

Certificats d'économies d'énergie

Fiche de calcul – Opération n° IND-UT-137

Mise en place d'un système de pompe(s) à chaleur (PAC) en réhausse de température de chaleur fatale récupérée

1. Secteur d'application

Industrie.

2. Dénomination de l'opération

Mise en place d'un système de pompe(s) à chaleur (PAC) de type air/air, air/eau ou eau/eau à compression de vapeur entraînée par un moteur électrique en rehausse de température dont la source froide est de la chaleur fatale récupérée afin de couvrir un besoin de chaleur sur le site (procédé, chauffage des locaux ou eau chaude sanitaire) de puissance thermique « chaud » inférieure ou égale à 2 MW.

La présente fiche n'est pas cumulaire avec les fiches IND-BA-112, IND-UT-103, IND-UT-117, IND-UT-118, INDUT-138 et IND-UT-139.

La présente fiche s'applique aux opérations engagées avant le 1^{er} janvier 2030.

3. Conditions pour la délivrance de certificats

La mise en place est réalisée par un professionnel.

La présente fiche s'applique aux systèmes de pompe(s) à chaleur (PAC) de type air/air, air/eau ou eau/eau à compression de vapeur entraînée par un moteur électrique en rehausse de température à partir d'une source de chaleur fatale générée par un site industriel et de puissance thermique « chaud » inférieure ou égale à 2 MW.

Un système de pompe(s) à chaleur désigne une ou plusieurs pompe(s) à chaleur, montées en parallèle ou en série, ainsi que les pompes et ventilateurs des sources froides et chaudes de chacune des pompes à chaleur.

La source froide du système de pompe(s) à chaleur est le fluide en entrée de ce système.

La chaleur fatale est une chaleur générée par une installation qui n'en constitue pas une des finalités premières, et qui n'est pas récupérée. Dans le cadre de la présente fiche, est considérée comme chaleur fatale un effluent liquide ou gazeux répondant à la définition précédente et ayant une température en continu sur l'année supérieure à 25°C.

La chaleur fatale est générée par le site industriel concerné par l'opération.

La chaleur fatale valorisée par l'opération n'a pas fait l'objet de valorisation antérieure à l'opération.

Le système de PAC :

- utilise un ou des fluide(s) frigorigène(s) dont le PRG (potentiel de réchauffement global) est strictement inférieur à 150 ;

- a un coefficient de performance (COP) annuel moyen, tel que $\text{COP annuel moyen} = \frac{Q}{E_{\text{élec}}}$, supérieur au COP annuel moyen minimal défini conformément au tableau ci-dessous en fonction de la rehausse en température et de la température de l'eau en sortie du condenseur.

Q (en kWh/an) est l'énergie thermique annuelle fournie sous forme de chaleur en sortie du système calculée en fonction des points de fonctionnement et durées identifiés dans l'étude de dimensionnement et $E_{\text{élec}}$ (en kWh/an) est

l'énergie électrique annuelle absorbée par le système qui est la somme des énergies électriques absorbées par le ou les compresseur(s) et les auxiliaires, définis ci-dessous, calculée en fonction des points de fonctionnement et durées identifiés dans l'étude de dimensionnement.

Les auxiliaires du système de PAC correspondent aux pompes et ventilateurs de la source froide et de la source chaude, qu'ils soient préexistants à l'opération ou non.

Ecart de température entre le fluide caloporteur en sortie du condenseur et le fluide frigoporteur en sortie de l'évaporateur (en K)	COP annuel moyen minimal pour une PAC dont la température en sortie de condenseur est inférieure ou égale à 100°C	COP annuel moyen minimal pour une PAC dont la température en sortie de condenseur est supérieure à 100°C
< 30	5,9	4,5
30	5,9	4,5
31	5,7	4,3
32	5,5	4,2
33	5,4	4,1
34	5,2	3,9
35	5,1	3,8
36	4,9	3,7
37	4,8	3,6
38	4,7	3,5
39	4,5	3,4
40	4,4	3,4
41	4,3	3,3
42	4,2	3,2
43	4,1	3,1
44	4,0	3,1
45	3,9	3,0
46	3,9	2,9
47	3,8	2,9
48	3,7	2,8
49	3,6	2,7
50	3,5	2,7
51	3,5	2,6
52	3,4	2,6
53	3,3	2,5
54	3,3	2,5
55	3,2	2,4
56	3,2	2,4
57	3,1	2,4
58	3,1	2,3
59	3,0	2,3
60	3,0	2,2
61	2,9	2,2
62	2,9	2,2
63	2,8	2,1
64	2,8	2,1
65	2,7	2,1
66	2,7	2,0

67	2,6	2,0
68	2,6	2,0
69	2,6	2,0
≥ 70	2,5	2,0

La mise en place du système de pompe(s) à chaleur fait l'objet d'une étude préalable de dimensionnement, établie, datée et signée par le professionnel ou un bureau d'étude. Elle vise à évaluer les économies d'énergie attendues, en évaluant la chaleur valorisée au regard de la chaleur fatale récupérable et des besoins de chaleur du site industriel. Elle vise également à montrer la cohérence dans le temps entre la récupération de chaleur et les besoins de chaud du site industriel.

L'étude de dimensionnement comporte les éléments suivants :

I. Identification de l'opération :

- a) La raison sociale et l'adresse du bénéficiaire ;
- b) L'adresse du chantier si différente de l'adresse du bénéficiaire.

II. Description des caractéristiques techniques des flux :

L'étude de dimensionnement considère :

- dans le cas d'un site existant : la chaleur fatale et les besoins d'une année représentative du fonctionnement du site ;
- dans le cas d'un site existant ne disposant pas d'un historique de mesures, sous réserve de justification de l'indisponibilité de données suffisantes : la chaleur fatale et les besoins annuels représentatifs du fonctionnement du site, estimés d'après une campagne de mesures sur d'une durée supérieure ou égale à deux mois ;
- dans le cas d'un site neuf : la chaleur fatale et les besoins annuels représentatifs du fonctionnement du site, calculés à partir d'une simulation thermique.

II.1. Chaleur fatale :

- a) Indication de la nature de la chaleur fatale récupérable et récupérée (buées de séchage, fumées de fours ou de chaudières, condenseurs froid, etc.) ;
- b) Evaluation de la quantité de chaleur fatale récupérée par l'opération, indication de la température et réalisation de la courbe de charge correspondant à la disponibilité de la chaleur fatale récupérable (en y soustrayant l'éventuelle chaleur fatale déjà récupérée avant l'opération) sur une année représentative ; si les sources de chaleur fatale sont multiples, la courbe de charge correspondant à la disponibilité de la chaleur fatale récupérable est la somme des courbes individuelles de chaque source et la température de la chaleur fatale est la somme des températures de chaque source pondérée par le volume associé ;
- c) Description des équipements existants permettant déjà une récupération de chaleur provenant de la source concernée par l'opération et ceux qui sont mis en place dans le cadre de l'opération.

II.2. Besoin de chaleur du site industriel :

- a) Indication de la nature des besoins de chaleur du site à couvrir pour les usages : procédés industriels, eau chaude sanitaire et/ou chauffage des locaux ;
- b) Evaluation de la quantité de chaleur nécessaire pour couvrir les besoins identifiés du site, indication de la température et réalisation de la courbe de charge correspondante sur une année représentative ; la puissance nécessaire du ou des condenseurs pour couvrir les besoins de chaleur identifiés est évaluée à cette fin ; si les besoins en chaleur du site sont multiples, la courbe de charge correspondante est la somme des courbes individuelles de chaque besoin.

II.3. Dimensionnement du système de PAC :

- a) Justification de la durée prévisionnelle de fonctionnement du système par l'étude de la simultanéité entre la disponibilité de la chaleur fatale et des besoins de chaleur du site industriel ; pour cela, on réalisera une superposition des courbes de charge (temps synchrone) sur la durée considérée par l'étude de dimensionnement ; on définit ainsi la durée annuelle D, exprimée en heures, pendant laquelle la valorisation de la chaleur fatale permet de couvrir tout ou partie des besoins de chaleur ; cette durée ne peut être supérieure à 8 760 heures ;

- b) Indication des températures de la chaleur fatale récupérée et de la chaleur produite par le système, qui doivent être réputées constantes ;
- c) Identification des points de fonctionnement principaux et des durées de fonctionnement associées (entre 5 et 10 points de fonctionnement) du système en fonction des valeurs prises par les courbes de charge réalisées aux *b* du II.1 et *b* du II.2 sur une année représentative ;
- d) Calcul de Q (en kWh/an), l'énergie thermique annuelle fournie sous forme de chaleur en sortie du système calculée en fonction des points de fonctionnement et durées identifiés au *c* du II.3 ;
- e) Calcul de E_{elec} (en kWh/an), l'énergie électrique annuelle absorbée par le système, qui est la somme des énergies électriques absorbées par le ou les compresseur(s) et les auxiliaires, définis ci-dessous, calculée en fonction des points de fonctionnement et durées identifiés au *c* du II.3 ;
- f) Calcul du COP annuel moyen $= Q/E_{elec}$;
- g) Justification du bon dimensionnement de la pompe à chaleur au regard des besoins à couvrir sur une année représentative, qui précise en particulier :
- i. La puissance électrique maximale absorbée par le système évaluée grâce aux courbes de charge réalisées aux *b* du II.1 et *b* du II.2 ;
 - ii. Les températures de fonctionnement du système (en sortie du condenseur, côté besoin, et en sortie de l'évaporateur, côté source) permettant de calculer l'écart de température, ΔT moyen, sur les périodes de fonctionnement ;
 - iii. La puissance thermique « chaud » (en kW), c'est-à-dire la puissance thermique maximale nécessaire du système ;
 - iv. Pour chaque point de fonctionnement identifié au *c* du II.3 :
 - la durée de fonctionnement ;
 - la puissance thermique (en kW thermique) ;
 - le taux de charge (en %), c'est-à-dire le rapport entre la puissance thermique au point de fonctionnement considéré et la puissance thermique « chaud » ;
 - la puissance électrique absorbée par le ou les compresseurs et les auxiliaires (en kW électrique) ;
- h) Description du système incluant la ou les pompe(s) à chaleur ainsi que les pompes de distribution et les ventilateurs, la longueur du circuit de distribution, les éventuels stockages, etc., accompagnée d'un schéma simplifié de l'installation. Ce schéma fait apparaître au minimum la ou les pompe(s) à chaleur, les pompes de distribution, les ventilateurs, les éventuels stockages, la ou les source(s) de chaleur fatale, le ou les besoin(s) alimentés, le circuit de distribution et les puissances et températures des différents réseaux ;
- i) Evaluation des économies d'énergie attendues, sur une période annuelle représentative ;
- j) Justification du fait que la température d'entrée du condenseur, côté besoin, lorsque le système de PAC est en fonctionnement, est en permanence supérieure à la moyenne des températures de chaleur fatale disponible.

Le système de PAC installé est tel que :

- l'énergie thermique annuelle fournie par le système installé est supérieure ou égale à celle calculée au *d* du II.3 ci-dessus de l'étude de dimensionnement ;
- l'énergie électrique annuelle absorbée par le système installé est inférieure ou égale à celle calculée au *e* du II.3 ci-dessus de l'étude de dimensionnement.

Dans le cas où la récupération de chaleur nécessiterait l'installation d'un système comportant plusieurs pompes à chaleur, la présente fiche ne sera utilisée qu'à une seule reprise. Le bilan est global aux bornes du système.

Aucun équipement du système ne doit avoir fait l'objet, en dehors de l'opération considérée, d'une valorisation au titre du dispositif des certificats d'économies d'énergie.

Dans le cas d'un montage de PAC en parallèle :

- i. Le besoin de chaleur considéré est commun ;
- ii. L'énergie thermique fournie sous forme de chaleur Q du système est la somme des énergies thermiques fournies sous forme de chaleur en sortie de chaque PAC. De même, la puissance thermique du système est la somme des puissances thermiques fournies en sortie de chaque PAC.

Dans le cas d'un montage de PAC en série :

- i. La première pompe à chaleur doit être alimentée par la chaleur fatale, directement ou par l'intermédiaire d'un échangeur de chaleur ;
- ii. L'énergie thermique fournie sous forme de chaleur Q du système est celle fournie en sortie de la dernière pompe à chaleur. De même, la puissance thermique du système est celle fournie en sortie de la dernière pompe à chaleur.

Les instruments de mesure suivants sont installés :

- pour mesurer la puissance électrique absorbée : des wattmètres sur le ou les compresseur(s) et les auxiliaires ;
- pour mesurer la quantité de chaleur délivrée : un dispositif de mesure d'énergie thermique (débitmètre au niveau du ou des condenseur(s) et sondes de température en entrée et sortie du ou des condenseur(s)).

Les mesures sont enregistrées et conservées par le bénéficiaire pendant neuf ans à compter de la date d'achèvement de l'opération. Le bénéficiaire s'engage à transmettre ses mesures à des fins de traitements statistiques et de contrôle.

Dans le cas de la mise en place d'une pompe à chaleur simple :

La preuve de la réalisation de l'opération mentionne la mise en place d'une pompe à chaleur en rehausse de température de chaleur fatale récupérée, la puissance plaquée du ou des compresseur(s), les puissances thermiques fournies et puissances électriques absorbées du ou des compresseur(s) et, s'ils ne préexistaient pas à l'opération, des auxiliaires, à tous les points de fonctionnement identifiés dans l'étude de dimensionnement.

À défaut, la preuve de réalisation de l'opération mentionne la mise en place d'un équipement avec ses marque et référence et elle est complétée par un document issu du fabricant indiquant que l'équipement de marque et référence installé est une pompe à chaleur et mentionnant la puissance plaquée du ou des compresseur(s), les puissances thermiques fournies et puissances électriques absorbées du ou des compresseur(s) et, s'ils ne préexistaient pas à l'opération, des auxiliaires, à tous les points de fonctionnement identifiés dans l'étude de dimensionnement.

Dans le cas de la mise en place d'une pompe à chaleur simple :

La preuve de la réalisation de l'opération mentionne la mise en place d'une pompe à chaleur en rehausse de température de chaleur fatale récupérée, la puissance plaquée du ou des compresseur(s), la puissance plaquée du ou des condenseur(s) et, s'ils ne préexistaient pas à l'opération, des auxiliaires, à tous les points de fonctionnements identifiés dans l'étude de dimensionnement.

À défaut, la preuve de réalisation de l'opération mentionne la mise en place d'un équipement avec ses marque et référence et elle est complétée par un document issu du fabricant indiquant que l'équipement de marque et référence installé est une pompe à chaleur et mentionnant la puissance plaquée du ou des compresseur(s), les puissances thermiques fournies et puissances électriques absorbées du ou des compresseur(s) et, s'ils ne préexistaient pas à l'opération, des auxiliaires, à tous les points de fonctionnements identifiés dans l'étude de dimensionnement.

Dans le cas de la mise en place d'un système comportant plusieurs pompes à chaleur :

La preuve de la réalisation de l'opération mentionne la mise en place de plusieurs pompes à chaleur en rehausse de température de chaleur fatale récupérée, montées en série ou en parallèle, la puissance plaquée du ou des compresseur(s), les puissances thermiques fournies et puissances électriques absorbées du ou des compresseur(s) et, s'ils ne préexistaient pas à l'opération, des auxiliaires, à tous les points de fonctionnement identifiés dans l'étude de dimensionnement.

À défaut, la preuve de réalisation de l'opération mentionne la mise en place d'équipements avec leurs marque et référence et elle est complétée, pour chaque équipement, d'un document issu du fabricant indiquant que l'équipement de marque et référence installé est une pompe à chaleur et mentionnant la puissance plaquée du ou des compresseur(s), les puissances thermiques fournies et puissances électriques absorbées du ou des compresseur(s) et, s'ils ne préexistaient pas à l'opération, des auxiliaires, à tous les points de fonctionnement identifiés dans l'étude de dimensionnement.

Le document justificatif spécifique à l'opération est l'étude de dimensionnement susmentionnée. L'étude de dimensionnement est tenue à disposition par le bénéficiaire en cas de contrôle.

4. Définition du segment du parc concerne

Les PAC dans l'industrie.

5. Réglementation en vigueur ou prévue

Aucune réglementation impactant l'opération, contrairement aux secteurs Bâtiment Tertiaire et Bâtiment Résidentiel, soumis à l'écoconception.

6. Situation de référence

Situation initiale : Production de chaleur sous forme d'eau chaude pour le chauffage du procédé ou du conditionnement d'ambiance, fournie par une chaudière à combustible suivant la réglementation 2015/2402 de la commission du 12 octobre 2015.

Situation de référence : L'implantation des PAC dans l'industrie est actuellement marginale, la situation de référence retenue est, par conséquent, la situation initiale : On considère donc la chaleur fatale non-exploitée comme dans le cadre de l'IND-UT-117.

Situation cible : Production de chaleur sous forme d'eau chaude pour le chauffage du procédé ou du conditionnement d'ambiance, fournie par un système de PAC BT, HT ou THT (selon le niveau de température souhaitée) après une réhausse de température d'un effluent de chaleur fatale récupérée.

Exemples d'opérations :

Type de valorisation	Exemples d'opération
Chauffage des locaux ou Eau chaude sanitaire	Production eau chaude sanitaire
	Préchauffage d'eau pour chauffage centralisé
	Production d'air chaud pour chauffage de locaux
Chauffage du procédé	Utilisation de chaleur dans une étape du procédé industriel
	Eau chaude de rinçage, nettoyage

7. Durée de vie conventionnelle

Nous prenons une durée de vie de 14 ans, soit un coefficient d'actualisation de 10,986 avec un taux de 4% par an.

La durée de vie d'une PAC correspond généralement à la durée de vie du compresseur. Sur les fiches PAC existantes des secteurs résidentiel et tertiaire, on retrouve des durées de vie respectives de 17 et 20 ans. Cependant, Les PAC industrielles sont plus complexes et fonctionnent généralement dans des conditions de température et de pression plus élevées. Nous retiendrons donc pour cette fiche PAC industrie une durée de vie de 14 ans, plus représentative de l'industrie et similaire à la durée de vie de la fiche IND-UT-117.

8. Gain annuel en énergie finale généré par l'opération en kWh/an

Exprimée en kWh/an, le gain énergétique en énergie finale correspond à la quantité de chaleur utilisée en sortie de système permettant de couvrir des besoins thermiques du site industriel (procédé ou chauffage), déduction faite de l'électricité consommée par le système.

Economies d'énergie finale annuelles :

Economies d'énergie finale annuelles en kWh /an		Energie thermique (chaleur) fournie en sortie du système		Energie électrique absorbée par le système
E	=	Q	-	E _{élec}

Avec, les données suivantes évaluées et mentionnées dans l'étude de dimensionnement préalable :

Q (en kWh/an) l'énergie thermique annuelle fournie sous forme de chaleur en sortie du système calculée en fonction des points de fonctionnement et durées identifiés dans l'étude de dimensionnement

E_{élec} (en kWh/an) l'énergie électrique annuelle absorbée par le système qui est la somme des énergies électriques absorbées par le ou les compresseur(s) et les auxiliaires¹ calculée en fonction des points de fonctionnement et durées identifiés dans l'étude de dimensionnement.

9. Montant des certificats en kWh cumac

Forfait retenu :

Le volume de certificats d'économies d'énergie est déterminé comme suit :

$$10,986 \times (Q - E_{\text{élec}})$$

Q (en kWh/an) est l'énergie thermique annuelle fournie sous forme de chaleur en sortie du système, calculée au d du II.3 ci-dessus de l'étude de dimensionnement.

E_{élec} (en kWh/an) est l'énergie électrique annuelle absorbée par le système, qui est la somme des énergies électriques absorbées par le ou les compresseur(s) et les auxiliaires, calculée au e du II.3 ci-dessus de l'étude de dimensionnement.

10. Détail des gisements estimés en TWhc

Selon l'étude du CEREN pour l'ADEME sur la chaleur fatale (« LE POTENTIEL DE RÉCUPÉRATION DE CHALEUR FATALE DANS L'INDUSTRIE, LES UIOM, LES DATA CENTER ET LES STEP », 2016), l'industrie représente 20% des consommations énergétiques en France. Le gisement de chaleur fatale dans l'industrie est de 109,5 TWh dont 56,6 TWh de chaleur fatale inférieure à 100 °C (donc valorisable par une PAC).

Les secteurs de l'industrie présentant les plus gros gisements de chaleur fatale inférieure à 150°C sont l'industrie agro-alimentaire, l'industrie du papier-carton et les industries chimie plastique. De plus, les besoins de chaleur inférieurs à 150°C dans l'industrie représentent un gisement de 82 TWh et les industries ayant les besoins les plus importants sont également celles qui rejettent le plus de chaleur fatale.

¹ Définis en page 2

11. Taux de couverture des CEE en %

Simulation des taux de couverture pour les différents cas avec une prime CEE de 7€/MWhc.

	Exemple 1	Exemple 2
Q (kWh/an)	21 395 000	3 325 000
E _{élec} (kWh/an)	5 651 000	777 000
T _{évaporateur} (°C)	35	30
T _{condenseur} (°C)	85	85
Réhausse en température ΔT (K)	50	55
COP annuel moyen minimal	3,5	3,2
COP annuel moyen réel	3,7	4,3
CAPEX (€)	2 660 000	562 564
Forfait CEE (kWh cumac)	117 089 887	20 309 818
Taux de couverture	31 %	25%
Forfait CEE « Energie finale intégrale »	172 963 584	27 992 328
Taux de couverture « Energie finale intégrale »	46%	35%

Tableau 2 : Exemples de projets issus du Fond Chaleur de l'ADEME

12. Calcul du Temps de Retour sur Investissement

(Fournir un TRI avec une prime de 7,5€/MWhc)

Suivi des modifications

Date	Entité/Porteur	Modifications	Liste des organisations ayant participé aux GT

Date	Entité/Porteur	Modifications	Liste des organisations ayant participé aux GT
26/09/2022		Création de la FC par les porteurs (EDF)	
13/03/2023		Retour ADEME sur la FC proposée	
24/03/2023		Version nettoyée et critères supplémentaires de l'ADEME	
28/03/2023		Retour ATEE/Porteurs sur les remarques ADEME Document de travail pour le premier GT	
05/09/2024	ATEE	Document publié sur site après parution de l'arrêté 62	
65 ^{ème}	ATEE	Mise à jour du forfait intégrant le calcul en énergie finale intégrale	
30/04/2025	ATEE	Modification de l'ordre des chapitres et mise en forme.	
01/07/2025	ATEE	Calcul TRI	

Annexe I : Méthode de détermination des COP moyen annuel minimaux

Les valeurs renseignées dans le tableau sont déterminées via les formules suivantes :

$$COP_{\text{annuel moyen minimal}, T_c < 100^\circ\text{C}} = \frac{T_c = 85^\circ\text{C}}{T_c - T_f} \times 0,55 \times 0,90$$

et

$$COP_{\text{annuel moyen minimal}, T_c > 100^\circ\text{C}} = \frac{T_c = 130^\circ\text{C}}{T_c - T_f} \times 0,37 \times 0,90$$

- Le premier terme correspond au rendement théorique, dit rendement de Carnot, déterminé à une température de sortie fixée.
- Le deuxième terme correspond à un coefficient de Carnot qui permet de caractériser l'écart entre les performances théoriques et les performances réelles de la pompe à chaleur.
- Le troisième terme correspond à la prise en compte des auxiliaires dans le système installé, dont les consommations électriques viennent abaisser le coefficient de performance du système.

Pour les températures supérieures à 100°C, il a été décidé de choisir un coefficient de Carnot plus faible que pour les températures inférieures à 100°C, afin de prendre en compte les baisses de performances des pompes à chaleur opérant à hautes températures.

ANNEXE 2 : PRESENTATION DE LA SOLUTION OU DU SERVICE