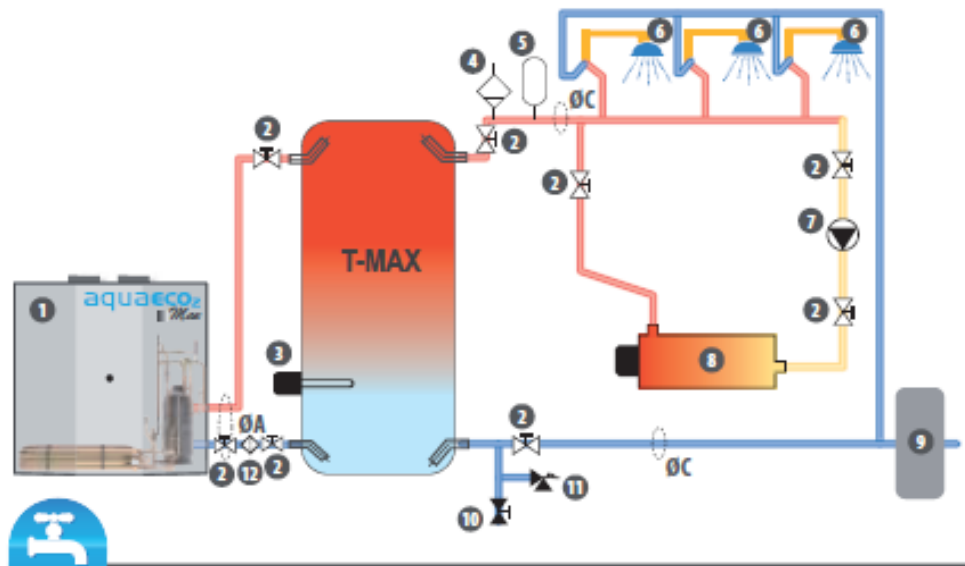




# Sciences et technologies de l'Industrie et du développement durable



1 Pompe à chaleur - 1 Ballon

## COURS-RESSOURCES

# Production d'eau chaude sanitaire thermodynamique, que dois-je savoir ?

### Objectifs :

- CO1.1 Justifier les choix des matériaux, des structures d'un système et les énergies mises en oeuvre dans une approche de développement durable
- CO2.1 Identifier les flux et la forme de l'énergie, caractériser ses transformations et/ou modulations et estimer l'efficacité énergétique globale d'un système
- CO2.2 Justifier les solutions constructives d'un système au regard des impacts environnementaux et économiques engendrés tout au long de son cycle de vie
- CO3.2 Evaluer la compétitivité d'un système d'un point de vue technique et économique

## A. Les besoins en eau chaude sanitaire

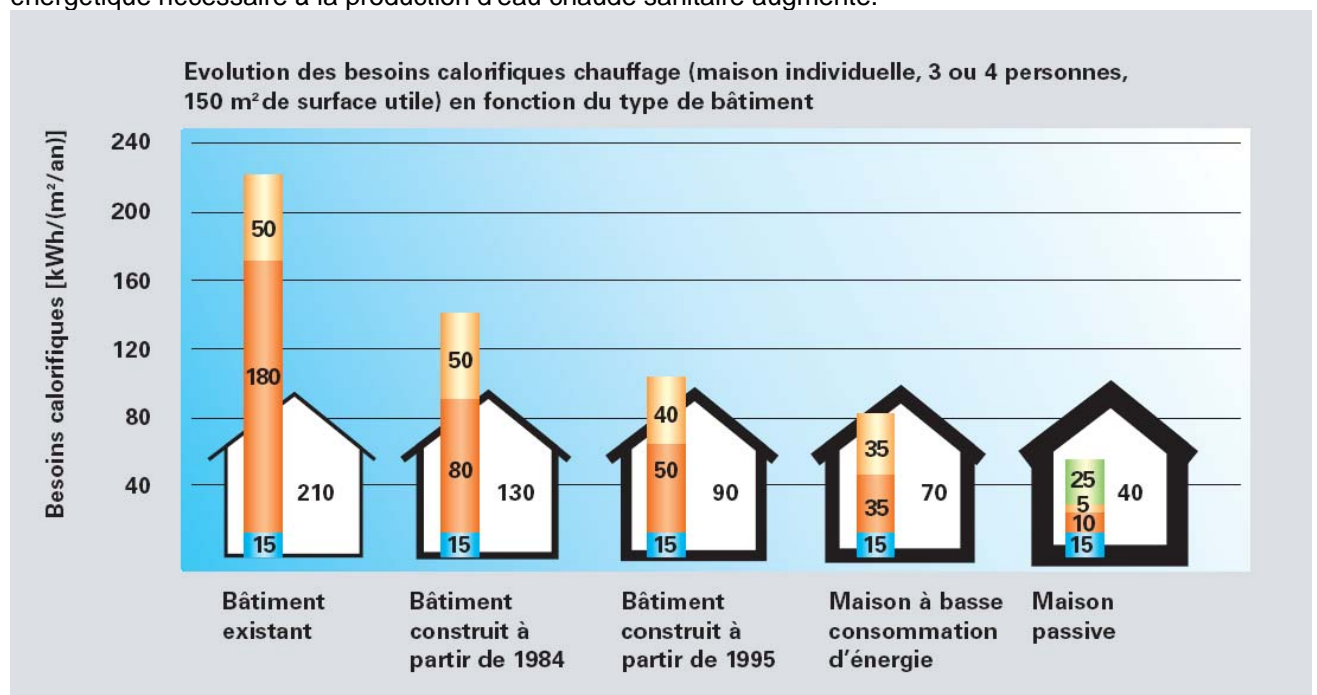
La production d'eau chaude est consommatrice en énergie. Dans les pays occidentaux, les besoins en eau chaude sanitaire ne cessent d'augmenter.

Poste de puisage	Débit (litres/min)	Durée (min)	Volume consommé (litres)	Température de l'eau (°C)
Évier simple, 1 bac	6	5	30	55
Évier double	10	5	50	55
Lavabo (taille normale)	5	2	10	35
douche	8	6	48	40
Baignoire (taille moyenne)	10	15	150	40

*Doc mémotech génie énergétique*

### Importance de l'énergie nécessaire à la production de l'eau chaude sanitaire dans la consommation d'un bâtiment

On le voit dans le graphique ci-dessous, plus l'isolation du bâtiment augmente, plus la part du besoin énergétique nécessaire à la production d'eau chaude sanitaire augmente.



En bleu : besoins correspondant à l'ECS, en orange foncé : besoins correspondant au chauffage, en orange clair : besoins correspondant à la VMC, en vert : besoins assurés par la récupération de chaleur

la nouvelle réglementation thermique (RT2012), applicable depuis le 01/01/2013 partout, impose que les bâtiments ne consomment plus que 50kWhep/m<sup>2</sup>.an en moyenne, répartis comme suit :

ECS	25kWhep/m <sup>2</sup> .an
chauffage	15kWhep/m <sup>2</sup> .an
éclairage	5kWhep/m <sup>2</sup> .an
auxiliaires	5kWhep/m <sup>2</sup> .an

### présentation générale des sources d'énergie utilisées dans un système de préparation d'eau chaude sanitaire

les préparateurs d'eau chaude sanitaire utilisent les mêmes sources d'énergie que pour le chauffage du bâtiment :

- électricité
- combustion d'un gaz ou d'un liquide
- solaire
- géothermale lorsque la région le permet

Chaque source d'énergie présente des avantages et des inconvénients :

source	avantages	inconvénients
électricité	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Facilité de mise en œuvre</li> <li>• coût d'installation</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Consommation énergétique importante</li> </ul>
combustion d'un gaz ou d'un liquide	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Facilité de mise en œuvre</li> <li>• coût d'installation</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Disponibilité industrielle limitée</li> </ul>
solaire	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Consommation énergétique faible</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• coût d'installation</li> </ul>
géothermale lorsque la région s'y prête	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Consommation énergétique faible</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• coût d'installation</li> </ul>

Le niveau de performance de 25 kWhep/m<sup>2</sup> et par an en moyenne imposé par la RT2012, ne laissera la place qu'aux systèmes de production d'eau chaude sanitaire les plus économiques et utilisant en grande partie les énergies renouvelables.

Le ballon d'eau chaude « tout électrique » n'aura sa place dans les solutions envisageables, que si et seulement si, le poste consommation chauffage est très faible... ce qui implique une isolation renforcée, du triple vitrage,...

**en conclusion**, L'énergie électrique sera utilisée si :

- on installe une pompe à chaleur
- elle est mixée à une solution « verte » (chaudière à condensation, solaire).

**Consommation énergétique due à la préparation d'eau chaude sanitaire** : Chaque source d'énergie est définie par :

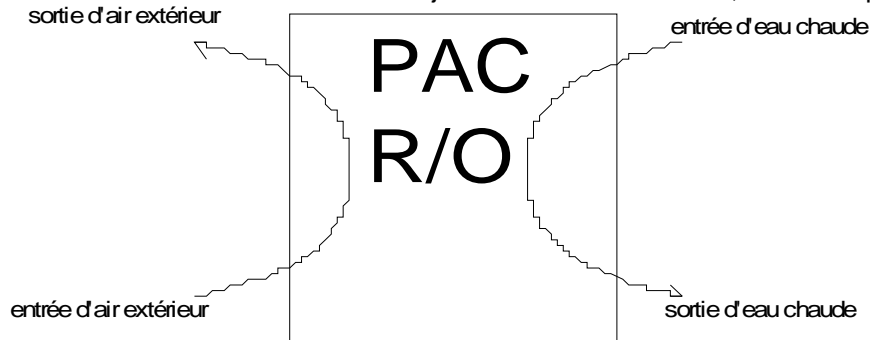
- son pouvoir calorifique, exprimé en kWh énergétique produit par unité consommée
- son effet de serre provoqué par la consommation énergétique

source	Pouvoir calorifique maximal	Effet de serre en fonctionnement
Électricité (résistance)	1kWh thermique par kWh électrique consommé	180g/kWh thermique en moyenne en France
Pompe à chaleur	3 à 6kWh par kWh électrique consommé	
combustion d'un solide, d'un gaz ou d'un liquide	• Houille = 8,41kWh/kg	339g/kWh thermique
	• Gaz nat = 11,42kWh/Nm <sup>3</sup>	182g/kWh thermique
	• Propane = 7,14kWh/litre	220g/kWh thermique

**B. étude du fonctionnement d'une pompe à chaleur****Fonctionnement d'une pompe à chaleur air-eau dans un cycle subcritique avec un HFC**les températures de changement d'état :

- **Evaporation :**  
pour provoquer l'évaporation de l'eau, vous la chauffez, à 100°C à la pression atmosphérique, elle s'évapore. L'eau a reçu des calories apportées par votre système de chauffage (bouilloire). Si la pression augmente, la température d'ébullition (d'évaporation) augmente : principe de l'autocuiseur (la cocote minute) si la pression diminue, la température d'ébullition (d'évaporation) diminue : c'est ainsi qu'en haut du Mont Blanc (4000m d'altitude), si on chauffe une casserole d'eau, l'eau bout à 86°C au lieu de 100°C.  
Dans un système thermodynamique, on utilise ce phénomène, on n'utilise pas de l'eau mais un fluide frigorigène. Dans l'air extérieur, il y a des calories que le fluide frigorigène va recevoir par échange thermique (dans un échangeur appelé évaporateur) => le fluide s'évapore. Puisqu'il s'agit d'un fluide polluant, il est dans un circuit sous pression étanche.
- **Condensation :**  
Inversement pour provoquer la condensation de l'eau, vous la refroidissez, à 100°C à la pression atmosphérique, elle se condense. L'eau a cédé des calories avec votre système de refroidissement.  
Dans un système thermodynamique, on utilise ce phénomène, le fluide frigorigène a reçu des calories dans l'évaporateur, le fluide passe ensuite dans un échangeur pour y céder ses calories à l'eau de préparation d'eau chaude sanitaire => le fluide se condense. Puisqu'il s'agit d'un fluide polluant, il est dans un circuit sous pression étanche.

Ainsi, pour une pompe à chaleur « **air/eau** », c'est à dire une machine thermodynamique qui prend les calories dans l'**air** extérieur et les rejète sur une boucle d'**eau**, fluide caloporteur :



en regardant plus précisément l'évolution des températures primaire et secondaire de chaque échangeur, on peut observer :

- on a un écart de températures (air extérieur – évaporation du fluide frigorigène) d'approximativement 8K => si l'air extérieur est à 0°C, le fluide s'évaporerà à -8°C
- on a un écart de températures (condensation du fluide frigorigène - eau à chauffer) d'approximativement 5 K => si la température d'eau chaude sanitaire dans le ballon est de 59°C, le fluide se condensera à 64°C

les pressions de changement d'état :

il existe une relation entre la pression et la température de changement d'état d'un fluide frigorigène. À une température saturée donnée, correspond une pression, et, plus la température augmente, plus la pression augmente. Lorsque le fluide est à l'état gazeux non saturé, il n'y a plus de relation pression température...

Ainsi :

- si l'air extérieur est à 0°C, le fluide s'évaporerà à -8°C, le fluide frigorigène sera à une pression appelée basse pression qui dépendra du fluide frigorigène utilisé
- si la température d'eau chaude sanitaire dans le ballon est de 55°C, le fluide se condensera à 65°C, le fluide frigorigène sera à une pression appelée haute pression
- pour passer de la basse à la haute pression, on utilisera un compresseur
- pour passer de la haute à la basse pression, on utilisera un détendeur

**le cycle thermodynamique :**

Compte-tenu de ce qui vient d'être dit, une machine thermodynamique assurera un cycle « évaporation-compression-condensation-détente », qui permettra le « pompage » des calories de l'air extérieur et leur transfert vers l'eau à chauffer (ecs).

Elle sera composée de 4 principaux composants :

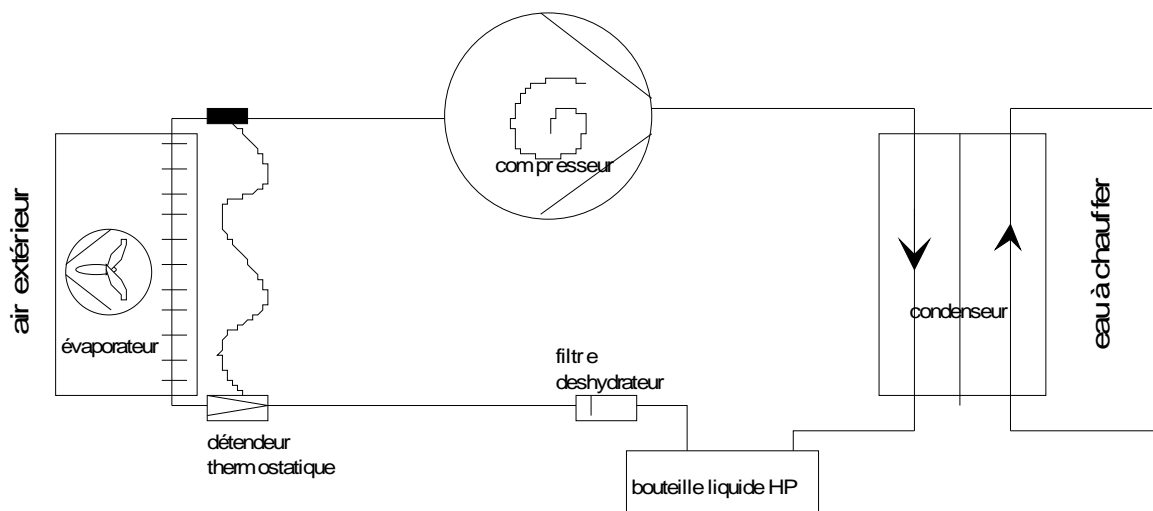
- compresseur
- condenseur
- détendeur
- évaporateur

On y retrouvera quelques composants supplémentaires, entre autres (mais non héxhaustif) :

- bouteille de liquide HP
- filtre déshydrateur

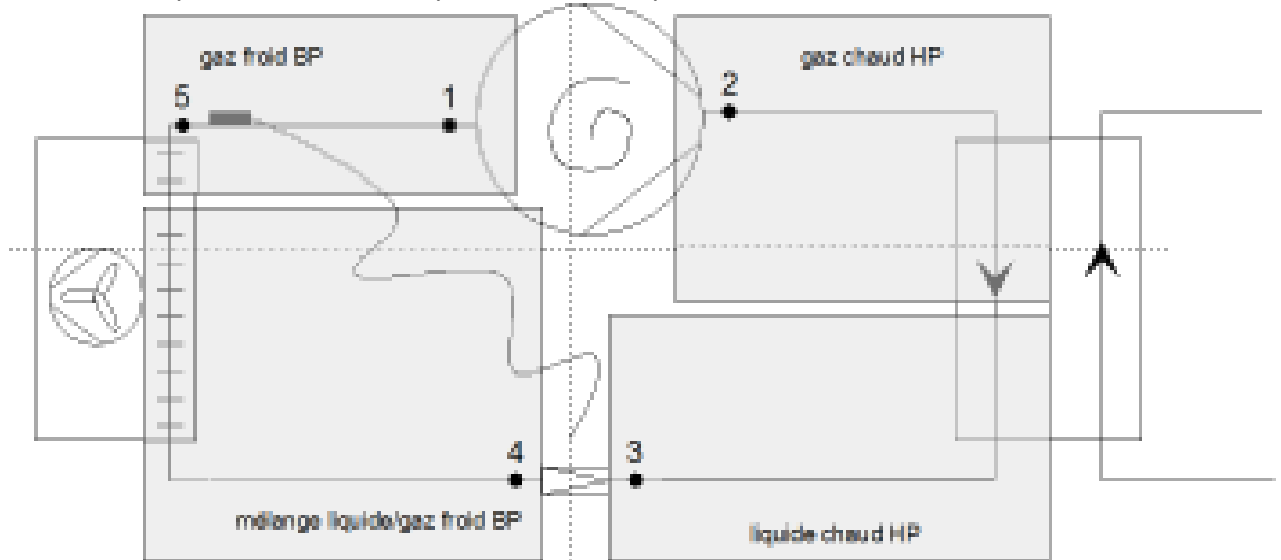
Pour relier tous ces composants entre-eux, on aura des tuyauteries, avec des noms précis, en fonction des appareils raccordés entre-eux :

- liaison évaporateur - compresseur : conduite d'aspiration
- liaison compresseur - condenseur : conduite de refoulement
- liaison condenseur - bouteille liquide : conduite retour condensats
- liaison bouteille liquide-entrée détendeur : conduite liquide
- la conduite sortie détendeur - entrée évaporateur n'a pas de nom (elle est très courte...)





Le fluide frigorigène circule à l'intérieur du circuit frigorifique et génère un cycle (cycle thermodynamique), définissant différents points correspondant à différentes caractéristiques du fluide (pression, température,...). On définit, deux pressions, 4 zones, 5 points caractéristiques :

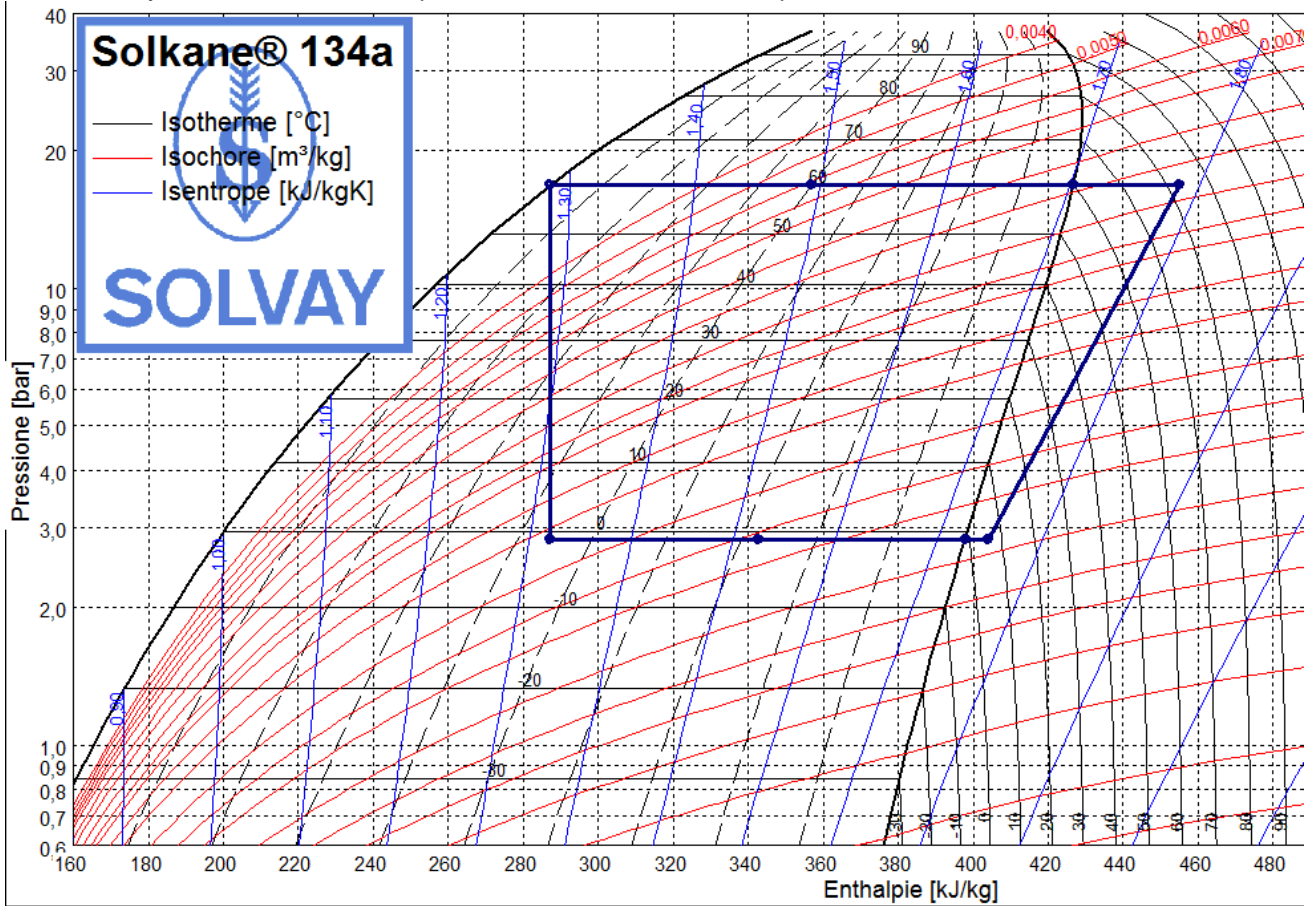


Connaissant le fluide frigorigène utilisé pour cette application, les thermodynamiciens peuvent ainsi tracer le cycle et définir les caractéristiques des appareils à sélectionner pour faire fonctionner cet ensemble.

Un logiciel de tracé de cycles (solkane), disponible sur internet, permet de tracer le cycle d'un système si vous connaissez au minimum :

- le fluide frigorigène utilisé
- la température d'évaporation (égale à la température extérieure - 8K)
- la température de condensation (égale à la température de ballon + 10K)
- d'autres informations sont nécessaires si vous voulez un résultat très précis... conseil : ne modifiez pas les hypothèses faites à l'exception du rendement isentropique (vous cochez « auto »)...

allure d'un cycle, fluide R134a, température extérieure = 7°C, température d'eau chaude sanitaire = 50°C



## C. Performance d'une pompe à chaleur air-eau

En isolant le système (pac R/O), on en déduit que :

- la puissance frigorifique reçue par le fluide plus la puissance électrique absorbée par le système pour fonctionner est égale à la puissance calorifique rejetée au condenseur

la performance énergétique d'un système, déterminée par le calcul du COP, se définit comme le rapport de la puissance utile divisée par la puissance nécessaire. On en déduit donc que le COP d'un système thermodynamique est supérieur à 1

Ce COP n'est pas constant :

- à température d'eau chaude sanitaire constante, plus il fait chaud dehors, meilleur sera ce COP
- à température extérieure constante, plus l'eau chaude sanitaire sera chaude, moins ce COP sera bon

Le logiciel de tracé de cycles (solkane), permet aussi d'estimer le COP(cycle) d'un système...

attention ce logiciel vous donne l'efficacité frigorifique du cycle, le COP sera égal à cette efficacité + 1.

ici, je présente un résultat pour une température extérieure de 8°C, et une température de ballon de 55°C. Vous ne modifierez pas les hypothèses faites à l'exception du rendement isentropique (vous cochez « auto »)...

The screenshot shows the Solkane 134a software interface with the following data:

Propriétés	
$t_c$	101,06 °C
$P_c$	40,59 bar
$v_c$	1,954 dm <sup>3</sup> /kg

Evaporateur	Liquéfacteur	Compresseur	Conduite d'aspiration de gaz
Température: 0,00 °C	Température: 65,00 °C	Rendement isentropique: 0,753 <input checked="" type="checkbox"/> Auto	Surchauffe: 0,00 K
Surchauffe: 7,00 K	Sous-refroidissement: 0,00 K		Perte de charge: 0,00 bar
Perte de charge: 0,00 bar	Perte de charge: 0,00 bar		Conduite de refoulement de gaz
Puissance frigorifique: 1,00 kW	Calcul		Refroidissement: 0,00 K
			Perte de charge: 0,00 bar

Puissances Processus à un niveau			
Evaporateur	1,00 kW	Rapport de compression	6,45
Liquéfacteur	1,49 kW	Différence de pression	15,97 bar
Compresseur	0,49 kW	Débit massique	9,168 g/s
		Débit vol. (à l'aspiration)	2,37 m <sup>3</sup> /h
		Capacité volumétrique	1520 kJ/m <sup>3</sup>
Conduite d'aspiration de gaz	0,000 kW	COP	2,04
Conduite de refoulement de gaz	0,000 kW		

le COP(cycle) sera donc de  $2,04+1 = 3,04$