



RÉPUBLIQUE
FRANÇAISE

*Liberté
Égalité
Fraternité*



PRESTATION D'ACCOMPAGNEMENT

ÉTUDE D'OPPORTUNITÉ D'ÉVOLUTION DU MIX ÉNERGÉTIQUE BAS CARBONE

CAHIER DES CHARGES

SOMMAIRE

1 - PRÉAMBULE	5
2 - CONTEXTE ET OBJECTIFS DE L'ÉTUDE	6
3 - PRÉSENTATION GÉNÉRALE DE LA PRESTATION	7
3.1 - CADRE DE L'ACCOMPAGNEMENT	7
3.2 - ELEMENTS CLES DE L'ETUDE.....	7
4 - DESCRIPTION DU CONTENU	8
4.1 - PERIMETRE DE L'ETUDE	8
4.2 - IMPORTANCE DE LA VISITE DU SITE INDUSTRIEL	8
4.3 - CHEMINEMENT DE L'ETUDE	8
4.4 - ETAPE 1 : PRESENTATION DU SITE INDUSTRIEL	9
4.5 - ETAPE 2 : BILAN DES CONSOMMATIONS ET ETAT DES LIEUX.....	9
4.5.1 - Bilan des consommations et des émissions GES	9
4.5.2 - Etat des lieux	9
4.5.3 - Besoins thermiques de référence	10
4.5.4 - Situation de référence	10
4.5.5 - Bilan des gaz à effet de serre	11
4.6 - ETAPE 3 : CHANGEMENT DE VECTEUR ENERGETIQUE	11
4.6.1 - Actions d'efficacité énergétique.....	11
4.6.2 - Changement de vecteur énergétique.....	11
4.7 - ETAPE 4 : ETUDE DES SOLUTIONS DE RECUPERATION DE CHALEUR FATALE	12
4.8 - ETAPE 5 : SYNERGIE A L'ECHELLE D'UNE ZONE INDUSTRIELLE	13
4.9 - ETAPE 6 : SOLUTIONS CHALEUR RENOUVELABLE	13
4.10 - ETAPE 7 : PRODUCTION D'ELECTRICITE RENOUVELABLE	14
4.11 - ETAPE 8 : SOLUTIONS D'ELECTRIFICATION.....	14
4.12 - ETAPE 9 : SOLUTIONS HYDROGENE.....	15
4.13 - ETAPE 10 – ETUDE TECHNIQUE, ENERGETIQUE ET IMPACT CARBONE.....	15

4.13.1 - Synergies et récupération de chaleur fatale	15
4.13.2 - Energies Renouvelables, Electrification et Hydrogène.....	17
4.14 - ETAPE 11 – ETUDE ECONOMIQUE.....	18
4.15 - ETAPE 12 : SYNTHESE ET FEUILLE DE ROUTE.....	21
4.15.1 - Synthèse des solutions.....	21
4.15.2 - Feuille de route	21
5 - DÉROULEMENT DE L'ÉTUDE	23
6 - RECOMMANDATIONS RÉCIPROQUES.....	24
6.1 - DU PRESTATAIRE VERS L'INDUSTRIEL	24
6.2 - DE L'INDUSTRIEL VERS LE PRESTATAIRE	24
7 - RESTITUTION ET LIVRABLES	24
8 - COÛT DE L'ÉTUDE	24
9 - CONTRÔLE.....	25
10 - CONFIDENTIALITE	25

TABLE DES ILLUSTRATIONS

Figure 1 - Hiérarchisation des actions en vue de décarboner un site industriel.....	6
Figure 2 - Hiérarchisation des solutions étudiées	7
Figure 3 - Synoptique du cheminement de l'étude.....	8
Figure 4 - Répartition des consommations d'énergie.....	10
Figure 5 - Points à prendre en compte pour définir la situation de référence	10
Figure 6 - Exemple de sources et usages de chaleur fatale récupérable	12
Figure 7 - Synoptique de la production d'H ₂ vert à partir d'un électrolyseur (source INDDIGO).....	15
Figure 8 - Exemple de représentation synthétique des solutions de chaleur fatale	16
Figure 9 - Exemple de représentation synthétique des solutions EnR	17
Figure 10 - Représentation visuelle de la synthèse des solutions	21
Figure 11 - Exemple de feuille de route de décarbonation	22
Tableau 1 - Exemple de tableau de synthèse présentant les moyennes annuelles et la référence définie sur une production cible	11
Tableau 2 - Changement de vecteur énergétique.....	11
Tableau 3 - Synthèse des solutions de récupération de chaleur fatale	12
Tableau 4 - Analyse des solutions de chaleur renouvelable	14
Tableau 5 - Synthèse solutions de récupération de chaleur fatale	16
Tableau 6 - Synthèse solutions d'EnR, hydrogène et électrification.....	17
Tableau 7 - Exemple de tableau économique pour comparaison avec une situation de référence.....	19
Tableau 8 - Exemple de tableau économique type pour solutions Chaleur Fatale	20

1 - PRÉAMBULE

L'aide à la décision de l'ADEME

Le programme PACTE Industrie vise à répondre aux besoins **d'accompagnement et de montée en compétence des industriels dans leur transition bas carbone**. Adapté à chaque industriel, il vous permet de structurer vos démarches pour vous guider vers le passage à l'action et les investissements associés.

Fondé sur des programmes qui ont fait leur preuve et complété par des méthodologies innovantes, le programme PACTE Industrie vous offre via un portail unique, un parcours multimodal pour engager toute la chaîne de décision de votre industrie vers la décarbonation.

Pourquoi s'engager dans PACTE Industrie ?

- Pour construire votre stratégie de décarbonation
- Pour identifier les leviers d'efficacité énergétique et de transformation du mix énergétique de vos sites
- Pour préparer les investissements avec des études techniques et prospectives
- Pour faire monter en compétence une équipe décarbonation transversale (technique, financière et stratégique)

Ce programme CEE, doté de 49 M€ sur 3 ans, est porté par l'ADEME et l'ATEE avec pour objectif d'enclencher un changement d'échelle dans l'engagement des industriels dans leur décarbonation.

Le présent document précise la méthodologie permettant de réaliser une étude d'opportunité d'évolution du mix énergétique pour un industriel.

2 - CONTEXTE ET OBJECTIFS DE L'ÉTUDE

L'étude d'opportunité sur le mix énergétique bas carbone doit permettre à l'industriel d'avoir une vision exhaustive des solutions de décarbonation compatibles techniquement avec son procédé ainsi qu'une analyse multicritère (technique, énergétique, environnementale et économique) sur les procédés les plus pertinents.

Cette prestation vient en complément de l'audit énergétique notamment pour proposer des solutions pour décarboner le mix énergétique du site industriel. Il est nécessaire que le candidat ait préalablement fait un audit énergétique de son site de moins de 4 ans, ou bien ait une revue énergétique s'il est certifié ISO 50 001. La prestation s'appuie en partie sur les résultats de l'audit ou de la revue : bilan des consommations énergétiques, répartition par poste, proposition d'actions d'amélioration de l'efficacité énergétique et de sobriété qui seront mises en œuvre à court et moyen terme pour définir une situation de référence, qui servira de base à la définition des solutions techniques de décarbonation.

La décarbonation industrielle suivra le cheminement suivant :

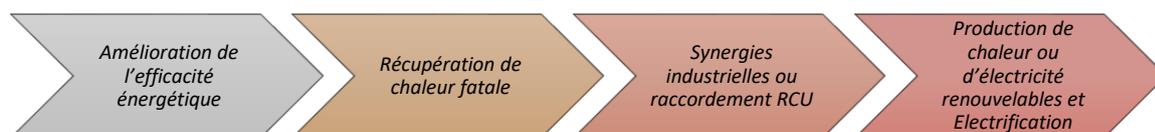


Figure 1 - Hiérarchisation des actions en vue de décarboner un site industriel

L'étude d'opportunité permet de balayer l'ensemble des solutions possibles et de donner à l'industriel une vision globale des enjeux de décarbonation sur son site ainsi qu'une première estimation des enjeux financiers qui y sont liés. Elle n'est pas adaptée pour détailler techniquement et économiquement une solution envisagée par l'industriel. Aucune mesure énergétique (pose de capteurs d'énergies, mesure de température de rejet, etc.) n'est réalisée sur le site.

Cette étude ne se substitue pas à une étude de faisabilité technique, qui elle sera plus détaillée. Elle permet à l'industriel d'enclencher une phase d'étude (faisabilité ou avant-projet) sur les sujets qui auront été mis en exergue.

L'étude sera réalisée par un prestataire ayant suivi la formation de l'ADEME « PACTE Industrie : accompagner les industriels sur des études d'opportunité du mix énergétique bas carbone - parcours consultants ». Les noms des intervenants réalisant l'étude devront apparaître dans le volet technique du dossier de demande d'aide ADEME afin de vérifier leur référencement lors de l'instruction du dossier. Ce référencement assure à l'industriel que le bureau d'étude mandaté réalisera l'étude dans son exhaustivité et conformément à la méthodologie établie : l'objectif principal étant de balayer l'ensemble des solutions de décarbonation potentielles sur le site.

3 - PRÉSENTATION GÉNÉRALE DE LA PRESTATION

3.1 - Cadre de l'accompagnement

L'étude d'opportunité permet de balayer l'ensemble des solutions possibles et de donner à l'industriel une vision globale des enjeux de décarbonation sur son site ainsi qu'une première estimation des enjeux financiers qui y sont liés. Elle n'est pas adaptée pour détailler techniquement et économiquement une solution envisagée par l'industriel. Aucune mesure énergétique (pose de capteurs d'énergies, mesure de température de rejet, ...) n'est réalisée sur le site.

Cette étude ne se substitue pas à une étude de faisabilité technique, qui elle sera plus détaillée. Elle permet à l'industriel d'enclencher une phase d'étude (faisabilité ou avant-projet) sur les sujets qui auront été mis en exergue.

3.2 - Éléments clés de l'étude

Les points clés de la présente étude seront synthétisés dans un rapport précisant les enjeux suivants :

- Description du site industriel et de l'activité
- Bilan énergétique et CO₂
- Actions d'efficacité énergétique ressortant de l'audit ou de la revue énergétique
- Récupération de chaleur fatale (sources & usages, quantification et chiffrage)
- Synergies locales (Réseau de chaleur urbain) ou industrielles
- Production et utilisation d'énergies renouvelables (solaire thermique, géothermie, Biomasse, CSR, ...)
- Production et utilisation d'électricité renouvelable (solaire photovoltaïque)
- Électrification des procédés (le potentiel d'électrification par des technologies matures et en développement sera évalué)
- Utilisation d'hydrogène sur le site (en substitution de l'hydrogène gris ou en hydrogène combustion pour des usages flammes > 400°C)
- Évaluation de la pertinence de l'utilisation de technologies moins matures sur le site (pyrolyse, gazéification, ...)

Une étude technique et économique des solutions retenues sera réalisée et comparée à une situation de référence représentative de la production des années futures.

Une feuille de route hiérarchisant ces solutions jusqu'à 2050 sera proposée.

Les actions proposées suivront la hiérarchisation suivante :

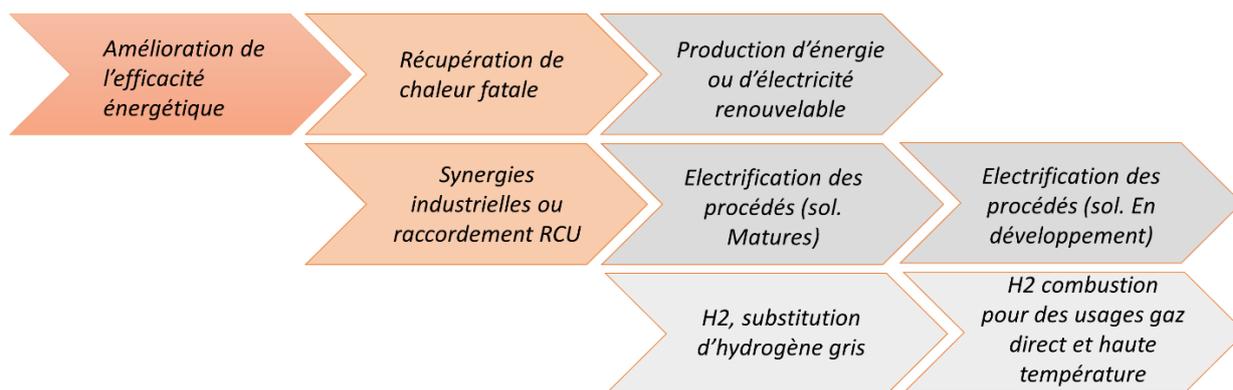


Figure 2 - Hiérarchisation des solutions étudiées

4 - DESCRIPTION DU CONTENU

4.1 - Périmètre de l'étude

Cette étude apportera des solutions de décarbonation sur le site industriel identifié et peut être envisagée à l'échelle de plusieurs sites ou sur un site industriel à l'échelle de plusieurs entreprises sur une zone industrielle pour favoriser les solutions de mutualisation.

4.2 - Importance de la visite du site industriel

La visite a pour but de visualiser, localiser et mieux comprendre le procédé. Les éléments à observer lors de la visite sont les suivants :

- Chauffage : type de chaudière/ année/ fluides/ ...
- Equipements produisant de la chaleur / froid
- Equipements consommateurs de chaleur / froid
- Rejets, fumées observables
- Compresseurs
- Groupes froids
- TAR
- CTA

Pendant la visite, des discussions sur le fonctionnement de ces équipements seront à mener. Des discussions seront également à initier avec l'industriel afin de savoir :

- Si certains éléments vont être remplacés, modifiés, optimisés
- S'ils ont des projets d'augmentation/réduction/diversification de la production (changement de marché, production d'un nouveau produit, ...), afin de déterminer une année de référence représentative des années futures
- S'ils ont des études en cours sur l'amélioration de l'efficacité énergétique du process, d'utilisation d'EnR ou de production d'électricité renouvelable

4.3 - Cheminement de l'étude

L'étude d'opportunité sur le mix énergétique bas carbone d'un site industriel traitera des aspects ci-dessous

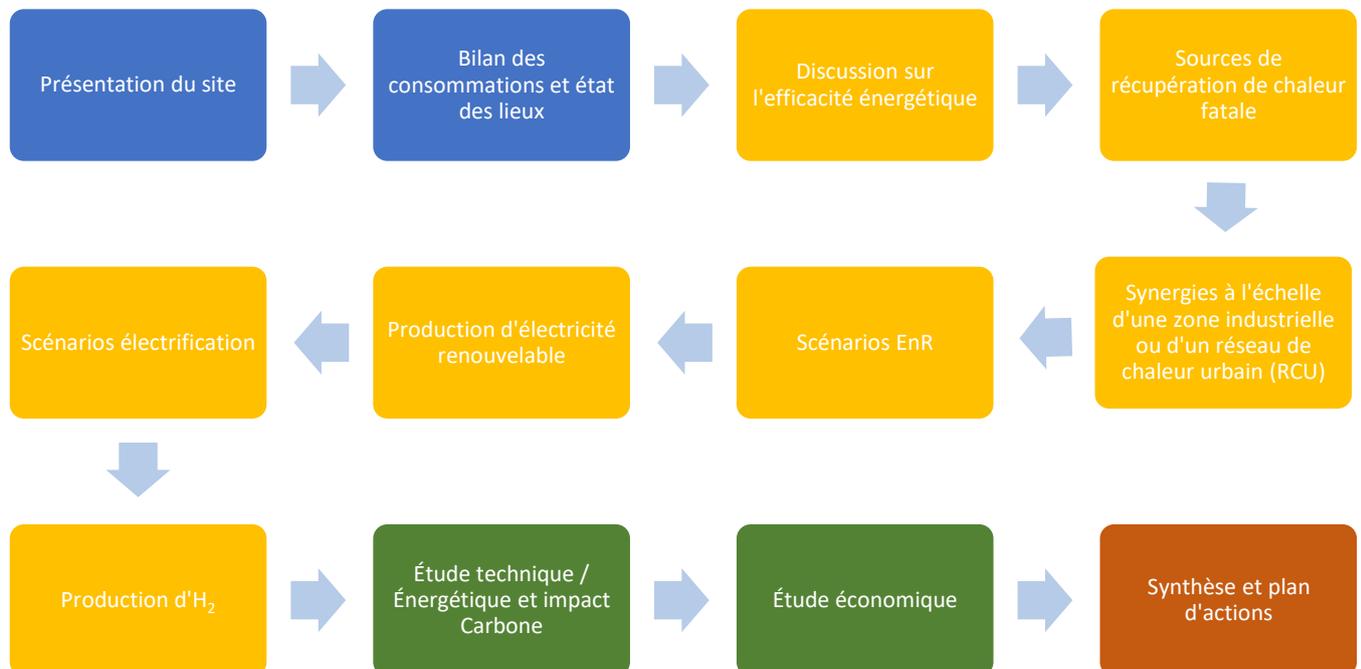


Figure 3 - Synoptique du cheminement de l'étude

4.4 - Etape 1 : Présentation du site industriel

- Informations générales :
 - Situation et coordonnées de l'industriel,
 - Nom, fonction et coordonnées du responsable du projet,
 - Nom et coordonnées de l'exploitant des installations thermiques.
- Contexte du projet :
 - Motivation de l'industriel,
 - Projets déjà réalisés sur le site ou sur d'autres sites,
 - Évolutions futures du site en lien avec la stratégie industrielle).
- Périmètre concerné par l'opération :
 - Description des activités du groupe industriel et du site,
 - Plan masse du site et localisation des principaux process. Ce plan masse est également utile pour localiser les sources de chaleur fatale et leurs usages potentiels.

4.5 - Etape 2 : Bilan des consommations et état des lieux

4.5.1 - Bilan des consommations et des émissions GES

Le bureau d'études fournira, établira ou reprendra le bilan des consommations énergétiques sur les 3 dernières années *a minima*, en précisant la source des données (analyse des factures, audit énergétique, bilan de l'industriel...).

Ce bilan sera accompagné d'un calcul des émissions des gaz à effet de serre (GES) qui constituera le bilan GES de référence.

Pour les sites soumis aux quotas CO₂e, ce bilan pourra être comparé aux quantités déclarées pour en expliquer les différences (chaufferie externalisée par exemple).

Données à collecter :

- Consommations énergétiques mensuelles et production des 3 dernières années représentatives
- Consommation électrique horaire sur une année représentative ou pointe 10 min électrique
- Consommation journalière ou horaire gaz/vapeur/eau chaude/... sur une année représentative
- Fichier de compilation des informations de sous-compteur électrique (compresseur, groupe froid...) et/ou gaz

4.5.2 - Etat des lieux

Le bureau d'études procédera à une visite des installations et conduira un entretien avec l'industriel afin de faire un état des lieux du fonctionnement du process et des utilités de l'usine :

- Description du process :
 - Description succincte des principales étapes de fabrication
 - Identification des niveaux de températures requis pour chaque étape du process
 - Identification, avec l'industriel, des équipements vieillissants ou à remplacer
 - Temps de fonctionnement de chaque process
- Production de chaleur à partir d'énergies fossiles ou renouvelables et usages associés :
 - Description des chaufferies (nombre de chaudières et puissance, combustibles utilisés, fluide caloporteur, rendement, température et pression de fonctionnement...),
 - Description des lignes de production et des usages de la chaleur sur ces lignes,
 - Repérage des zones potentielles de récupération de chaleur (eaux de refroidissement, condensats, fumées, air chaud, buées ou vapeur de procédé...),
 - Description des bâtiments (surface, volume, usage et besoins énergétiques : chauffage de locaux, production d'eau chaude sanitaire, production de froid...).
- Usage de l'électricité :
 - Il sera précisé sur les lignes de production, les process fonctionnant déjà à l'électricité pour la production de chaleur et la production de froid destinées au process

Données à collecter :

- Audit énergétique
- Revues énergétiques
- Plan masse de l'usine
- Schéma de principe de l'installation
- Temps de fonctionnement
 - Du site
 - Des différentes lignes de production
 - Identifier les phases d'arrêt (weekend, été, ...)

4.5.3 - Besoins thermiques de référence

À partir de l'état des lieux et du bilan des consommations énergétiques, le bureau d'études réalisera :

- Un bilan des besoins en chaleur produite et une répartition par usage (process, chauffage...),
- Un bilan des besoins en froid et une estimation de la consommation électrique associée.

Des sous-compteurs pourront être utilisés pour préciser les répartitions. La décomposition de ces consommations est nécessaire afin de mieux cibler et pré-dimensionner les solutions de décarbonation.

Il sera nécessaire de préciser les variations journalières, mensuelles et annuelles qui pourraient influencer le choix des solutions (variations climatiques, production en batch, rythme de fonctionnement du site de production variable, ...).

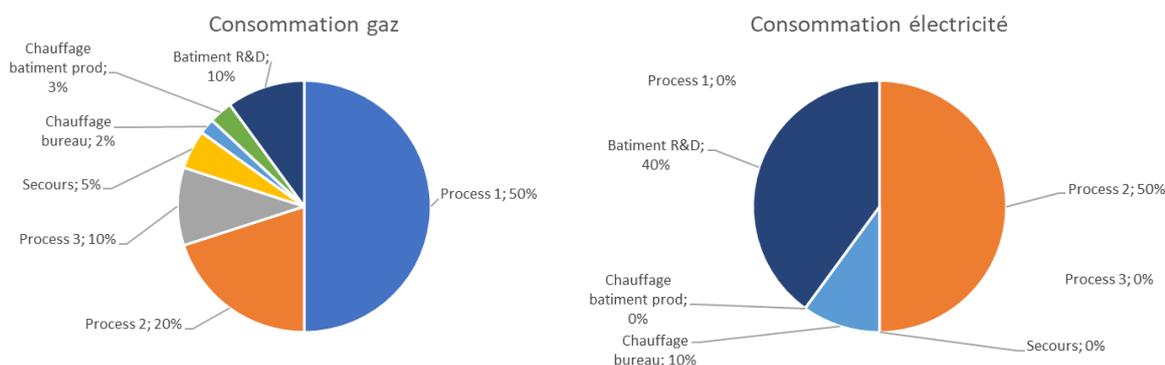


Figure 4 - Répartition des consommations d'énergie

4.5.4 - Situation de référence

Au-delà des préconisations qui seront réalisées dans la suite de l'étude, cette partie doit retranscrire les évolutions certaines ou probables de la consommation sur le site en lien avec l'évolution des quantités produites (nouveaux marchés, fermeture d'une ligne, augmentation du temps de fonctionnement des lignes, ...) ou avec des choix process entérinés (efficacité énergétique ou projet de récupération de chaleur fatale, ...).

Ces orientations découleront de l'entretien avec l'industriel et seront validées avec lui afin de figer la situation de référence.

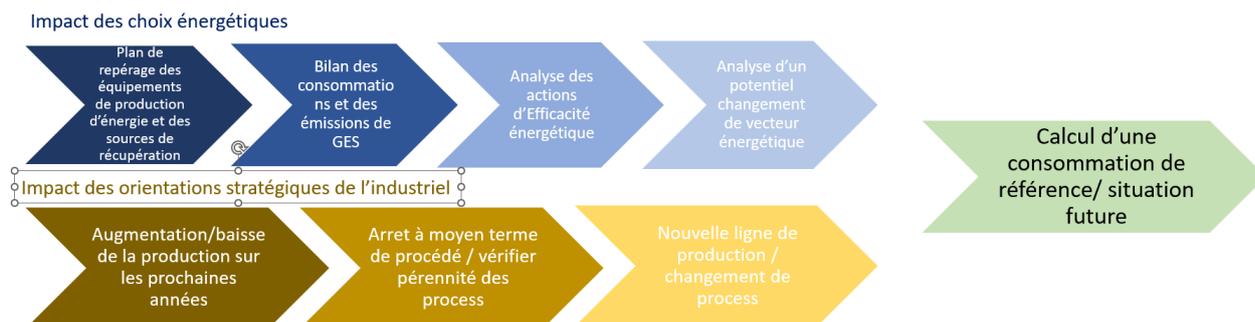


Figure 5 - Points à prendre en compte pour définir la situation de référence

Bilan des consommations en MWh PCS	Type d'énergie	2018	2019	2020	Moyenne	Référence
Consommation de gaz	Gaz naturel	91 986	90 713	86 321	89 673	100 262
Consommation de chaleur cogénération	Gaz naturel	14 032	13 836	11 586	13 151	13 457
Consommation d'électricité	Electricité	9 619	9 537	8 999	9 385	10 453
Total	-	115 637	114 086	106 906	112 210	124 172

Tableau 1 - Exemple de tableau de synthèse présentant les moyennes annuelles et la référence définie sur une production cible

4.5.5 - Bilan des gaz à effet de serre

Contrairement au bilan carbone qui traite le bilan GES dans sa globalité intégrant les catégories 1 à 6, le bilan présenté dans cette étude d'opportunité englobe uniquement les catégories 1 et 2 :

- Catégorie 1 : toutes les émissions directes, issues de combustibles fossiles (pétrole, gaz, charbon...)
- Catégorie 2 : émissions indirectes issues de la consommation d'électricité et de consommation énergétique externe (chaudière voisine, réseaux de chaleur / froid, etc.).

Les facteurs d'émissions à utiliser sont ceux de la base Empreinte de l'ADEME.

4.6 - Etape 3 : Changement de vecteur énergétique

4.6.1 - Actions d'efficacité énergétique

L'étude n'a pas vocation à proposer des actions d'efficacité énergétique, objet de l'audit énergétique qui est un prérequis de cette étude. En revanche, certaines actions seront discutées ou précisées avec l'industriel.

La situation future doit inclure les actions du diagnostic énergétique qui seront mises en œuvre par l'industriel.

4.6.2 - Changement de vecteur énergétique

L'étude doit évaluer l'intérêt technique et économique d'un changement de vecteur énergétique en vue de diminuer la consommation énergétique du site. Cela pourrait également permettre de favoriser la récupération de chaleur ou encore de mieux dimensionner la mise en place d'énergies renouvelables.

- Passage d'un réseau vapeur ou huile thermique en eau chaude en maintenant si nécessaire une petite chaudière uniquement pour les usages à haute température (> 100°C). Cette action permet aussi d'améliorer l'efficacité énergétique de l'usine. Il est donc nécessaire de déterminer les niveaux de températures et de quantifier les besoins de chaque process afin d'évaluer la pertinence de ce changement de vecteur énergétique.
- Création de réseaux hydrauliques pour remplacer des productions de chaleur indépendantes et en gaz direct pour du chauffage ou du process.

Le tableau suivant devra être complété et expliqué à l'industriel :

Type	Intérêts	Préconisations pour ce site
Changement de vecteur industriel	Favoriser l'utilisation d'EnR sur les réseaux Meilleure efficacité énergétique du réseau et du site	
Création de réseau hydraulique	Mutualiser les sources de chaleur Favoriser l'utilisation d'EnR sur les réseaux	

Tableau 2 - Changement de vecteur énergétique

4.7 - Etape 4 : Etude des solutions de récupération de chaleur fatale

L'étude doit balayer l'ensemble des sources disponibles, trouver des usages internes ou externes (RCU) et doit justifier l'abandon de certaines sources le cas échéant.

Un tableau de synthèse permettra de mettre en avant cette démarche :

Sources chaleur fatale	Disponible sur le site ?	Niveau de température de la source °C	Energie récupérable MWh
Rejets d'eau	Oui / Non		
Condensats	Oui / Non		
Groupe froid	Oui / Non		
TAR	Oui / Non		
Compresseurs	Oui / Non		
Fumées	Oui / Non		
Buées	Oui / Non		
Fours	Oui / Non		
Renouvellement d'air	Oui / Non		
Autres	Oui / Non		

Tableau 3 – Synthèse des solutions de récupération de chaleur fatale

Pour les sources compatibles techniquement avec certains usages, le prestataire présentera un tableau synthèse des enjeux énergétiques et techniques :

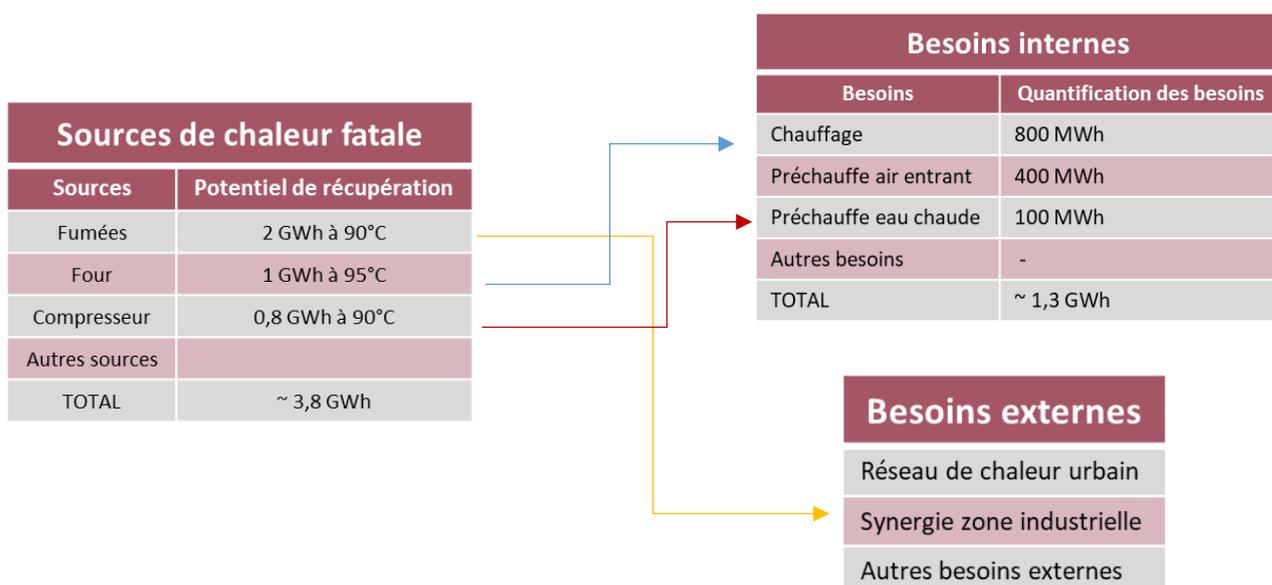


Figure 6 - Exemple de sources et usages de chaleur fatale récupérable

4.8 - Etape 5 : Synergie à l'échelle d'une zone industrielle

Lors de cette étude, le bureau d'études sera amené à vérifier si des synergies énergétiques sont envisageables à l'échelle territoriale.

Par exemple, la présence d'un réseau de chaleur sur lequel l'industriel pourrait puiser ou donner de la chaleur ou encore l'existence de chaleur fatale récupérable chez un voisin, la présence de plusieurs gros consommateurs proches qui pourraient s'entendre sur la création d'une chaufferie EnR commune ...

Des synergies sont également possibles pour l'achat d'H₂ bas carbone à un industriel voisin producteur d'H₂.

4.9 - Etape 6 : Solutions chaleur renouvelable

Pour pouvoir proposer des scénarios d'approvisionnement énergétique à partir d'énergies renouvelables, 3 points majeurs devront être analysés :

- La disponibilité de la ressource sur le site de l'industriel ou localement.
- L'adéquation entre les technologies EnR et les besoins du site à savoir si le procédé de valorisation de l'énergie peut répondre aux besoins du site en termes de fluide produit, température, pression...
- L'adéquation entre les besoins techniques des procédés EnR (surface, accès) et la configuration du site de l'entreprise.



Le tableau de synthèse suivant sera présenté dans l'étude afin de justifier la mise à l'écart des solutions non retenues.

Solutions proposées	Retenu ?	Justifications si non retenu
Réseau de chaleur alimenté en énergies renouvelables	Oui / Non	Pas de réseau à proximité Industrie isolée Pas de synergie sur la zone industrielle Profil de consommation non adapté
Géothermie superficielle sur sondes	Oui / Non	Zone orange/rouge GMI Pas de besoin associé Profil de consommation non adapté
Géothermie superficielle sur nappe	Oui / Non	Pas de ressource Profil de consommation non adapté
Solaire thermique	Oui / Non	Pas de surface disponible Pas de besoin associé Profil de consommation non adapté
Solaire Photovoltaïque	Oui / Non	Pas de surface disponible Profil de consommation non adapté
Chaufferie Biomasse	Oui / Non	Pas de surface disponible Pas de ressources locales Profil de consommation non adapté
Thalasso thermie	Oui / Non	Pas de ressource Profil de consommation non adapté
Déchets	Oui / Non	Pas de ressources locales Pas de besoin associé Profil de consommation non adapté
Gazéifieur Biomasse	Oui / Non	Pas de ressources locales Pas de besoin associé Profil de consommation non adapté Pas de surface disponible

Tableau 4 – Analyse des solutions de chaleur renouvelable

4.10 - Etape 7 : production d'électricité renouvelable

L'étude pourra proposer un projet d'électricité photovoltaïque ou de cogénération à partir d'une source EnR ou une source de chaleur fatale.

4.11 - Etape 8 : Solutions d'électrification

Le prestataire aura la capacité de présenter les solutions d'électrification qui s'offrent à l'industriel selon son secteur d'activité.

En complément des solutions de récupération ou d'énergies renouvelables, et surtout si ces solutions ne sont pas adaptées, le bureau d'études devra balayer, sur la base des benchmarks filières réalisés par l'ADEME, les possibilités de modification du process pour électrifier certains usages.

Cette approche sera concentrée sur les technologies matures :

- Les résistances
- Les chaudières électriques (eau chaude ou vapeur)
- Les pompes à chaleur (PAC)
- Les pompes à chaleur haute température (PAC HT)
- La conduction
- L'induction
- La compression mécanique de vapeur (CMV)
- L'infrarouge
- Les membranes
- L'arc

Des technologies moins matures pourront être abordées avec l'industriel, afin qu'il réalise une veille sur ces technologies (exemple : électrification des fours).

Il sera nécessaire de vérifier si la hausse des consommations électriques liées à ces préconisations a un impact sur l'abonnement, le raccordement au réseau et la tarification du site (notamment l'éligibilité à l'abattement TURPE). Il faudra également s'assurer qu'une augmentation de l'appel de puissance est compatible avec le réseau actuel.

Pour les PAC et PAC Haute Température (PAC HT), il est important de proposer des solutions avec des coefficients de performances (COP) élevés (supérieurs à 3 pour les PAC HT et supérieur à 4 pour les PAC). En effet, le coût de l'électricité étant actuellement fortement supérieur à celui du gaz, il est nécessaire que les économies d'énergie engendrées par l'électrification des procédés soient importantes pour que le temps de retour sur investissement soit faible pour l'industriel.

Par ailleurs, un COP > 3 est nécessaire pour conforter le gain énergétique en énergie primaire.

4.12 - Etape 9 : Solutions hydrogène

Pour les sites qui utilisent de l'H₂ dans leur process (raffinage pétrolier, production d'ammoniac, production de méthanol, production de l'acier), qui utilisent des flottes de véhicules lourds qu'ils souhaitent passer à l'H₂ ou qui projettent une utilisation future d'H₂, les synergies possibles avec des producteurs voisins seront étudiées (achat d'H₂ bas carbone à un industriel voisin producteur par exemple). Si l'achat d'H₂ décarboné n'est pas possible, il sera étudié la mise en place d'une station de production d'H₂ à partir d'électricité d'origine renouvelable (photovoltaïque,...) ou décarbonée (Réseau).

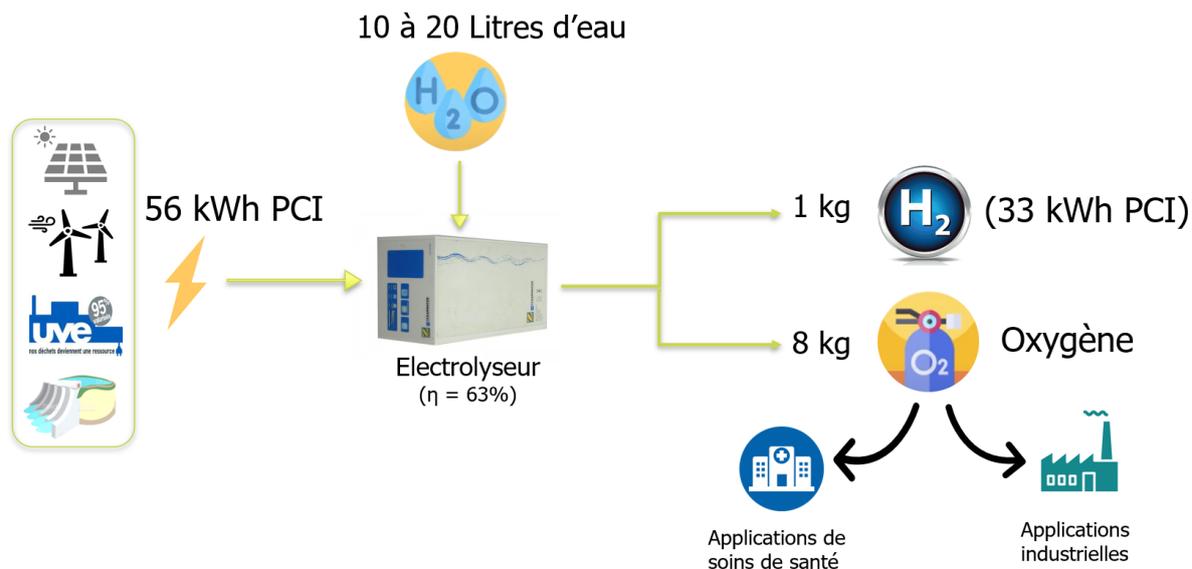


Figure 7 - Synoptique de la production d'H₂ vert à partir d'un électrolyseur (source INDDIGO)

En prospective et pour les usages en flamme directe supérieurs à 400°C, l'utilisation de l'hydrogène en combustion pourra être proposé dans la feuille de route.

4.13 - Etape 10 – Etude technique, énergétique et impact carbone

4.13.1 - Synergies et récupération de chaleur fatale

Pour la valorisation source de chaleur fatale, les données suivantes seront caractérisées :

- Sur la source de chaleur fatale :
 - Le potentiel de récupération (MWh/an)
 - La température de valorisation
 - Les caractéristiques temporelles de production de cette chaleur fatale (nombre d'heures par an, fréquence de production : uniquement la journée, toute la semaine, etc.)
- Les usages potentiels de la source de chaleur au vu des caractéristiques des différents équipements consommateurs de chaleur, veiller à des usages comme du préchauffage de fluide ou de matière et quantifier l'énergie utilisable (MWh/an)

- La nécessité de faire une réhausse de température via une PAC
- Le taux de couverture des besoins en énergie du site (%)
- Le gain CO_{2e} engendré par la solution (tCO_{2e}/an) et en % des émissions CO_{2e} du site sur l'année de référence

Le tableau suivant présente un exemple de rendu :

BILAN ENERGETIQUE et CO _{2e}	Récupération de chaleur			
Process concerné	Process 1	Process 2	Process 3	Process 4
Description	Récupération de CF via échangeur buées/eau +PAC	Récupération de CF sur les fumées	Récupération de CF sur compresseurs	Récupération de CF sur les condensats
Valorisation	Externe valo RCU	Externe valo RCU	Chauffage	Chauffage des bureaux
Temps de fonctionnement de la source	7920	5500	3193	7920
Niveau de température récupérable en °C	50	90	80	65
Potentiel de récupération MWh PCI	22179	2960	466	1379
Rendement d'échanges	80%	80%	100%	100%
Besoins (usage)	5000	5000	324	324
Réhausse PAC	OUI	NON	NON	OUI
COP PAC	4,4			4,8
Production énergétique finale (MWh)	6250	2368	324	324
Energie source captée	4822	2368	324	257
Consommation électrique PAC et auxiliaires	1428			67
Temps de fonctionnement récupération	7920	5500	1596	3960
Puissance de la source / échangeur KW	609	431	292	65
Technologie	Echangeur air/eau	Echangeur air/eau	Echangeurs huile/eau	Echangeur eau/eau + PAC
% des besoins de chaleur du site (chaleur)	5,6%	2,1%	0,3%	0,3%
Puissance PAC (le cas échéant)	1200	-	-	82
% de la consommation de l'équipement concerné	-	-	-	-
Gain CO₂ tonnes	538	204	67	67
<i>% des émissions de CO_{2e} du site</i>	2,8%	1,1%	0,3%	0,3%
<i>Energie évitée</i>	<i>Gaz naturel</i>	<i>Gaz naturel</i>	<i>Gaz naturel</i>	<i>Gaz naturel</i>
<i>Hypothèse contenu kgCO_{2e}/kWh PCI</i>	<i>0,187</i>	<i>0,187</i>	<i>0,187</i>	<i>0,187</i>
<i>Contenu CO_{2e} RCU</i>	<i>0,101</i>	<i>0,101</i>	-	-

Tableau 5 – Synthèse solutions de récupération de chaleur fatale

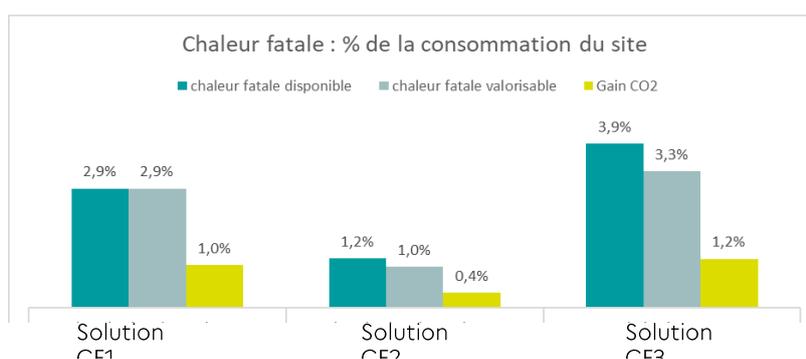


Figure 8 – Exemple de représentation synthétique des solutions de chaleur fatale

4.13.2 - Energies Renouvelables, Electrification et Hydrogène

Pour les solutions d'utilisation d'énergies renouvelables, les solutions proposées sont comparées à une solution carbonée de référence (qui correspond généralement à la situation actuelle pour couvrir le même besoin). Les données suivantes seront précisées :

- La puissance à installer (kW)
- L'énergie fournie par cette solution (MWh/an)
- S'il y a, l'énergie d'appoint nécessaire en complément de cette solution (MWh/an)
- Le taux de couverture des besoins en énergie du site (%)
- Le gain CO_{2e} engendré par la solution (tCO_{2e}/an) et en % des émissions CO_{2e} du site sur l'année de référence

Le tableau suivant présente un exemple de rendu :

3 - SOLUTION 3 : Chaudière biomasse		
Bilan Energétique	Chaudière biomasse vapeur (bois propre)	Référence bruleur gaz
Besoin du process	70 400	
Besoins à couvrir MWh (limitation température) par la biomasse	45 056	
Puissance Bois	4 600	
Rendement bois	85%	
Production thermique EnR MWh	36 045	
Production appoint MWh	34 355	70 400
Rendement appoint	100%	100%
Consommation EnR MWh	42 406	
Consommation appoint MWh PCI	34 355	70 400
Taux de couverture des besoins de l'équipement concerné	51,2%	
Temps de fonctionnement pleine puissance	7 920	
Gain tCO_{2e}	6 740	
Emissions de CO _{2e} de la solution	6 424	13 165
% des émissions de CO _{2e} du site	34,8%	
Type d'énergie évitée	Gaz naturel	Gaz naturel
Hypothèse contenu kgCO _{2e} /kWh PCI	<i>0,187</i>	<i>0,187</i>
Hypothèse contenu EnR kgCO _{2e} /kWh PCI		

Tableau 6 - Synthèse solutions d'EnR, hydrogène et électrification

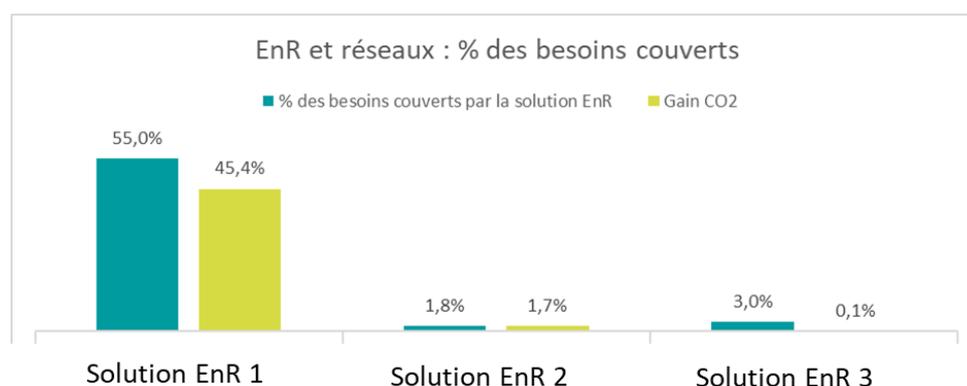


Figure 9 - Exemple de représentation synthétique des solutions EnR

4.14 - Etape 11 – Etude économique

Pour chaque solution identifiée comme pertinente à valoriser énergétiquement, l'étude suivra la démarche d'une analyse en cout global.

- **Chiffrage des investissements** sur un détail macro (3 à 5 postes maximum)
 - Equipements (PAC, échangeurs thermiques, aérothermes, chaudières)
 - Hydrauliques et électricité (Environ 10 à 20%)
 - Génie civil le cas échéant
 - Etudes et MOE (10 à 15%)
- **Evaluation des subventions possibles**
 - CCR (Contrat de Chaleur renouvelable) sur la commune
 - Fonds Chaleurs
 - CEE (attention, les entreprises soumises au Quotas CO₂ ne sont pas éligibles aux CEE standardisées)
 - Appels à projets ADEME
 - France 2030
 - Subventions temporaires en cours
 - Subventions régionales
 - Subventions européennes
- **Calcul de l'annuité d'emprunt** (P4 ; durée de 10 ou 20 ans pour une approche simplifiée et taux d'emprunt à discuter avec l'industriel)
- **Calcul des charges annuelles (OPEX) :**
 - L'OPEX sera détaillé selon les éléments suivants :
 - P1 : Prix du combustible
 - Fixer avec l'industriel les prix des énergies prises dans l'étude (factures énergétiques et prévisions économiques) (€ HT/MWh)
 - P1' : Prix du combustible auxiliaire (électricité) le cas échéant
 - P2 : Frais de personnel et de maintenance
 - P3 : Approvisionnement pour gros entretien ou renouvellement
 - Recettes :
 - Economie d'énergie
 - Vente d'énergie (sur un réseau de chaleur, à un autre industriel)
 - Gains quotas CO₂ : Si l'entreprise est soumise au quotas CO₂, évaluer le gain lié aux réductions d'émissions de CO₂
- **Calcul du cout global annuel = Somme P1+P1'+P2+P3+P4 – recettes**
- **Calcul du prix de revient de l'énergie (€HT/MWh_{utile})**
- **Calcul du temps de retour sur investissement (TRB)**, en comparaison avec la solution de référence (ans) pour les solutions ENR et d'électrification.

Le temps de retour sur investissement (TRB) sera évalué en tenant compte des investissements, des subventions, des charges (OPEX) et des recettes éventuelles :

$$\text{Temps de retour} = \frac{\text{Investissement total} - \text{subventions}}{\text{recettes} - \text{charges}}$$

Le temps de retour sur investissement pourra être calculé en tenant compte des frais financiers liés à l'emprunt (P4 sur 10 ou 20 ans) ou sans en tenir compte après discussion avec l'industriel.

En cas de temps de retour élevé, il est pertinent d'évaluer à partir de quel prix des énergies la solution devient rentable économiquement, ou d'évaluer l'impact de l'inflation sur ce temps de retour.

Les tableaux suivants présentent un exemple de rendu :

Analyse économique	Biomasse	Référence Gaz
CAPEX	6 360 000 €	
<i>Process Biomasse</i>	5 060 000 €	
<i>Adaptation Process</i>	1 300 000 €	
Subventions		
Taux de subvention attendu	40,0%	
Montant subvention	2 024 000	
P4 : Annuités d'emprunt en € HT/an (20 ans / 3%)	291 447	
OPEX : charges annuelles €HT	4 125 566 €	4 693 320 €
<i>P1 : Prix Combustible EnR en €HT/MWh</i>	35	
<i>P1 : Combustible EnR en € HT/an</i>	1 261 564 €	
<i>P1 : Prix Combustible appoint en € HT/MWh PCI</i>	66,67	66,67
<i>P1 : Combustible appoint en € HT/an</i>	2 290 340 €	4 693 320 €
<i>P'1 : Prix Electricité en € HT/MWh</i>	100,00	
<i>P'1 : Electricité en € HT/an</i>	1 262 €	
<i>P2</i>	381 600 €	
<i>P3</i>	190 800	
Recettes		
<i>Prix de valorisation du quotas CO₂</i>	75	
<i>Gain quotas CO₂</i>	505 527 €	
Coût global annuel (P1+P1'+P2+P3+P4) - Recettes	3 911 487 €	4 693 320 €
Prix de revient de l'énergie €/MWh	56 €	67 €
TRB (avec frais financier)	5 ans	
TRB (sans frais financier)	4 ans	

Tableau 7 - Exemple de tableau économique pour comparaison avec une situation de référence

ANALYSE ECONOMIQUE	Récupération de chaleur			
Process concerné	Process 1	Process 2	Process 3	Process 4
Description	Récupération de CF via échangeur buées/eau +PAC	Récupération de CF sur les fumées	Récupération de CF sur compresseurs	Récupération de CF sur les condensats
Valorisation	Externe valo RCU	Externe valo RCU	Chauffage	Chauffage des bureaux
Investissement/CAPEX k€	1 179 000 €	171 000 €	58 000 €	124 000 €
<i>Process (échangeur, ballon)</i>	243 524 €	129168	43 800 €	9 722 €
<i>Electricité automatisme, hydraulique, ...</i>	12 176 €	25 834 €	8 760 €	486 €
<i>Etudes et MOE</i>	107 170 €	15 500 €	5 256 €	11 248 €
<i>PAC</i>	816 000 €			102 273 €
Subventions	Fonds chaleur	Fonds chaleur	pas de CEE, site EUTS	Fonds chaleur
Taux de subvention	30%	30%		30%
MWh Cumac				37 200 €
Prix MWh Cumac				
Montant total subvention	353 700 €	51 300 €		37 200 €
P4 : Annuités d'emprunt en € HT/an (10 ans / 2%)	91 878 €	13 326 €	6 457 €	9 663 €
OPEX : charges annuelles €HT	174 072 €	2 368 €	324 €	8 354 €
<i>P1 : Prix Combustible EnR en € HT/an</i>				
<i>P1 : Combustible EnR en € HT/an</i>				
<i>P1 : Prix Combustible appoint en € HT/an</i>				
<i>P1 : Combustible appoint en € HT/an</i>				
<i>P'1 : Prix Electricité en € HT/an</i>	100 €			100
<i>P'1 : Electricité en € HT/an</i>	142 822 €			6 734 €
<i>P2 : Frais de personnel et maintenance en € HT/an</i>	20 313 €	1 539 €	211 €	1 053 €
<i>P3 : Gros entretien en € HT/an</i>	10 938 €	829 €	113 €	567 €
Recettes	196 563 €	74 476 €	29 049 €	29 049 €
<i>Prix de l'énergie économisée €/MWh PCI</i>			67 €	67 €
<i>Economie de consommation interne</i>			24 000 €	24 000 €
<i>Prix de valorisation de la chaleur fatale</i>	25	25		
<i>Revenu vente de chaleur</i>	156 250 €	59 202 €		
<i>Prix de valorisation du quotas CO₂</i>	75 €	75 €	75 €	75 €
<i>Gain quotas CO₂</i>	40 313 €	15 274 €	5 049 €	5 049 €
Coût global annuel (P1+P1'+P2+P3+P4) - Recettes	69 387 €	-58 782 €	-22 268 €	-11 031 €
TRB	36,7	1,7	2,0	5,5
	> 30 ans	< 2 ans	2 ans	5-10 ans

Tableau 8 - Exemple de tableau économique type pour solutions Chaleur Fatale

4.15 - Etape 12 : Synthèse et feuille de route

En fin d'étude, une synthèse des différentes solutions pertinentes identifiées tout au long de l'étude sera présentée. Un cumul de gains en émissions de CO₂e sera calculé.

4.15.1 - Synthèse des solutions

Si des solutions sont en compétition sur des usages ou sur des surfaces, le choix devra être fait en fonction de la priorisation des actions (efficacité énergétique, chaleur fatale, synergies puis énergies renouvelables et électrification), et des gains environnementaux ou économiques engendrés par chaque solution (en cas de compétition entre des solutions de même catégorie).

Un graphique comme ci-dessous pourra être présenté en synthèse :

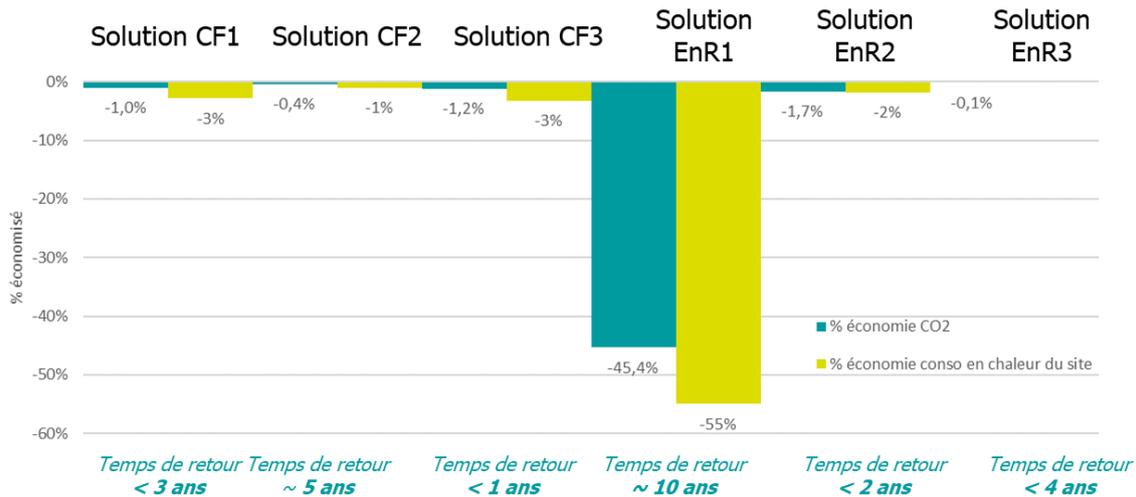


Figure 10 – Représentation visuelle de la synthèse des solutions

4.15.2 - Feuille de route

La feuille de route doit donner une vision jusqu'à 2050 des potentiels projets de décarbonation sur le site.

L'analyse technique, économique et environnementale des projets « matures » aura permis de les hiérarchiser entre eux. Le changement de vecteur énergétique (s'il est pertinent) et la récupération de chaleur fatale sont toujours à prioriser. Plusieurs solutions de récupération de chaleur fatale ressortent généralement des études d'opportunité. Il faut donc veiller à ce que les solutions ne soient pas en conflit d'usage, mais bien complémentaires. Dans ce cas, la solution la plus pertinente soit d'un point de vue CO₂e, soit d'un point de vue économique sera retenue.

Les solutions EnR ont généralement des temps de retour sur investissement plus élevés. Elles doivent être envisagées à la suite des solutions de récupération de chaleur fatale et/ou de changement de vecteur énergétique. Si une solution EnR est identifiée comme pertinente sur un usage pouvant être couvert partiellement par de la récupération de chaleur fatale, la solution de récupération sera à prioriser et la solution EnR sera dimensionnée sur l'énergie complémentaire.

Les solutions d'électrification matures peuvent être proposées dès à présent. Les solutions moins matures ou en prospective, ainsi que les solutions biogaz ou hydrogène combustion doivent être positionnées plus tardivement, soit après des solutions EnR en concurrence si conflit d'usage soit en complément à partir de 2035 (certaines technologies nécessitent des développements technico-économiques).

La feuille de route est présentée à l'industriel qui peut ensuite proposer des modifications qui pourront être validées dans le rendu final.

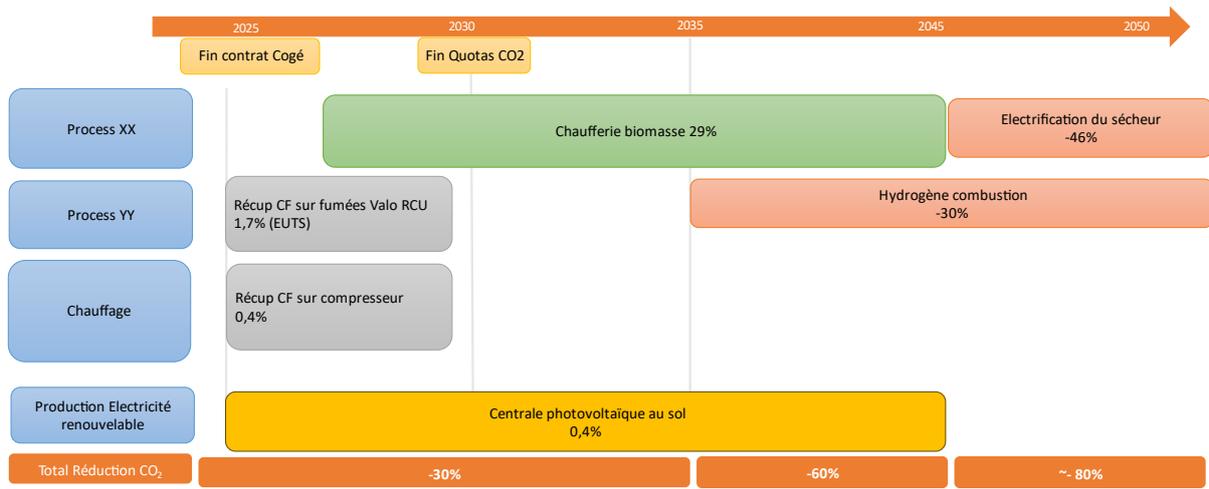


Figure 11 - Exemple de feuille de route de décarbonation

5 - DÉROULEMENT DE L'ÉTUDE

L'accompagnement du bureau d'études se déroule en 7 étapes sur une période totale de 2 à 3 mois selon la complexité de l'étude et le temps nécessaire à la collecte des données :

Phase 1	<p>1^{ère} prise de contact par téléphone et/ou mail</p> <p>Objectifs :</p> <ul style="list-style-type: none">• Initier la collecte de données• Fixer la date de la réunion de lancement et/ou de la visite
Phase 2	<p>Réunion de lancement</p> <p>Objectifs :</p> <ul style="list-style-type: none">• Rencontre des interlocuteurs• Présentation de l'étude et remise en contexte des études d'opportunités• Faire le point sur les données collectées <p>Planning : Le jour de la visite du site en présentiel ou 1 semaine avant la visite en visioconférence</p>
Phase 3	<p>Visite du site</p> <p>Objectifs :</p> <ul style="list-style-type: none">• Rencontre et discussions avec les interlocuteurs• Localiser les différents postes consommateurs d'énergies et les sources de chaleur, voir les distances entre équipements et les surfaces disponibles• Mieux comprendre le procédé industriel
Phase 4	<p>Travail du chef de projet sur les besoins et solutions</p> <p>Objectifs :</p> <ul style="list-style-type: none">• Validation et analyse des données collectées et des informations recueillies lors de la visite• Récupération de chaleur fatale, synergies industrielles, réseau de chaleur → Identification des sources et des usages• Valorisation des déchets internes et utilisation d'Énergies renouvelables → Identification des ressources et du foncier disponibles• Electrification• Utilisation d'hydrogène <p>Planning : Environ 1 mois</p>
Phase 5	<p>Réunion intermédiaire</p> <p>Objectifs :</p> <ul style="list-style-type: none">• Présenter l'analyse de consommations énergétiques et le bilan CO_{2e} du site• Présenter les scénarios de récupération de chaleur et d'utilisation d'EnR• Proposition de solutions techniques (sans chiffrage)• Compléter la collecte d'information nécessaire à la finalisation du rapport <p>Planning : 1 – 1,5 mois après la réunion de lancement</p>
Phase 6	<p>Travail du chef de projet sur l'analyse technico-économique des solutions</p> <p>Objectifs :</p> <ul style="list-style-type: none">• Réaliser une analyse technico-économique de chaque solution et le bilan CO_{2e} associé• Proposer une synthèse des différentes solutions sur chaque thème• Proposer une feuille de route des actions à mettre en place <p>Planning : Environ 1 mois</p>
Phase 7	<p>Réunion finale</p> <p>Objectifs :</p> <ul style="list-style-type: none">• Présenter les résultats de l'étude• Guider l'industriel vers les étapes suivantes de la décarbonation• Mettre en relation l'industriel avec des fournisseurs <p>Planning : 1 – 1,5 mois après la réunion intermédiaire</p>

6 - RECOMMANDATIONS RÉCIPROQUES

6.1 - Du prestataire vers l'industriel

La qualité de l'étude dépend de la capacité de l'industriel à :

- Mettre à disposition un interlocuteur unique en capacité de collecter l'ensemble des informations nécessaires à l'étude et de synthétiser les avis des différents services (direction, achat, travaux neufs, maintenance, contrôle de gestion...). Afin de faciliter les échanges avec le prestataire lors de l'étude et garantir une optimisation des résultats, il est fortement recommandé que cet interlocuteur soit formé référent énergie (formation PROREFEI)
- Accueillir le prestataire sur une journée pour le lancement de l'étude et la visite du site de production ; La présence de la direction à la réunion de lancement et à la restitution est souhaitée
- Fournir l'ensemble des données (dont l'audit énergétique ou revue énergétique, les factures énergétiques, ...) que vous avez à votre disposition en vue de pouvoir maximiser la qualité de l'étude. Les données à collecter sont précisées en annexe 1 (un accord de confidentialité sera signé entre l'industriel et le bureau d'étude)
- Être transparent et réactif dans les échanges avec le bureau d'études

6.2 - De l'industriel vers le prestataire

De manière réciproque, le prestataire s'engagera à :

- Faire intervenir une équipe projet compétente et disponible, avec un interlocuteur unique et privilégié pour les échanges, les visites, les réunions et la restitution des livrables
- Formuler des demandes claires et formalisées, et être réactif en cas de question de la part de l'industriel
- Fournir un travail d'analyse au plus près des besoins et du contexte de l'industriel
- Être transparent dans les méthodes de calcul utilisées, les hypothèses posées (dans le cas où des données seraient manquantes) ou sur l'ensemble des résultats obtenus tout au long de l'étude
- Présenter de manière égale toutes des possibilités d'amélioration en fournissant l'ensemble des informations détaillées permettant une décision éclairée de l'industriel

7 - RESTITUTION ET LIVRABLES

L'accompagnement se clôture avec la réunion de restitution des résultats. Le prestataire présente à l'industriel la synthèse de l'étude, intégrant les analyses principales et l'ensemble des solutions préconisées.

Les livrables prévus par l'étude sont les suivants :

- Les comptes-rendus des échanges (préalable, réunion de lancement, ...) et de la visite, éventuellement synthétisés par mail
- Le support de présentation de la restitution intermédiaire
- Le rapport détaillé comprenant l'ensemble des analyses et des préconisations
- La synthèse des solutions
- La feuille de route

8 - COÛT DE L'ÉTUDE

Le prestataire établira une offre technique et financière détaillée 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 inclura au minimum l'ensemble de la prestation telle que définie dans le présent cahier des charges.

L'offre technique et financière fera explicitement référence à la méthodologie ADEME « Etude d'opportunité d'évolution du mix énergétique bas carbone » en indiquant séparément les prestations complémentaires éventuelles.

Le taux d'aide maximum de l'ADEME pour une étude d'opportunité d'évolution mix énergétique bas carbone varie de 50 à 70% (selon la taille de l'entreprise) pour une assiette éligible de 10 000€ maximum.

9 - CONTRÔLE

La prestation, une fois réalisée pourra faire l'objet - ce n'est pas systématique - d'un contrôle approfondi par l'ADEME afin de juger de la qualité de l'étude et de l'objectivité du rapport. La qualité de la prestation sera notamment analysée sur la base des livrables et des réponses aux questionnaires de satisfaction de l'industriel accompagné.

10 - CONFIDENTIALITE

Le prestataire s'engage à maintenir strictement confidentiels toutes les informations, documents et résultats produits en exécution de la prestation ainsi que toutes les données et informations qui lui auront été communiquées par le maître d'ouvrage.

L'ensemble des livrables liés à cet accompagnement sera également accessible à l'ADEME.

ÉTUDE D'OPPORTUNITÉS D'ÉVOLUTION DU MIX ÉNERGÉTIQUE BAS CARBONE

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, économie circulaire, alimentation, mobilité, qualité de l'air, adaptation au changement climatique, sols... - 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.

