

## Etude d'une installation de cogénération : *Centre hospitalier de Lens* :

### **Objectif du TD :**

L'objectif de ce TD est l'étude et la modélisation sous ThermoOptim d'une installation de cogénération existante, et l'étude des différents paramètres sur le rendement.

### **Présentation de l'installation :**

La cogénération (cf. séance diaporama [S45](#), [S46](#), [S47](#) du portail ThermoOptim\*<sup>1</sup> et fiche thématique\*<sup>2</sup>) est un procédé qui peut être utilisé pour le chauffage d'un centre hospitalier. L'électricité produite est utilisée en interne ou revendue à Edf. Ce type d'installation en milieu hospitalier peut être très utile car il peut également servir de « groupe électrogène » de secours, étant donné qu'une coupure de courant empêcherait totalement le fonctionnement d'un hôpital, et pourrait avoir de graves conséquences.

Nous nous intéressons ici à une installation particulière située au centre hospitalier de Lens. Voici ses caractéristiques de fonctionnement :

<b>Site</b>	<b>Chaufferie du centre hospitalier de LENS</b>
<b>Type</b>	<b>Hopitaux</b>
<b>Ville</b>	<b>62300-LENS</b>
<b>Année d'installation</b>	<b>2003</b>
<b>Technologie</b>	<b>Moteur à gaz</b>
<b>fabriquant</b>	<b>JENBACHER</b>
<b>Modèle</b>	<b>JMS 616 GS</b>
<b>Nombre d'unité</b>	<b>1</b>
<b>Puissance électrique</b>	<b>2185 kW</b>
<b>Puissance thermique</b>	<b>2262 kW</b>
<b>Rendement électrique</b>	<b>42,1%</b>
<b>Rendement thermique</b>	<b>43,5%</b>
<b>Rendement global</b>	<b>85,6%</b>
<b>Type de carburant</b>	<b>Gaz naturel</b>
<b>Emission CO</b>	<b>670 mg/Nm3</b>
<b>Emission Nox</b>	<b>350 mg/Nm3</b>

La technologie utilisée dans cette installation est un moteur à gaz de 2185 kW fonctionnant au gaz naturel. Il fournit un débit de 90,3 m<sup>3</sup>/h d'eau chaude à 90°C.

\*1 : <http://www.thermooptim.org/sections/logiciels/divers-portail/seances-disponibles>

\*2 : <http://www.thermooptim.org/sections/technologies/systemes/cogeneration>

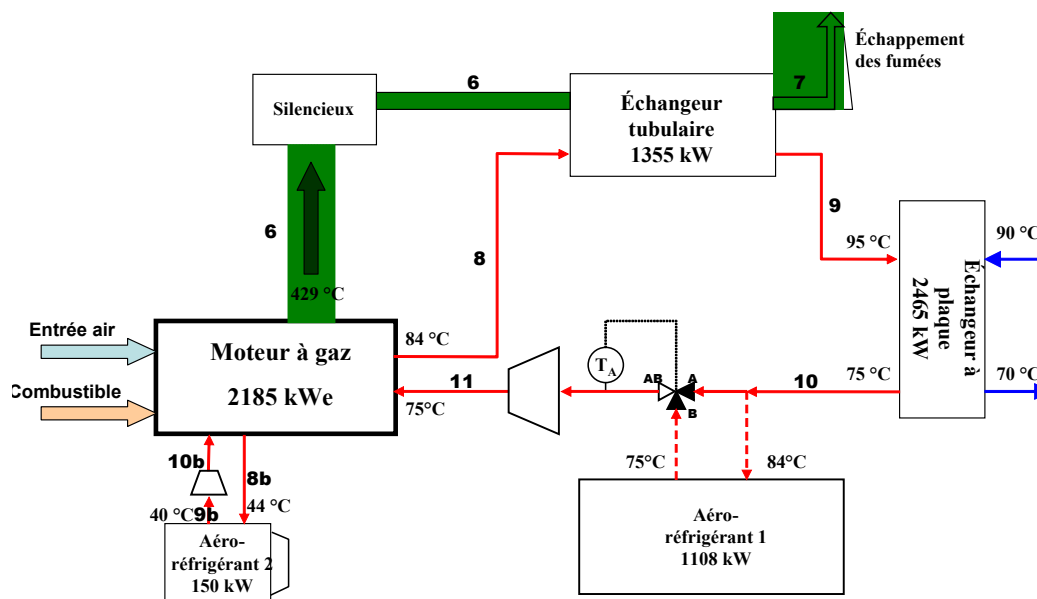
Autres caractéristiques nécessaires à la modélisation :

Différence de température	20 °C
Température eau de refroidissement entrée/sortie refroidissement moteur	75/84 °C
Température eau de refroidissement entrée/sortie échangeur gaz de combustion	84/95 °C
Température des fumées entrée/sortie	429/120 °C
Température eau de refroidissement entrée/sortie échangeur à plaques	95/75 °C
Température eau de chauffe entrée/sortie échangeur à plaques	70/90 °C
Température eau de chauffe entrée/sortie aéro-réfrigérant 1	84/75 °C
Température eau de chauffe entrée/sortie aéro-réfrigérant 2	40/44 °C
Débit eau de chauffe	28 kg/s
Consommation moteur (gaz) PCI=10 $\rho=0,72$ kg/m <sup>3</sup>	0,123 kg/s
Débit air de combustion	3,456 kg/s
Température de sortie des fumées	120 °C
Débit volumique eau de refroidissement	30 kg/s
Puissance calorifique refroidissement moteur	1026 kW
Puissance calorifique échangeur gaz de combustion	1355 kW
Puissance calorifique aéro-réfrigérant 1	1108 kW
Puissance calorifique échangeur à plaques	2465 kW
Puissance aéro-réfrigérant 2	150 kW
Puissance électrique	2185 kW

Le débit d'air aspiré à 10 °C est égal à 3,4 kg/s. Le débit d'eau chaude vaut 28 kg/s, les températures et pressions de retour étant égales respectivement à 70 °C et 5 bars. Le taux de compression n'est pas donné mais nous pouvons l'estimer à 15.

Ces caractéristiques sont celles qui nous ont été données par le constructeur (cf. document intitulé *Info Jenbacher 616 GS-N.LC*). Sous Thermoptim, votre objectif est d'essayer de vous en rapprocher le plus possible, et nous verrons qu'il est possible dans ce cas d'arriver à un modèle avec des valeurs assez similaires.

Le schéma global de l'installation est le suivant :



Les numéros en gras sont les points dont nous nous servirons pour expliquer l'installation.

#### Descriptif de l'installation :

On peut distinguer *les circuits de refroidissement interne, en rouge*. Dans ces circuits circulent des fluides caloporteurs, il s'agit d'eau glycolée afin d'assurer une bonne résistance à la corrosion ainsi qu'au gel.

Tout d'abord nous pouvons dire que dans ce cas, le circuit d'huile est ressorti pour être refroidi, car nous avons des puissances relativement importantes qui sont mises en jeu. Dans le cas de petites puissances (micro-cogénération par exemple), le circuit d'huile n'est pas ressorti. Les deux principes de fonctionnement des circuits seront expliqués en parallèle puisque ils sont très similaires.

Ces fluides circulent en circuit fermé (attention cela n'a rien à voir avec le paramétrage système ouvert / système fermé dans Thermoptim) :

- Des pompes permettent la circulation des fluides et rétablissent la pression étant donné les pertes de charges. (11) et (10b)
- Ils arrivent ensuite dans le moteur à des températures relativement faibles T11 et T10b, et passent dans celui-ci pour le refroidir, respectivement le bloc moteur lui-même et le circuit d'huile.

Ce faisant, ils se réchauffent et ressortent du moteur à des températures plus élevées T8 et T8b. (Ceci sera modélisé par un thermocouple, partant du moteur vers un module d'échange présent sur le circuit de refroidissement ; pour le circuit de refroidissement du circuit d'huile, nous ajouterons la quantité d'énergie dans le thermocouple vers le circuit de refroidissement principal puis ajouterons un module d'échange du circuit principal vers le circuit secondaire, voir plus loin).

- Les gaz d'échappement du moteur (*en vert*) ressortent à des températures élevées (6). L'idée est de pouvoir réutiliser cette chaleur pour réchauffer notre fluide de refroidissement interne principal. Celui-ci passe alors dans un second échangeur où il sera

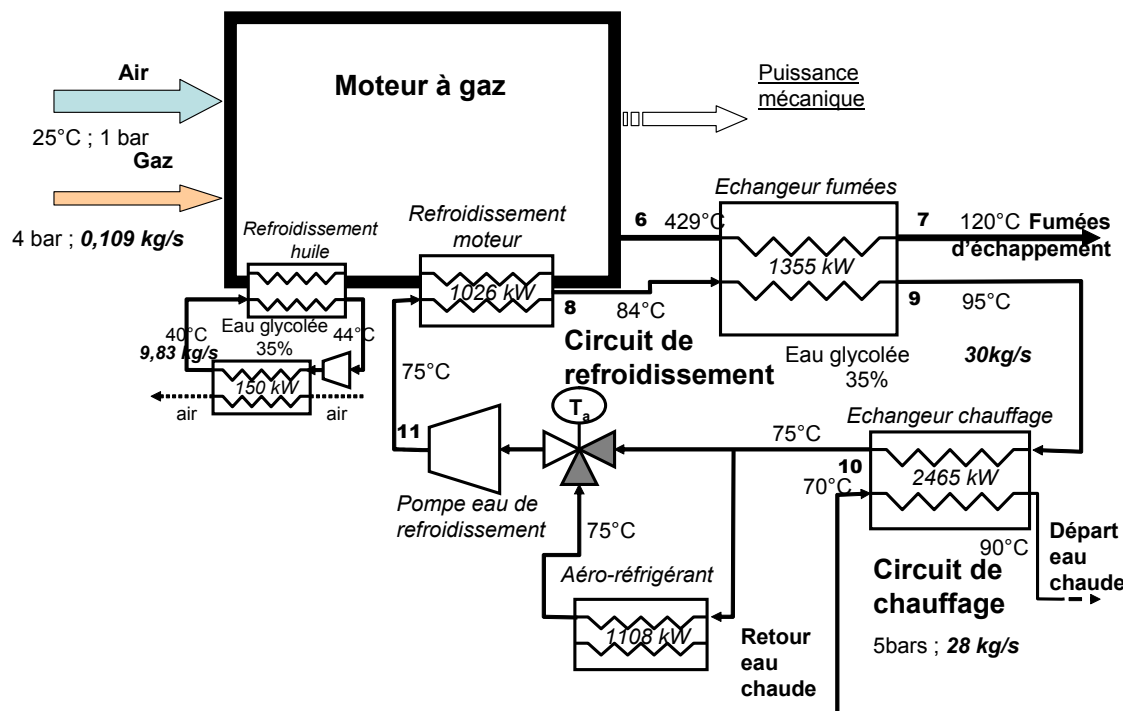
encore chauffé. Les fumées repartent ainsi plus froide (7), alors que notre eau glycolée ressort plus chaude (9).

○ Les deux fluides passent ensuite dans un second échangeur, où ils échangeront la chaleur qu'ils ont acquis à l'intérieur du moteur et au contact des gaz d'échappement pour le circuit principal, avec un fluide plus froid pour ce dernier, circulant dans un *circuit de refroidissement externe (en bleu)* étant ici un circuit de chauffage ; et dans un aéro-réfrigérant pour le circuit secondaire. Nous remarquons aussi la présence d'un aéro-réfrigérant dans le circuit principal. Celui-ci sert à refroidir le liquide de refroidissement lorsque nous n'avons pas un fonctionnement à 100% du circuit de chauffage, et donc pas un refroidissement du liquide assez important. Le passage ou non dans cet aéro-réfrigérant est contrôlé par une vanne trois voies.

Nous devons enfin accomplir une boucle et en arrivant au point 10, nous devons avoir T10~T11. Les pertes de charges sont ensuite compensées par une pompe.

Le moteur est modélisé par un bloc moteur, nous verrons par la suite une manière de le modéliser sous Thermoptim.

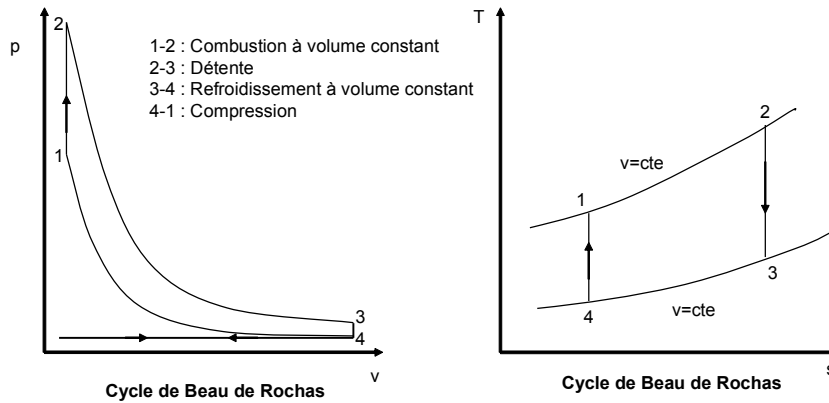
Afin de pouvoir modéliser facilement cette installation, nous allons récapituler ce que nous avons expliqué précédemment et chercher à décomposer cette installation en un schéma simple, utilisant les transformations du noyau de Thermoptim. Une telle représentation peut aboutir à l'illustration ci-après :



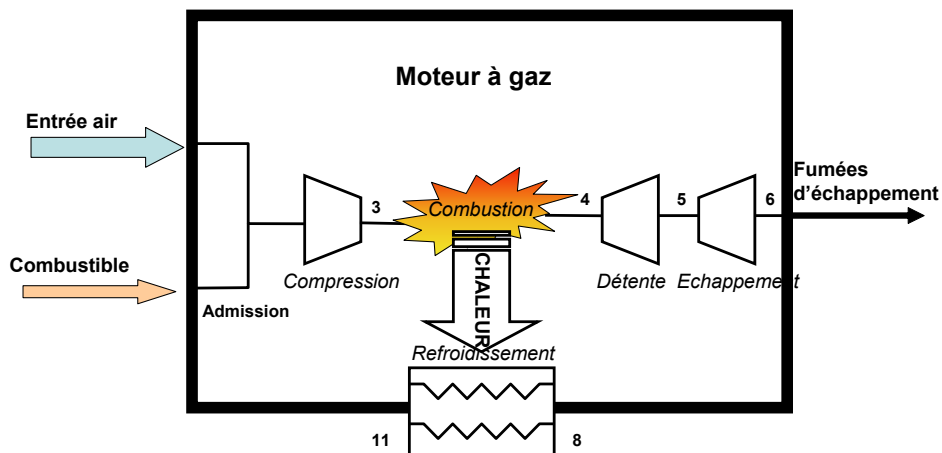
Sur ce schéma nous visualisons facilement ce que nous avons expliqué dans le [descriptif de l'installation](#). Il est alors facile de faire un modèle sous Thermoptim ; il faut en revanche encore décomposer les différentes transformations qui prennent place à l'intérieur du *Moteur à gaz*.

## Modélisation du moteur à gaz :

Pour simplifier les choses, nous pouvons supposer que le cycle du moteur à gaz est celui de Beau de Rochas (moteur essence).



Son modèle est donc composé comme indiqué sur le schéma ci-dessous :



En réalité, la modélisation du moteur est plus complexe mais cela compliquerait trop les choses (cf. module [S39](#)\*<sup>3</sup> sur le portail Thermoptim sans prise en compte des gaz recirculés).

La modélisation du moteur comme illustré sur le schéma ci-dessus équivaut à dire que le cycle moteur théorique se décompose en différentes parties : l'admission, la compression, la combustion, la détente et l'échappement des gaz brûlés. Chacune de ces phases peut être représentée par un élément de base de Thermoptim :

- un dispositif d'admission réalisant le mélange 'comburant carburant' ; l'admission du mélange correspond à deux transfo-points représentant l'entrée de l'air de combustion et l'entrée du combustible reliés par un nœud.
- une compression en système fermé,
- une combustion en système fermé à volume constant et complète, du type prémélangé (voir figure page 7 pour le paramétrage de cette transformation),

- une détente en système fermé pour la détente des gaz brûlés,
- une seconde détente en système ouvert à travers les soupapes d'échappement (car on considère que lors de l'ouverture de la soupape d'échappement, les gaz brûlés sont libérés à l'air libre, et qu'il y a donc une expansion de ces gaz brûlés ; même si cette approche est contestable, cette dernière évolution sera supposée isentropique, et le travail mis en jeu ne sera pas pris en compte).

Dans un second temps, nous modéliserons l'échappement des gaz avec une classe externe, mieux adaptée (voir fin de ce TD).

### Modélisation (éditeur de schéma):

Pour modéliser le moteur, insérez les tranfos une par une dans l'éditeur de schéma, puis connectez les. Le paramétrage se fera dans un second temps. Pour les deux transfos points d'entrée, il faut rentrer le nom du corps, le combustible est du *gaz\_de\_Montoir* et l'air de combustion est de l'*air* (les deux sont dans *Gaz composés protégés*) ; il faut aussi entrer le débit de l'air, ainsi que celui du combustible. Ici, les débits nous sont données et permettent bien d'obtenir des résultats cohérents.

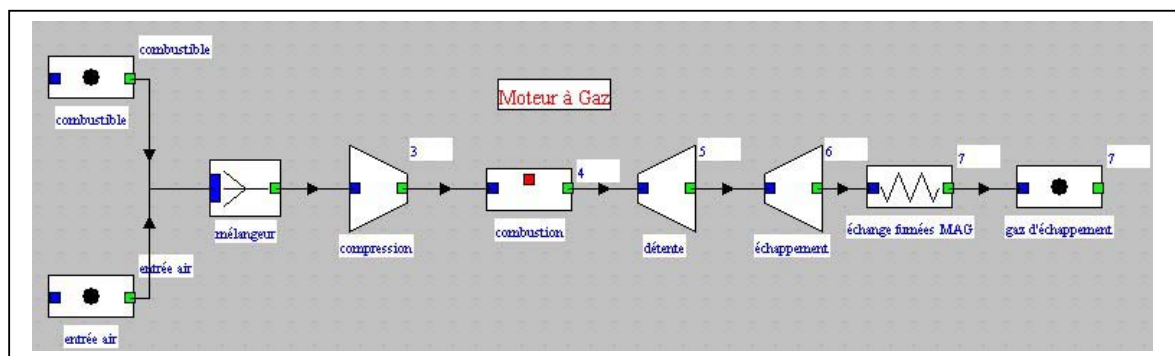
- Le mélangeur ne propage pas le nom du corps car nous avons deux corps différents en entrée, il faut donc indiquer le nom du corps ET du point en entrée et en sortie lors de la mise en place de la compression

NB : Lors de l'insertion du module compression, il nous est simplement demandé les caractéristiques du port de sortie, il faut rentrer celles-ci *nom du corps* ET *du point*, puis une fois le module inséré cliquer dessus et appuyer sur F4 pour pouvoir rentrer les caractéristiques du port d'entrée ; *veillez à mettre le même corps en entrée et sortie mais pas le même nom de point*.

On peut choisir le produit du mélange, *air\_gaz* dans *autres gaz composés*.

- Pour la combustion, il faut rentrer le *nom du point* et *du corps* car le corps obtenu après la combustion est différent de celui en entrée. Pour les autres composants il suffit d'indiquer le nom du point de sortie car le corps va se propager automatiquement.

Un exemple de modélisation est celui-ci :



*Modélisation Thermoptim du moteur à gaz*

## Paramétrage (simulateur):

Il faut ensuite paramétrer le moteur en rentrant les caractéristiques de l'installation dans les transfos et/ou les points.  
Les débits d'air vous sont donnés. Il ne reste qu'à paramétrer les transfos avec les données du tableau page 2

Une fois que vous avez paramétré cette transfo, vous pouvez maintenant paramétrer les autres transfos du moteur à gaz en vous servant des caractéristiques données plus haut.

Aucune ne présente de difficulté, sinon la chambre de combustion.  
Le paramétrage de la chambre de combustion est illustré sur la capture d'écran ci-dessous.

The screenshot shows a software interface for configuring a combustion chamber. The main window is titled 'transfo combustion' and 'type combustion'. It features several input fields and checkboxes for defining the chamber's characteristics.

**Inputs and Calculated Values:**

- type énergie: payante
- point amont: 3
- T (°C): 569,26
- P (bar): 44,5193
- h (kJ/kg): 608,59
- titre: 1
- point aval: 4
- T (°C): 1 810,62
- P (bar): 110,5716
- h (kJ/kg): 2 248,3
- titre: 1
- débit: 3,57918
- m Δu: 4 560,38
- W: 0
- combustible: a = 0, hf0 = 0
- rendt. combustion: 1
- rendement chambre: 0,8
- ksi: 0,95
- T (°C): 1 810,6199718773

**Options and Controls:**

- débit imposé
- système fermé
- système ouvert
- observée
- prémélangé
- dissociation
- Calculer T
- pression imposée
- volume imposé
- température imposée
- par le point amont
- par l'utilisateur

Buttons: Sauver, Supprimer, Fermer, Afficher, Calculer.

*Paramétrage de la combustion*

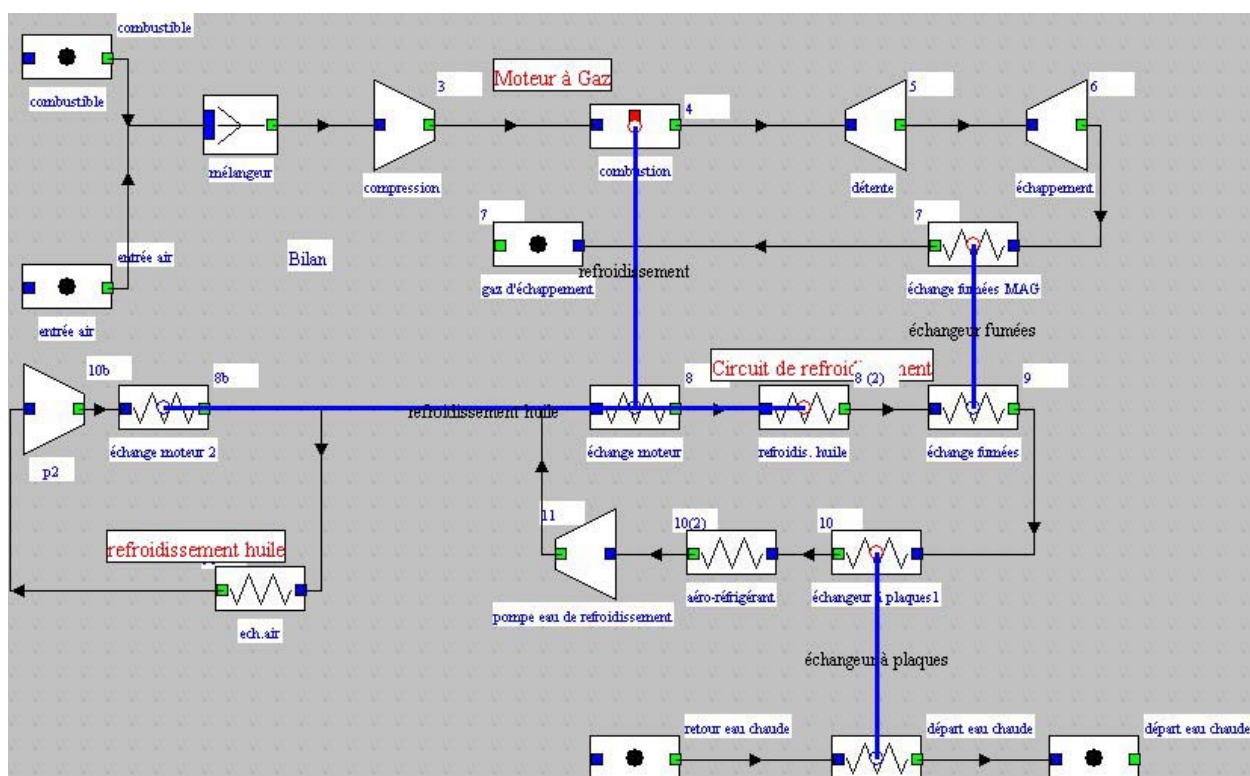
## Modélisation de l'installation complète :

### Modélisation (éditeur de schéma):

Une fois, le moteur modélisé, il ne reste plus qu'à modéliser le reste de l'installation. Nous avons ici un circuit de refroidissement et non un système direct d'échange entre le moteur à gaz et le circuit de chauffage car le moteur doit être rempli d'eau glycolée pour des raisons de protection contre la corrosion. Pour ne pas être obligé de remplir l'ensemble du système de chauffage avec ce mélange, on installe un *circuit de refroidissement interne*.

Le circuit de refroidissement est facile à modéliser, il suffit de mettre un composant et d'entrer le corps et le point de sortie, la propagation du corps est automatique, il n'y a plus qu'à indiquer les points de sortie des autres composants. Il en est de même pour le point de sortie.

Le schéma Thermoptim de l'installation modélisée est le suivant :





### Paramétrage (simulateur):

Le moteur étant déjà paramétré, il ne vous reste plus qu'à paramétrer les circuits (refroidissements internes et externe) *en gros* afin de pouvoir connecter les modules d'échanges et ainsi créer les échangeurs.

Ceci est nécessaire afin que ThermoOptim reconnaisse si il y a possibilité de créer un module d'échange (un fluide chaud qui refroidit et un fluide froid qui se réchauffe, et des températures qui ne se croisent pas).

En général, pour paramétrer un échangeur, il faut imposer 5 variables et en calculer une, ou bien en imposer 4 et en calculer 2 si on impose l'efficacité de l'échangeur.

Dans la plupart des cas réels, trois variables sont imposés directement : la température d'entrée du fluide chaud (Tce), la température d'entrée du fluide froid (Tfe) et le débit du fluide chaud (mc).

Le débit de fluide froid est aussi généralement connu et on impose l'efficacité de l'échangeur.

Comme il s'agit d'une modélisation, on peut procéder à tâtons en jouant sur les paramètres imposés et à calculer afin de caler notre modèle. Une fois ceci fait, on peut essayer de se remettre dans le cas réel. Bien souvent, on est amené à calculer l'efficacité de l'échangeur donc imposé 5 variables.

Ci-dessous sont illustrés deux captures d'écran pour les échangeurs fumées et à plaques. Il s'agit de captures réalisées une fois le calage obtenu en étant assez proche des valeurs de travail, chaleur et rendement données. Pour en arriver à cela il a été utile d'imposer d'autres variables afin de stabiliser les échangeurs, puis une fois que ceux-ci s'approchent des valeurs recherchées, on peut alors se remettre dans un cas plus « réel ».

nom : échangeur à plaques type : contre-courant

fluides : échangeur à plaques

fluide chaud : Tce (°C) 95, Tcs (°C) 75, mc 27,97023784, Cpc 4,20014305, m ΔHc -2 349,58

fluide froid : Tfe (°C) 70, Tfs (°C) 90, mf 28, Cpf 4,19567857, m ΔHf 2 349,58

UA 704,874, R 1,0, NUT 6, DTML 5

Options :  non contraint,  pincement minimum DTmin 0,  efficacité imposée epsilon 0,8,  dimensionnement,  non nominal

Buttons: Sauver, Supprimer, Fermer, Afficher, Calculer

Nous avons ici des résultats tout à fait cohérents et proche de ceux indiqués. L'efficacité de 0,8 est une valeur courante, la variation de température du fluide chaud est quasiment identique à celle recherché ; on peut d'ailleurs en conclure que ces valeurs ont été imposées dans un premier temps. Nous avons aussi 2350 kW d'échanger pour 2465 recherché dans le cas réel. Nous sommes donc assez proches, 4,7% d'erreur.

nom : échangeur fumées type : contre-courant

fluide chaud : échangeur fumées MAC

fluide froid : échangeur fumées

Tce (°C) : 535,27285156 (imposé)

Tcs (°C) : 199,94040802 (calculé)

mc : 3,57918 (imposé)

Cpc : 1,14364493

m ΔHc : -1 372,62

Tfe (°C) : 83,32575913 (imposé)

Tfs (°C) : 95 (calculé)

mf : 27,97023784 (imposé)

Cpf : 4,20363998

m ΔHf : 1 372,62

UA : 5,63419301 (dimensionnement)

R : 0,034813932 (non nominal)

NUT : 1,37643901

DTML : 243,62317696

DTmin : 0

epsilon : 0,741972787

Paramétrage de l'échangeur fumées

On remarque que l'on ne s'approche pas tout à fait des valeurs que l'on souhaiterait trouver ; puisque déjà on ressort de l'échappement à 535°C au lieu de 429°C, et la température d'échappement des fumées est 200°C, mais cela peut-être du à une mauvaise modélisation du moteur ainsi que de l'échappement, nous avons ici le cas le plus basique.

De même, l'efficacité de l'échangeur a été préalablement calculée avant d'être imposée, en imposant une cinquième variable qui nous était donné. On trouve 0,74, ce qui est plausible.

Nous avons une quantité d'énergie échangée de 1372 kW au lieu de 1355, ce qui est plus que correct : 1,3% d'erreur.

#### Paramétrage du refroidissement moteur :

La puissance thermique correspondant au refroidissement du moteur est représentée par un thermocoupleur, qui est une généralisation d'un échangeur permettant

de coupler thermiquement un composant complexe (ici la chambre de combustion) avec une transfo-échange. Elle est égale au produit de la puissance libérée par la combustion multipliée par le complément à 1 du rendement thermique de la chambre. (Ex : si le rendement de la chambre de combustion vaut 0,7 ; 30% de l'énergie de la chambre part dans l'échangeur). Le paramétrage du thermocoupleur est très simple : vous pouvez soit sélectionner "Ts calculé" pour que ce soit la température de sortie de la transfo échange qui soit déterminée, son débit n'étant pas modifié, soit imposé la température de sortie et modifier le débit. Le principal est que vous restiez cohérent, c'est-à-dire si vous calculez le débit dans le calcul d'un échangeur, il ne faut pas qu'un autre échangeur le calcul aussi, de même pour les températures. Sinon lors de vos calculs itératifs une fois le modèle étant fini, vous obtiendrez des valeurs qui fluctuent sans cesse ; voire des impossibilités de calculs.

*Paramétrage du thermocoupleur*

Sur cette capture d'écran, nous voyons les résultats obtenus avec notre modèle. Nous avons une variation de 75 à 84,7°C, ce qui est très satisfaisant en regard aux données de départ, étant donnée que nous avons rajouté l'énergie du circuit de refroidissement de l'huile : 150 kW. L'énergie transféré est de 1140-150=990 kW au lieu de 1026 : 3,5 % d'erreur.

Ci-dessous est représenté enfin l'échangeur de refroidissement de l'huile :

*Pour calculer votre rendement, pensez à bien spécifier les énergies utiles et payantes :*

- ✓ La chambre de combustion est payante.
- ✓ La détente et compression du moteur sont utiles (comptées algébriquement), ainsi que les autres énergies mécaniques.
- ✓ L'énergie récupérée dans le module d'échange d'échappement des fumées (échange fumées 1) est utile.
- ✓ L'énergie récupérée dans le thermocoupleur est payante car elle provient du combustible.
- ✓ L'énergie du circuit de chauffage n'est pas comptée puisqu'elle ne fait pas directement partie de l'installation, mais l'énergie du circuit de refroidissement est utile (échangeur à plaques).

Pour finir de paramétrer votre modèle servez vous des données dans le tableau des caractéristiques de l'installation, page 1 et 2.

Les principaux paramètres sur lesquels vous pouvez jouer pour effectuer le calage de votre modèle sont les suivants :

- rapport de compression (les phases de compression et détente en système fermé doivent être à rapport de compression imposé, le cycle étant du type Beau de Rochas)
- débit de combustible (qui conditionne la température de fin de combustion)
- rendements isentropiques de compression et détente
- rendement de chambre (qui conditionne la charge thermique du thermocoupleur)
- pression et débit d'eau du système de refroidissement (qui doivent être suffisants pour éviter la vaporisation de l'eau)
- efficacité des échangeurs

### **Comment paramétrer le modèle (exemple):**

Plusieurs étapes peuvent nous intéresser pour le paramétrage.

➤ Déjà, le rapport entre l'énergie transmise au fluide dans la chambre de combustion et celle cédée sous forme de chaleur au circuit de refroidissement. Cela nous donne par suite le rapport entre l'énergie mécanique du système et l'énergie du thermocoupleur. Vu que l'on connaît ces deux informations, on peut arriver à trouver approximativement le rendement de la chambre de combustion qui vaut ici environ 0,8.

➤ Puis on peut ensuite chercher des valeurs pour le débit de combustible et d'air, qui vont nous permettre d'approcher les deux valeurs évoquées ci-dessus, et aussi l'énergie qui est disponible dans l'échangeur des fumées.

➤ Le paramétrage des échangeurs et thermocoupleur est assez délicat étant donné que l'on dispose de beaucoup d'informations, et il faut faire attention à ne pas imposer trop de choses, mais plutôt à tenter de se servir de toutes ses informations pour essayer de s'en approcher, et ainsi paramétrer correctement notre modèle.

On peut essayer de paramétrer l'échangeur des fumées en calculant la température d'échappement des fumées à la sortie (Tcs) et la température de sortie du fluide froid (Tfs) et en faisant varier l'efficacité de l'échangeur, sachant que l'on sait que Tcs doit s'approcher de 120°C et Tfs de 95°C.

On peut enfin calculer le débit du circuit de refroidissement par l'échangeur à plaques dans un premier temps, puis de même que pour l'échangeur des fumées, calculer les deux températures de sortie et imposer l'efficacité de l'échangeur.

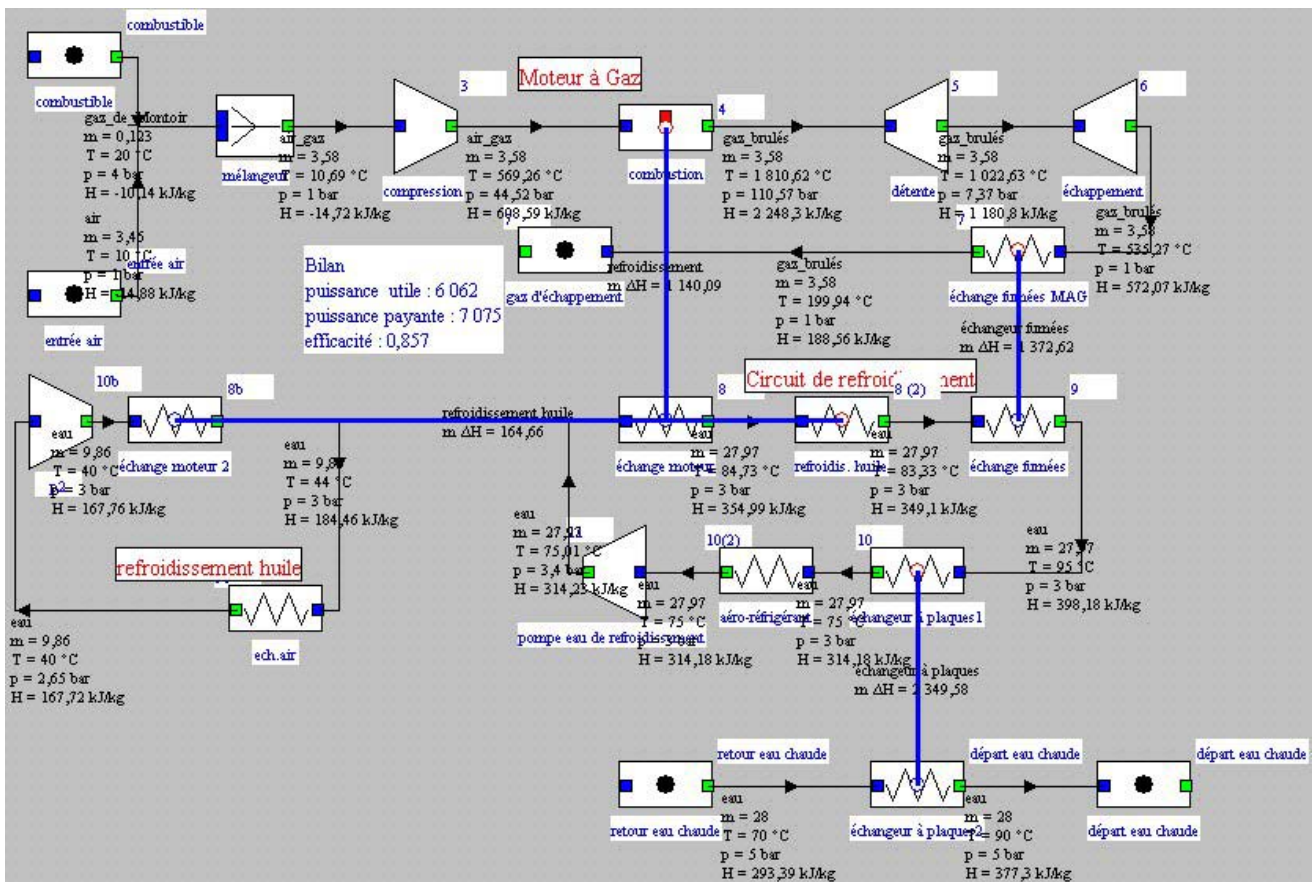
Avec ces trois échangeurs, et connaissant les quantités que l'on doit trouver, on peut essayer de s'approcher du cas réel.

Le but premier est évidemment de se rapprocher le plus possible de l'installation réelle.

Vous pouvez ensuite faire varier les différents paramètres afin d'observer leur influence sur le rendement, les quantités de chaleur ou de travail, etc.

NB : Une fois le modèle bien paramétré, il vous suffit de changer un paramètre et vous pouvez directement recalculer l'ensemble du système dans le simulateur.

Voici un exemple de paramétrage se rapprochant du cas réel :



On s'aperçoit que le débit du circuit de refroidissement ne change pas le rendement.  
 Le débit de combustible et celui d'air, eux, ont une grande répercussion sur le rendement.  
 Il en est de même pour le rendement de la chambre de combustion.  
 Le rendement global de l'installation est de 85,7 au lieu de 85,6... soit un taux d'erreur de 1,2%.

Voici un tableau récapitulatif des résultats :

Différence de température	20 °C	20 °C
Température eau de refroidissement entrée/sortie refroidissement moteur	75/84 °C	75/84,7 °C
Température eau de refroidissement entrée/sortie échangeur gaz de combustion	84/95 °C	83,3/95 °C
Température des fumées entrée/sortie	429/120 °C	535,3/199,9 °C
Température eau de refroidissement entrée/sortie échangeur à plaques	95/75 °C	95/75 °C
Température eau de chauffe entrée/sortie échangeur à plaques	70/90 °C	70/90 °C

Température eau de chauffe entrée/sortie aéro-réfrigérant 1	84/75 °C	Modélisation à 100% de charge
Température eau de chauffe entrée/sortie aéro-réfrigérant 2	40/44 °C	40/44 °C
Débit eau de chauffe	28 kg/s	28 kg/s
Consommation moteur (gaz) PCI=10 $\rho=0,72 \text{ kg/m}^3$	0,123 kg/s	0,109 kg/s
Débit air de combustion	3,456 kg/s	4 kg/s
Température de sortie des fumées	120 °C	157 °C
Débit volumique eau de refroidissement	30 kg/s	28 kg/s
Puissance calorifique refroidissement moteur	1026 kW	990 kW
Puissance calorifique échangeur gaz de combustion	1355 kW	1372,6 kW
Puissance calorifique aéro-réfrigérant 1	1108 kW	Modélisation à 100% de charge
Puissance calorifique échangeur à plaques	2465 kW	2349,6 kW
Puissance aéro-réfrigérant 2	150 kW	164,7 kW
Puissance électrique	2185 kW	2175 kW

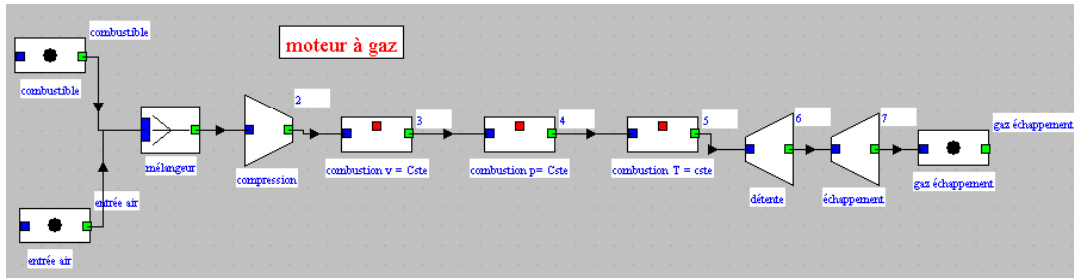
Quelques paramètres supplémentaires :

Paramètres	
efficacité échangeur fumées	0,74
efficacité échangeur à plaques	0,8
rendement chambre de combustion	0,8
rendement isentropiques détente et compression	0,85

Malgré des résultats très proches de ceux données par le constructeur, nous avons quelques différences.

Ceci peut s'expliquer par différents phénomènes :

❖ Le modèle du moteur à gaz est imparfait car en réalité nous avons une combustion à volume constant alors que pour se rapprocher au mieux de la réalité nous devrions avoir une combustion à volume constant, une combustion à pression constante et une combustion à température constante.



- ❖ Nous avons un modèle d'échappement imparfait ; par la suite, il est expliqué comment créer un modèle plus vraisemblable
- ❖ Nous n'avons pas pris en compte le taux de CO avec la dissociation dans le combustion.

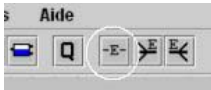
Etant donné ces imperfections, le but premier est évidemment de se rapprocher le plus possible de l'installation réelle, mais il est tout à fait normal que nous ne puissions obtenir exactement les mêmes résultats que le cas réel.

Vous pouvez ensuite faire varier les différents paramètres afin d'observer leur influence sur le rendement, les quantités de chaleur ou de travail, etc.



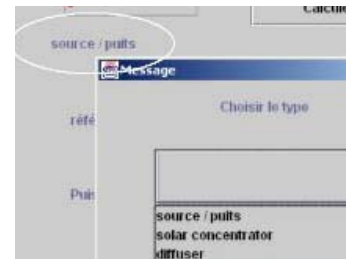
## Meilleure modélisation de l'échappement :

Dans un second temps, nous modéliserons l'échappement des gaz avec une classe externe, mieux adaptée. Pour faire apparaître une classe externe dans Thermoptim, il faut mettre le fichier java compilé dans un nouveau dossier appelé `extThopt`, puis ajouter ce dossier à l'archive `extUser.ZIP` (vous devez d'abord fermer Thermoptim, auquel cas il ne vous autorisera pas l'accès à cette archive). Quand vous serez de nouveau dans l'éditeur de schéma, insérez une classe externe,



attention une classe externe ne transmet pas nécessairement le corps, il vous faut donc indiquer le corps d'entrée ET de sortie.

Ensuite quand vous la paramétrez, la classe par défaut est *source puit*, double-cliquer sur le nom source/puits (cf. illustration ci-contre) et choisissez la transfo externe que vous voulez modéliser. Sauvez, et refermez la classe pour que Thermoptim la prenne en compte. Puis vous pouvez la rouvrir, la paramétrer et la calculer.



La transfo externe qui nous intéresse est [PistonValveExhaust.class](#), vous pouvez la télécharger à l'adresse ci-dessous\*<sup>4</sup>.

Pour toute question concernant l'utilisation, et éventuellement le codage de classes externes, reportez vous au module [S07\\_ext](#)\*<sup>5</sup> du portail Thermoptim.

\*<sup>4</sup> : [http://www.thermoptim.org/sections/logiciels/thermoptim/modelotheque/modele-echapt\\_maci](http://www.thermoptim.org/sections/logiciels/thermoptim/modelotheque/modele-echapt_maci)

\*<sup>5</sup> : [http://www.thermoptim.org/sections/enseignement/cours-en-ligne/seances-diapason/s07\\_ext-classes-externes](http://www.thermoptim.org/sections/enseignement/cours-en-ligne/seances-diapason/s07_ext-classes-externes)