs potentiels.

Dans la mesure du possible, le prestataire conseil donnera également les corrections à apporter à ces données par rapport à la mise en place d'autres actions d'efficacité énergétique et de décarbonation.

Contrôlabilité et maintenance des équipements

Dans le cadre de cette étude de faisabilité, le prestataire conseil doit vérifier la qualité opératoire du nouveau système et proposer une politique de maintenance des équipements, en s'attardant notamment sur les points suivants :

- Qualité opératoire : préservation de la flexibilité du site en termes de production ; définition de la structure de régulation ; identification des consignes opératoires en fonction des conditions de fonctionnement du site.
- Maintenance des équipements : types de maintenance (prédictive, préventive, curative, système autonettoyant) ; fréquences des actions de maintenance recommandée ; conséquences sur la disponibilité ; coûts associés.

Anticipez dès à présent le plan de comptage

Le plan de comptage au périmètre de la future installation est à intégrer dans l'étude de faisabilité ; en effet, il sera indispensable de vérifier les performances énergétiques ou de décarbonation de l'installation lors de sa mise en service et de les suivre dans le temps. Ce suivi temporel sert à mesurer les dérives dues entre autres aux variations de production, au vieillissement des équipements, aux phénomènes d'encrassement, aux températures extérieures... et, à quantifier l'impact du changement des conditions de fonctionnement du site. De manière induite cela permet également de mettre en place un plan de maintenance préventive.

Pour aller plus loin, l'ADEME vous propose un [modèle de plan de mesurage de l'énergie](#) et un [ouvrage sur le comptage de l'énergie](#).

Note : Le suivi des performances énergétiques de la solution peut être exigé pour valider l'atteinte de la performance de décarbonation, nécessaire pour finaliser l'octroi de l'aide à l'investissement de l'ADEME.

Les principales briques d'un projet de récupération de chaleur fatale

Ci-dessous sont repris, sans être exhaustif, des points de vigilance à connaître pour la mise en place d'un système de récupération et de valorisation de chaleur fatale.

Captage et récupération

Le système de captage de chaleur fatale reprend généralement les éléments suivants :

- Récupération du flux : système de captage du flux installé sur une canalisation existante ou en parallèle : vannes, hottes...
- Traitement du flux : la nature et la qualité du fluide, peuvent imposer un prétraitement pour être utilisable. Exemple : laveur de gaz, centrifugeuse, traitement chimique, dilution...
- Echange de la chaleur : parmi toutes les technologies disponibles (échangeurs à plaques, tubes calandres, ailettes, caloducs, à contact direct...), le prestataire conseil est chargé de trouver et justifier du choix de la technologie la plus adaptée, en prenant en compte les aspects coût/performances, mais aussi d'autres paramètres tels que compatibilité entre matériaux et flux, encrassement/nettoyage...

Stockage(s)

Nous nous focalisons sur le stockage d'énergie par chaleur sensible (exemple : ballon d'eau chaude). Ces systèmes sont les plus utilisés pour ce type de projet, ce qui n'exclut pas l'étude des autres technologies disponibles (chaleur latente, thermochimie...).

Le dimensionnement du système de stockage prend en compte les paramètres suivants :

- Matière stockée : le fluide de stockage peut être l'un des fluides caloporteurs (notamment lorsque l'on utilise de l'eau chaude) ou tout autre fluide mieux adapté.
- Capacité de stockage et déstockage : le dimensionnement du stockage doit être tel qu'il garantit la flexibilité opératoire, l'adaptation à des évolutions prévisibles du site. Un surdimensionnement peut être nécessaire : attention le surdimensionnement est inversement générateur de pertes thermiques ; le nombre de cycle possible (horaire, journalier) et les vitesses de stockage et déstockage.
- Maintien en température : l'isolation de la capacité de stockage est fondamentale pour préserver l'efficacité thermique du système ; selon la disponibilité de la source de chaleur, la mise en place d'un système de maintien en température pourra être nécessaire.
- Optimisation de la stratification : des phénomènes de stratification apparaissent dans les stockages. Le prestataire conseil doit quantifier ce phénomène et préciser la meilleure manière de le gérer.

Note : Le bon dimensionnement du/des systèmes de stockages est l'un des points clés à valider par simulation.

Rehausse de la température

Lorsque la source de chaleur est à une température inférieure au flux valorisant, la mise en place d'un système de rehausse de la température est nécessaire. La pompe à chaleur à compression mécanique de vapeur ou à absorption est la solution la plus utilisée mais il incombe au prestataire conseil de choisir et justifier la technologie la plus adaptée par rapport aux éléments suivants :

- Les technologies d'entraînements versus contexte énergétique du site ;
- Les coefficients de performances de la machine ;
- L'impact sur les performances énergétiques globales du site ;
- L'adaptation aux différentes conditions opératoires.

Distribution

Le prestataire conseil choisit et justifie des points suivants :

- Qualité de l'isolation : le choix du matériau et son épaisseur impacte à la fois les performances énergétiques et économiques de l'ensemble du système de captage. Ce poste n'est pas à négliger.
- Circulation des fluides : l'ensemble pompe/motorisation doit être conçu en fonction de la variabilité des conditions opératoires. Pour les systèmes où il y a peu de variabilité on choisit préférentiellement une pompe très performante dans le domaine de fonctionnement et un système d'entraînement simple. Dans le cas contraire, un entraînement à vitesse variable s'impose et la pompe doit être capable de fonctionner dans toute la gamme de débit.

Systeme d'appoint

Les conséquences du projet sur le site peuvent être de deux ordres :

1. **Le projet ne satisfait pas entièrement les besoins du bénéficiaire** : l'utilisation des équipements initiaux dans les nouvelles conditions opératoires doit être validée. L'achat de nouveaux matériels s'impose parfois. Rappelons que si ce déficit est temporaire le stockage peut être une solution ;
2. **Le projet modifie la fiabilité du site** : l'identification des conséquences d'un dysfonctionnement de la solution mise en place doit être réalisée. Des équipements de secours sont parfois nécessaires.

Utilisation directe de la chaleur

Rappel : L'utilisation directe de la chaleur correspond aux structures où cette chaleur est utilisée au travers d'un fluide en contact direct ou au travers d'un échangeur.

Le prestataire conseil choisit et justifie des équipements et des vecteurs par rapport aux problématiques suivantes : qualité du produit, encrassement/corrosion, compatibilité avec les produits (lors d'une utilisation par contact direct), performances du système satisfaisantes quel que soit le fonctionnement...

Utilisation indirecte de la chaleur

Rappel : L'utilisation indirecte de la chaleur correspond à un changement du vecteur énergétique.

- Production de froid : Rappelons que la production de froid par machine à compression ne permet pas de valoriser de la chaleur, au contraire ces groupes en dissipent au niveau de leur condenseur. Des technologies telles les pompes à chaleur à absorption sont disponibles commercialement et ont démontrés leur viabilité et rentabilité dans des conditions qu'il convient de valider.
- Production d'énergie mécanique / électrique : La transformation en énergie mécanique ou électrique est une autre voie pour valoriser la chaleur fatale, qui doit être envisagée lorsqu'il n'y a plus de solution d'utilisation directe de la chaleur. Les technologies les plus courantes sont les cycles vapeur et les Cycles Organiques de Rankine (ORC). D'autres systèmes se développent comme les systèmes thermoélectriques, les électrolyseurs hautes températures...

Bilan économique

Récapitulatif des investissements : le prestataire conseil liste l'ensemble des investissements liés à la réalisation de la solution, en distinguant les postes par nature (achat d'équipements, main d'œuvre, transport, levage, génie civil, etc.).

Le mode d'estimation de ces coûts (devis ou méthodes de calcul) doit être précisé.

Récapitulatif des coûts d'exploitation prévisionnels dont voici quelques exemples :

- Valorisation interne : gains/pertes sur les factures énergétiques ; gains/pertes sur les factures d'intrants matières.
- Valorisation externe : quantité d'énergie revendue, si pertinent ; coût de revente, fourni par le maître d'ouvrage.
- Valorisation interne/externe : gains sur les émissions de CO₂e si site soumis aux quotas EU-ETS ; évolution des charges d'exploitation (maintenance).

Montage financier prévisionnel : plusieurs dispositifs d'aides à l'investissement permettent d'accompagner des actions de baisse des émissions de CO₂e et d'économies d'énergie. Les modalités du contrat liant le maître d'ouvrage et le prestataire conseil précisent l'acteur en charge d'identifier le processus d'aide le plus adapté au projet. Voici une liste non-exhaustive de mécanismes pouvant intégrer le montage financier :

- Prêts « classiques » ;
- Prêts verts bonifiés : complémentaire à d'autres prêts mais dispose de conditions d'éligibilités plus spécifiques ;
- Tiers investissement: financement de la solution par un tiers se rémunérant sur les économies d'énergie ;
- Prêts PME sur enveloppe de la Banque Européenne d'Investissement : pour tout investissement matériel et immatériel permettant le développement d'une structure ;
- Fond Européen de Développement Economique et Régional (FEDER) : pouvant être attribué aux entreprises dont le projet contribue à atteindre les objectifs de la région.
- Certificats d'Economie d'Énergie (CEE)
- Fonds Chaleur (ADEME)
- Appels à projets de décarbonation des procédés et utilités de l'industrie (DECARB IND ou autre)
- ...

Livrable

A la fin de l'étude de faisabilité, le prestataire conseil doit remettre un rapport comprenant à minima les éléments suivants :

- Un rappel du contexte et des objectifs ;
- Les descriptions et bilans énergétiques : des équipements. Cela comprenant les consommations d'énergies, les rejets, les indicateurs de performances, les équations de corrélations, etc. ;
- Les actions d'économies d'énergie réalisables avant la mise en place du projet ;
- Le schéma du système de valorisation (comprenant la disposition des appareils de mesure) ;
- La liste des équipements composant la solution proposée, comprenant le détail des caractéristiques techniques, coût matériel, coût d'installation et coût de maintenance ;
- La disposition des appareils de mesures ;
- Le bilan économique du projet ;
- Le cas échéant, des impressions d'écran du fichier de simulation montrant les configurations et les résultats.

5 - MODALITES DE REALISATION DE LA PRESTATION

COMITE DE PILOTAGE

Les travaux relatifs à l'étude de faisabilité sont suivis par un comité de pilotage chargé d'orienter et de valider les démarches du prestataire conseil. Il est constitué :

- du bénéficiaire ;
- d'un représentant de la direction régionale de l'Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie (ADEME) ;
- d'un représentant du porteur de projet de récupération de chaleur fatale dans le cadre de l'étude de faisabilité exclusivement (2nde partie) ;
- dans le cas d'un rattachement à un réseau de chaleur existant, un ou plusieurs représentants de ce réseau (exploitant, entité organisatrice...) ;
- dans le cas d'une construction d'un nouveau réseau de chaleur, un ou plusieurs représentants de l'ensemble des entités concernées ;
- et de toute autre personne ou entité dont le bénéficiaire jugera la présence temporaire ou régulière utile.

REUNIONS

Dès signature du contrat, le prestataire conseil retenu présente au comité de pilotage lors d'une première réunion, son organisation, ses co-traitants et sous-traitants éventuels, les moyens affectés à l'étude, la méthodologie envisagée et le temps consacré à l'étude.

Il est à prévoir ensuite une réunion de restitution avec le comité de pilotage.

À tout moment et à l'initiative du bénéficiaire ou du prestataire conseil, des réunions de travail pourront être organisées en sus des 2 réunions évoquées ci-dessus.

DOCUMENTS

A la fin de la prestation, le prestataire conseil remet les éléments suivants :

- Rapport du diagnostic du site (Phase 1), le cas échéant ;
- Rapport de l'étude de faisabilité (Phase 2) reprenant ces différentes étapes de ce guide.

PROPRIETE DES RESULTATS

L'ensemble des résultats de cette étude est la propriété du bénéficiaire.

PRESTATAIRES D'ETUDES

Le prestataire conseil désigne une personne référente qui assure les relations avec le bénéficiaire.

En cas de sous-traitance, le prestataire conseil précise les coordonnées, la fonction, les références de l'entreprise avec laquelle il souhaite travailler. L'aval du bénéficiaire est indispensable avant toute participation d'un sous-traitant.

Le prestataire conseil précisera :

- le nombre et la qualité des personnes mobilisées par l'étude ;
- le temps prévisionnel passé par celles-ci pour l'étude en question ;
- les délais garantis de réalisation ;
- ses prix de prestations des phases ;
- ses références dans des études similaires.

DELAIS DE REALISATION

Le prestataire conseil doit se conformer aux délais annoncés au comité de pilotage lors de l'établissement de son devis.

Tout écart doit être préalablement autorisé par le bénéficiaire.

COÛT DE LA MISSION

Le prestataire conseil établit un devis détaillé correspondant au coût de la prestation dans son ensemble, faisant apparaître le nombre de journées de travail, les coûts journaliers du ou des intervenants ainsi que les frais annexes.

Le montant ainsi proposé inclut au minimum l'ensemble de la prestation telle que définie dans le présent cahier des charges.

RESTITUTION ET CONFIDENTIALITE

A l'issue de la mission, le prestataire conseil transmet son rapport final de l'étude de faisabilité, qui détaillera le résultat de son étude.

CONTRÔLE

La mission, une fois réalisée, peut faire l'objet - ce n'est pas systématique - d'un contrôle approfondi. Dans le souci de tester un échantillonnage représentatif, les dossiers sont choisis de manière aléatoire. Eventuellement un contrôle sur site peut être mené par un expert mandaté par l'ADEME afin de juger de la qualité de l'étude, de l'objectivité du rapport.

6 - ANNEXES

6.1 - ANNEXE 1 - PREREQUIS : ETAT DES LIEUX ET DEFINITION DU PERIMETRE DU PROJET

Ce prérequis établit l'état des lieux des ressources documentaires et métrologiques disponibles sur site, afin de déterminer les besoins d'analyses et de mesures complémentaires nécessaires à la bonne réalisation de l'étude de faisabilité.

Ce prérequis dont l'aboutissement est la proposition technico-commerciale du prestataire conseil n'est pas financée dans l'étude de faisabilité.

ETAPE 1 : Définition des objectifs

Le bénéficiaire doit transmettre :

- Les éléments de contexte du projet (projet consécutif à un audit énergétique, une étude d'opportunité d'évolution du mix énergétique de PACTE Industrie, une volonté de valorisation d'un rejet de chaleur fatale connu, un souhait de rénovation d'un réseau technique, une volonté d'institutions publiques de créer un réseau de chaleur...);
- Ses besoins et ses attentes concernant l'étude (valorisation de chaleur d'un point A à un point B, recherche d'un projet de valorisation de chaleur fatale, recherche d'une source de chaleur fatale pour valorisation sur un réseau...);
- La feuille de route de décarbonation du site et de l'entreprise, sa politique énergétique et son plan d'action d'économie d'énergie en cours ou à venir;
- Les consommations énergétiques antérieures du site ou d'équipements, ISO 50 001, plan de comptage en place, dispositif de suivi des performances énergétiques...;
- le calendrier d'exécution de l'étude.

ETAPE 2 : Etat des lieux du site et ressources

Préalablement à la rédaction d'une proposition technico-commerciale, le prestataire conseil réalise un état des lieux du site et des ressources à sa disposition afin de :

- 1) S'assurer la bonne compréhension du projet par le prestataire conseil ;
- 2) S'assurer – autant que possible – de la cohérence du projet dans un contexte de décarbonation en profondeur du site d'ici 2050 et de performance énergétique globale ;
- 3) Si nécessaire, définir le niveau d'approfondissement attendu et fixer le périmètre de l'étude de faisabilité.

L'état des lieux, complété par une visite du site, devra notamment s'appuyer sur l'exploitation d'un audit énergétique ou d'une étude d'opportunité effectués antérieurement sur le site (qu'ils soient globaux ou spécifiques). Cette démarche sert à :

- déterminer le niveau d'intervention du prestataire conseil (nécessité ou non d'une analyse complémentaire du site ?) et donc bâtir la proposition technico-commerciale ;
- identifier les technologies et l'agencement des systèmes existants et ainsi anticiper les contraintes de réalisation de l'étude et des solutions de valorisation.

Les éléments ci-après constituent une liste non-exhaustive des documents et informations utiles au prestataire conseil pour la réalisation de l'état des lieux.

- Lieu d'implantation : ville, département d'implantation du projet ;
- Secteur d'activité du bénéficiaire (code APE) ;
- Description de l'activité du site (type de production, saisonnalité, horaires de fonctionnement, contraintes particulières) ;
- Contraintes environnementales réglementaires, y compris SCEQE ;
- Procédés de production et utilités : synoptiques complets (avec identification de chaque opération unitaire), répartition des consommations d'énergie (gaz, vapeur, élec, froid, air comprimé, et autre) avec plans des réseaux énergies, focus sur les systèmes de récupération d'énergie déjà en place, répartition des émissions de CO2 équivalent, liste des principaux effluents et leurs températures ;
- Préciser le périmètre des installations concernées :
 - o Description de l'installation et de ses caractéristiques techniques, âge, sa fonction, son fonctionnement ;
 - o Raison du choix de cette source et de cette utilisation (proximité géographique, facilité de récupération, seule source disponible...) ;
- Audit/diagnostic énergétique du site et/ou d'équipements spécifiques ;
- Plan de comptage en place et à venir.

ETAPE 3 : Proposition technico-commerciale

Son objectif est de décrire toutes les phases d'études nécessaires à une analyse technico-économique avec le niveau de précision désiré par le client du projet identifié.

Lorsque la réalisation d'une analyse complémentaire ou d'une campagne de mesures est nécessaire, l'offre doit être séparée en plusieurs parties. Cette structuration facilite l'adaptation ultérieure de l'étude de faisabilité.

- 1) La partie technique décrit finement le programme de travail tel que détaillé dans le présent cahier des charges notamment :
 - sa durée (exemple : 4 à 5 mois) ;
 - son volume (exemple : 15 jours de conseil dont 5 sur site) ;
 - ses modalités (exemple : nombre de visites sur sites, campagnes de mesures...).
- 2) Une offre commerciale correspondant au coût de la prestation dans son ensemble, faisant apparaître la charge de travail, les coûts journaliers du (ou des) intervenant(s), les frais de déplacements, de mesures et les éventuels frais annexes.
- 3) Les références
 - Les CV et références des intervenants faisant ressortir les qualifications professionnelles en rapport avec la prestation demandée ;
 - Les références de la structure :
 - o Certifications / Accréditations / Qualifications ;
 - o Références d'analyses énergétiques comparables à la proposition et/ou attestant des capacités requises de la structure.

6.2 - ANNEXE 2 - METHODES D'ANALYSES APPROFONDIES REALISABLES

Ce paragraphe décrit succinctement un certain nombre de méthodologies d'analyses énergétiques avancées. Bien que non-indispensables, celles-ci donnent accès à une vue globale du management de l'énergie et facilitent l'établissement d'une stratégie cohérente. Elles peuvent être financées dans la phase 1 (optionnelle).

Méthode du pincement

La méthode du pincement (ou méthode Pinch) est particulièrement adaptée à la détection de solutions de valorisation de chaleur fatale.

Elle se concentre sur l'analyse des besoins en chaleur de la matière (flux froids) et de ses besoins en refroidissement (flux chauds). Cette caractérisation conduit à une représentation graphique simple permettant d'identifier plus aisément les synergies possibles entre différents flux et de quantifier la consommation cible d'un point de vue technico-économique.

Des outils informatiques basés sur cette méthode facilitent son utilisation et déterminent les meilleurs réseaux d'échangeurs d'un point de vue économique et/ou énergétique.

Avantages :

- Adapté à la valorisation de chaleur fatale ;
- Méthodologie intuitive.

Documentations :

- <http://www.recuperation-chaleur.fr/methodologie-pinch> ;
- *L'analyse Pinch: pour une utilisation efficace*, disponible sur <https://www.rncan.gc.ca> ;
- *Pinch Analysis and Process Integration*, Ian C. Kemp.

Analyse exergetique

L'exergie est représentée comme l'indicateur de la qualité d'une énergie.

Pour expliquer de façon simplifier ce qu'est l'exergie, prenons l'exemple d'une batterie 12 V, 2,3 Ah, et d'une casserole de 1 Litre d'eau à 44°C. Ces deux éléments contiennent chacun 100 kJ d'énergie, mais la batterie dispose d'une exergie de 100 kJ et l'eau chaude de 4 kJ, ce qui correspond à l'énergie mécanique récupérable par un cycle de Rankine idéal.

L'objectif d'un bilan exergetique est de quantifier les pertes en valeur d'usage des énergies mises en œuvre. L'ensemble des pertes exergetiques mesurent la quantité d'énergie surconsommée dans le procédé existant par rapport au procédé idéal thermodynamiquement.

L'objectif d'une analyse exergetique est donc d'identifier les réels besoins d'un procédé ou d'un équipement et de choisir la source d'énergie qui lui correspond le mieux.

Avantages :

- Permet une représentation accrue de l'efficacité d'un équipement ;
- Idéal en complément d'une analyse énergétique.

Documentations :

- *Méthodologie d'analyses énergétique et exergetique des procédés de transformation de produits dans l'industrie*, Bachir Abou Khalil.
- *Analyse exergetique des systèmes industriels*, Georges HEYEN

Analyse énergétique systémique

Elaborée à partir de la méthode du pincement et des bilans exergétiques, la méthodologie d'analyse énergétique systémique permet de réaliser une cartographie énergie et matière complète d'un site, pour en tirer le meilleur scénario d'optimisation des procédés et de valorisation énergétique interne.

Cette méthodologie comporte trois phases :

1. L'optimisation des procédés existants, en tentant de rapprocher leur consommation de leur énergie minimum requise (EMR), correspondant à la consommation énergétique minimum atteignable par l'optimisation du procédé ;
2. L'analyse du système globale pour identifier les valorisations potentielles entre les différents procédés et annexes ;
3. L'optimisation des utilités en fonction des nouveaux besoins tout en préservant la flexibilité nécessaire à la production.

Avantages :

- Spécifiquement adaptée à l'optimisation d'un site industriel ;
- S'inscrit parfaitement dans une démarche d'utilisation rationnelle de l'énergie.

Documentations :

- Article technique de l'ingénieur à paraître.

Approche mathématique et simulation

Au-delà des méthodologies décrites ci-dessus, méthodologies facilitant une approche globale de la gestion de l'énergie dans un site, il existe de plus en plus d'outils logiciel créés pour aider à l'identification de solutions d'économie d'énergie tant au niveau d'un équipement que d'un procédé ou d'un site complet. Ces outils s'appuient sur des analyses statistiques de données ou de modèles plus ou moins sophistiqués des systèmes mis en œuvre.

Les principaux domaines d'application sont les suivants :

- 1) Simulation de procédé ou d'équipement ;
- 2) Consolidation/Validation de données ;
- 3) Analyse statistique de données ;
- 4) Maintenance préventive.

L'ADEME EN BREF

À l'ADEME - l'Agence de la transition écologique - nous sommes résolument engagés dans la lutte contre le réchauffement climatique et la dégradation des ressources.

Sur tous les fronts, nous mobilisons les citoyens, les acteurs économiques et les territoires, leur donnons les moyens de progresser vers une société économe en ressources, plus sobre en carbone, plus juste et harmonieuse.

Dans tous les domaines - énergie, air, économie circulaire, alimentation, déchets, sols, etc., nous conseillons, facilitons et aidons au financement de nombreux projets, de la recherche jusqu'au partage des solutions.

À tous les niveaux, nous mettons nos capacités d'expertise et de prospective au service des politiques publiques.

L'ADEME est un établissement public sous la tutelle du ministère de la Transition écologique et du ministère de l'Enseignement supérieur, de la Recherche et de l'Innovation.

LES COLLECTIONS DE L'ADEME



FAITS ET CHIFFRES

L'ADEME référent : Elle fournit des analyses objectives à partir d'indicateurs chiffrés régulièrement mis à jour.



CLÉS POUR AGIR

L'ADEME facilitateur : Elle élabore des guides pratiques pour aider les acteurs à mettre en œuvre leurs projets de façon méthodique et/ou en conformité avec la réglementation.



ILS L'ONT FAIT

L'ADEME catalyseur : Les acteurs témoignent de leurs expériences et partagent leur savoir-faire.



EXPERTISES

L'ADEME expert : Elle rend compte des résultats de recherches, études et réalisations collectives menées sous son regard.



HORIZONS

L'ADEME tournée vers l'avenir : Elle propose une vision prospective et réaliste des enjeux de la transition énergétique et écologique, pour un futur désirable à construire ensemble.

Cahier des charges ADEME
**ETUDE DE FAISABILITE
RECUPERATION DE CHALEUR
FATALE POUR VALORISATION
INTERNE ET/OU EXTERNE**

Bâtiment
à u d i t
d'énergie
BTP - EnR

Entreprise
éco-conception
Diagnostic
énergie

Assistance
conseil
management
environnemental

Effet de serre
orientation
agriculture
déchetterie

Pollution
air - odeur
Plan de
déplacement
B r u i t

