

# THERMOPTIM®

## PRISE EN MAIN

### EDITEUR DE STRUCTURES PRODUCTIVES

VERSIONS JAVA 2.6 ET 2.8

© R. GICQUEL NOVEMBRE 2014

# SOMMAIRE

1 INTRODUCTION.....	3
2 EDITEUR DE STRUCTURES PRODUCTIVES .....	3
2.1 Exemple d'un cycle à vapeur.....	4
2.2 Exemple d'un cycle de réfrigération.....	7
2.3 Exemple de turbine à gaz utilisée en cogénération.....	8
3 POUR ALLER PLUS LOIN.....	10

© R. GICQUEL 1997 - 2014. Toute représentation ou reproduction intégrale ou partielle faite sans autorisation est illicite, et constitue une contrefaçon sanctionnée par le Code de la propriété intellectuelle.

Avertissement : les informations contenues dans ce document peuvent faire l'objet de modifications sans préavis, et n'ont en aucune manière un caractère contractuel.

## 1 INTRODUCTION

L'objectif de cette notice est de permettre à un utilisateur de se familiariser rapidement avec l'éditeur de structures productives de THERMOPTIM.

Ce guide de prise en mains s'adresse à des lecteurs déjà familiers d'une part de l'utilisation de Thermoptim, et d'autre part des notions de base concernant les structures productives. Vous trouverez de nombreuses informations sur ces sujets dans le portail Thermoptim-UNIT (<http://thermoptim.org>) ainsi que, pour les structures productives, dans le chapitre 7 du tome 2 du livre *Systèmes Energétiques*<sup>1</sup>.

Par ailleurs, le tome 4 du manuel de référence de Thermoptim traite en particulier de avec l'éditeur de structures productives.

La structure productive d'un système peut en effet très largement se déduire du schéma physique (schéma Thermoptim) et du paramétrage thermodynamique (projet Thermoptim). A la condition que la température  $T_0$  de l'environnement soit correctement initialisée (menu Aide / paramètres globaux du simulateur), ce dernier sert notamment à distinguer les composants extenseurs et réducteurs d'exergie ainsi qu'à calculer les bilans exergétiques des unités productives et dissipatives (UPD).

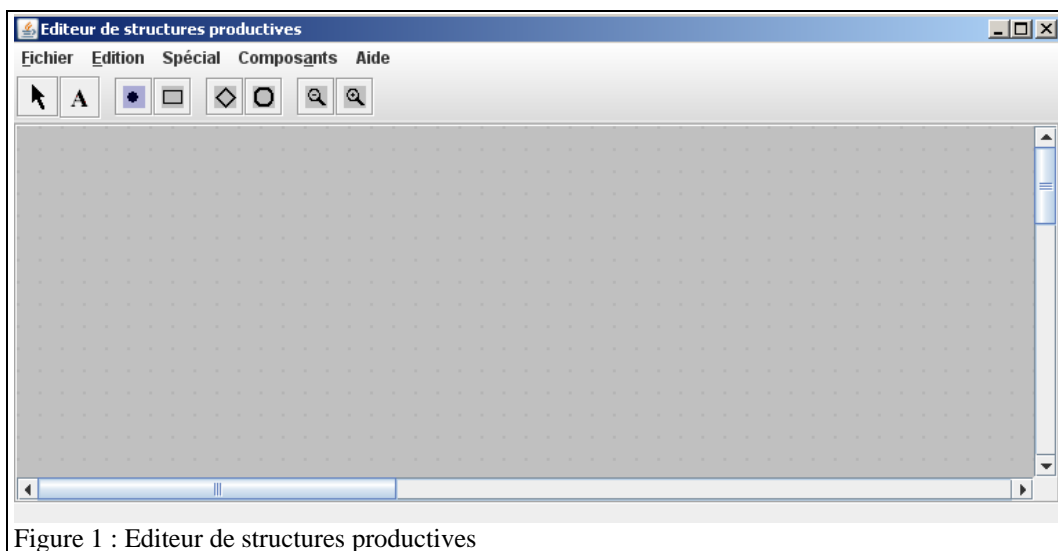


Figure 1 : Editeur de structures productives

Nous présenterons dans ce guide trois exemples simples, dont nous construirons les structures productives :

- centrale à vapeur ;
- machine de réfrigération ;
- turbine à gaz à cogénération.





Nous vous renvoyons aux trois guides de prise en mains présentant tout ou partie de leur modélisation dans Thermoptim.

Les fichiers Thermoptim correspondants sont inclus dans le dossier d'installation du logiciel, étant entendu que les structures productives, d'extension .str, sont par défaut stockées dans le dossier « struc ».

## 2 EDITEUR DE STRUCTURES PRODUCTIVES

Nous avons implémenté dans Thermoptim un nouvel éditeur permettant de concevoir des structures et de les relier au simulateur et à l'éditeur de schémas pour pouvoir calculer proprement les allocations exergétiques de chaque composant et représenter les flux d'exergie échangés (figure 1).

<sup>1</sup> GICQUEL R., *Systèmes Energétiques, Tome 2 : applications*, Presses de l'Ecole des Mines de Paris, 2009.

Il est accessible à partir du menu "Spécial" de l'écran du simulateur (Ctrl B). On reconnaît sur sa palette l'icône des transfos-points  pour représenter les flux d'entrée et de sortie, celle des unités productives ou dissipatives , et celles des jonctions  et des embranchements .

Cet éditeur de structures productives étant analogue à l'éditeur de schémas, le détail de ses fonctionnalités élémentaires est donné dans le tome 1 du manuel de référence de ThermoOptim.

## 2.1 Exemple d'un cycle à vapeur

Pour créer une structure productive, il faut bien entendu qu'un projet ThermoOptim et son schéma aient été préalablement ouverts et recalculés.

Le schéma de l'installation et la valeur des principaux paramètres sont donnés figure 2.

Pour créer la structure productive correspondante, placez-vous dans l'éditeur de structures productives (figure 1).

Dans une première étape, en activant la ligne « Transfert du schéma » du menu « Spécial », créez toutes les unités productives.

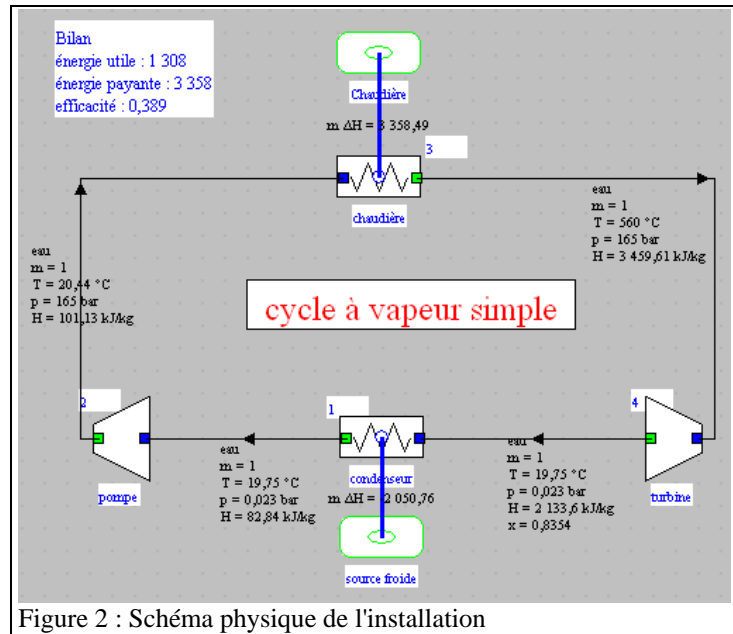


Figure 2 : Schéma physique de l'installation

La structure productive que vous obtenez automatiquement est donnée figure 3.

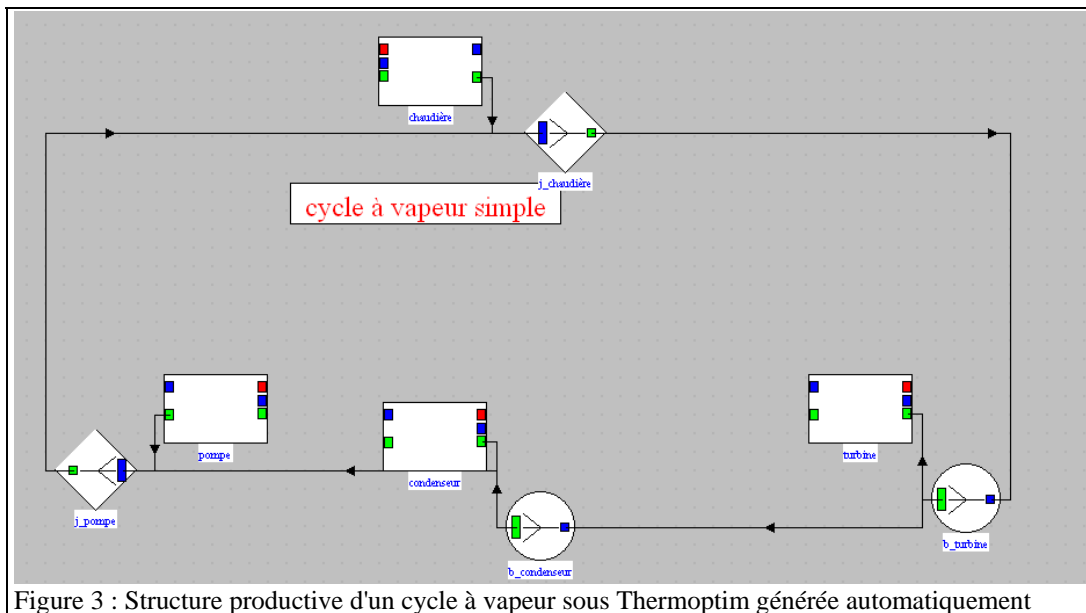


Figure 3 : Structure productive d'un cycle à vapeur sous ThermoOptim générée automatiquement

En créant la structure productive, il est fréquent que l'on introduise des jonctions en série et des embranchements en série, qui peuvent très bien être regroupés pour simplifier la structure productive. Il suffit pour cela que plusieurs extenseurs ou plusieurs réducteurs soient disposés en série dans le schéma. C'est le cas dans cet exemple pour la pompe et la chaudière ainsi que pour le condenseur et la turbine.

Aussi est-il possible, dans une deuxième étape, de sélectionner dans l'éditeur de structures les pseudos-nœuds en série, et de les fusionner en activant la ligne « Suppression des nœuds excédentaires » du menu « Spécial ». Afin d'éviter des erreurs de représentation, vous pouvez choisir de ne pas automatiquement supprimer les véritables

nœuds provenant du schéma physique, sachant qu'ils peuvent l'être à la main dans un second temps. Vous obtenez le schéma de la figure 4.

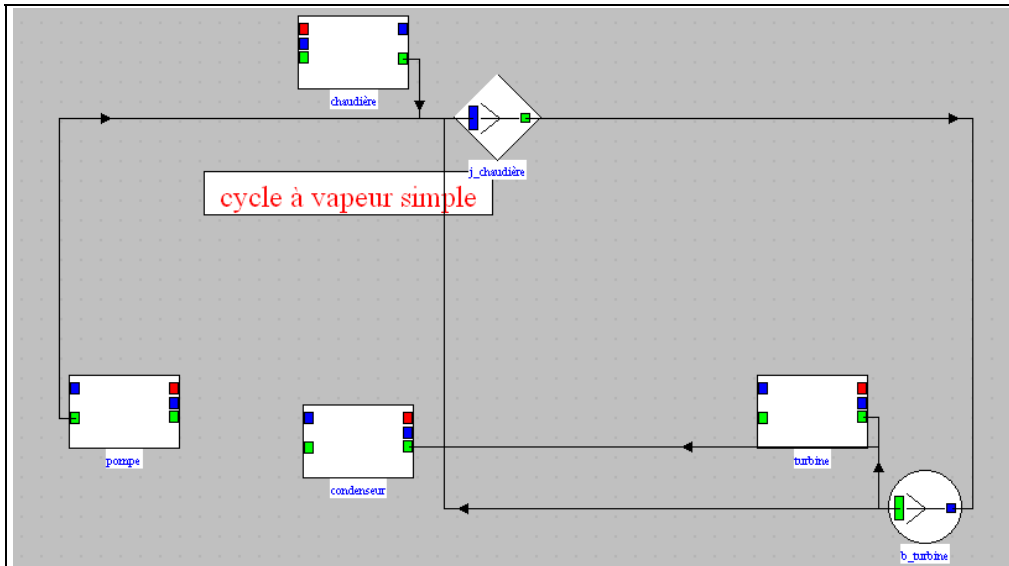


Figure 4 : Structure productive d'un cycle à vapeur sous Thermoptim, nœuds excédentaires enlevés

Retravaillez la structure pour obtenir une meilleure lisibilité, en réorientant de gauche à droite ou de droite à gauche certains composants. Vous obtenez un résultat voisin de celui de la figure 5 :

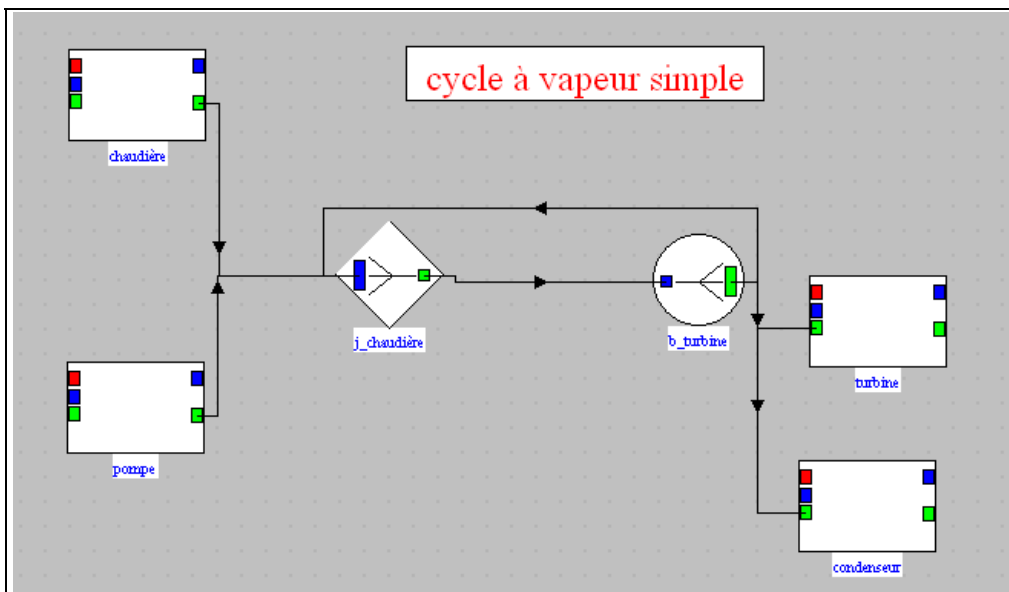


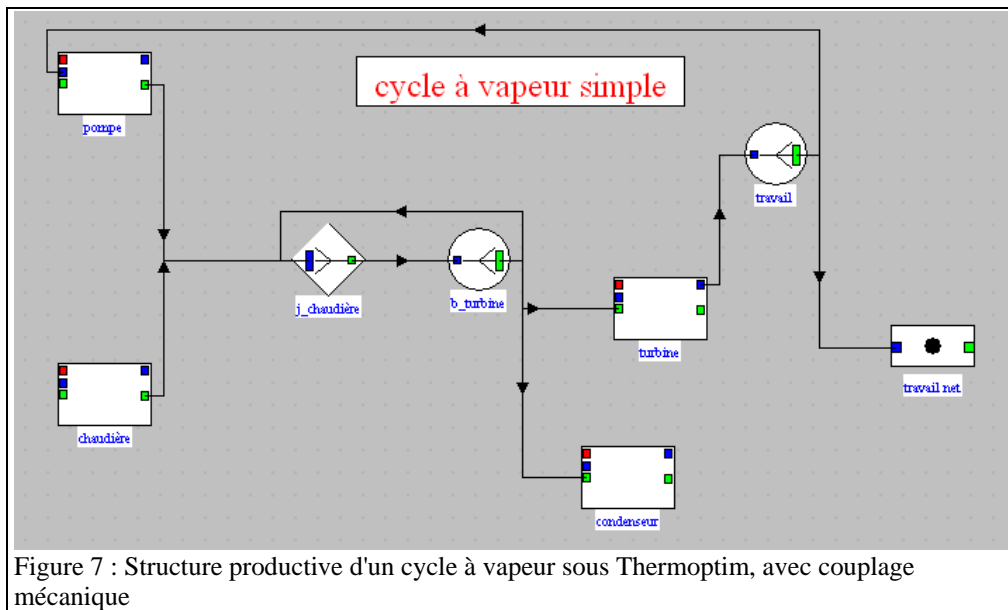
Figure 5 : Structure productive d'un cycle à vapeur sous Thermoptim, légèrement retravaillé

Ce schéma n'est pas encore paramétré complètement. Si l'on essaie d'établir le bilan exergetique complet du projet (menu Spécial de l'éditeur), on obtient le résultat de la figure 6.

composant	Resource	Product	exergy efficiency	irreversibilities	% total	settings
turbine	1 556,221	1 326,01	0,852071	230,211	-0,1669	
pompe	18,29	16,497	0,901965	1,793	-0,0013	compr
condenseur	33,261	-112,617	-3,38588	145,878	-0,1057	Tk= 0 °C
chaudière	0	1 572,985	0	-1 757,416	1,274	Tk= 0 °C
global	18,29	2 786,378	76,426	-1 379,534	1	

Figure 6 : Bilan exergetique avant paramétrage

La dernière colonne, intitulée "settings", donne quelques informations synthétiques sur les paramètres pris en compte : la pompe représente un apport d'exergie externe, car elle n'est pas reliée à la turbine, et le condenseur et la chaudière sont considérés comme échangeant de l'exergie-chaaleur avec une source à 0 °C, ce qui est bien évidemment absurde.



Dans la structure productive, il manque en effet le couplage de travail, entre la turbine et la pompe, que nous représenterons par un diviseur en sortie de turbine, avec deux branches, l'une représentant ce couplage, et l'autre la puissance nette disponible (figure 7).

Cette structure productive s'interprète de la manière suivante : la centrale à vapeur est une machine qui reçoit de l'extérieur un apport d'exergie au niveau de la chaudière, et, par recyclage interne, un apport d'exergie au niveau de la pompe, qui sont les deux unités productives à gauche de l'écran. Cette exergie est pour partie convertie sous forme mécanique dans la turbine et pour partie dissipée dans le condenseur. Le travail net correspond à la fraction de puissance mécanique non recyclée.

Pour terminer l'établissement de la structure productive, il reste à paramétrer les températures des sources externes avec lesquelles des exergies-chaaleur sont échangées, à savoir la chaudière et le condenseur. Nous prendrons respectivement 1600 K (1326,85 °C) et 288,15 K (15 °C). Pour cela, double-cliquez sur les UPD correspondantes, sélectionnez l'option « External source » et entrez ces valeurs (en °C).

Une fois une structure productive établie, on peut calculer globalement le **bilan exergétique** du projet en activant la ligne « Bilan exergétique du projet » du menu « Spécial ». Le bilan obtenu est donné figure 8.

composant	Resource	Product	exergy efficiency	irreversibilities	% total	settings
pompe	18,29	16,497	0,901965	1,793	0,00124	
turbine	1 556,221	1 326,01	0,852071	230,211	0,1592	
chaudière	2 753,647	1 572,985	0,571237	1 180,662	0,8165	Tk = 1 326,85 °C
condenseur	33,261	0	0	33,261	0,023	Tk = 15,00 °C
global	2 753,647	1 307,72	0,4749	1 445,927	1	

Figure 8 : Bilan exergétique du projet complet

## 2.2 Exemple d'un cycle de réfrigération

Le schéma de l'installation et la valeur des principaux paramètres sont donnés figure 9.

Pour créer la structure productive correspondante, placez-vous dans l'éditeur de structures productives (figure 1).

Dans une première étape, en activant la ligne « Transfert du schéma » du menu « Spécial », créez toutes les unités productives.

La structure productive que vous obtenez automatiquement est donnée figure 10.

Elle fait apparaître deux diviseurs et deux mélangeurs en série, qui peuvent être fusionnés en opérant comme indiqué section 2.1. Vous obtenez alors la structure productive de la figure 11.

Retravaillez la structure pour obtenir une meilleure lisibilité, en réorientant de gauche à droite ou de droite à gauche certains composants. Vous obtenez un résultat voisin de celui de la figure 12.

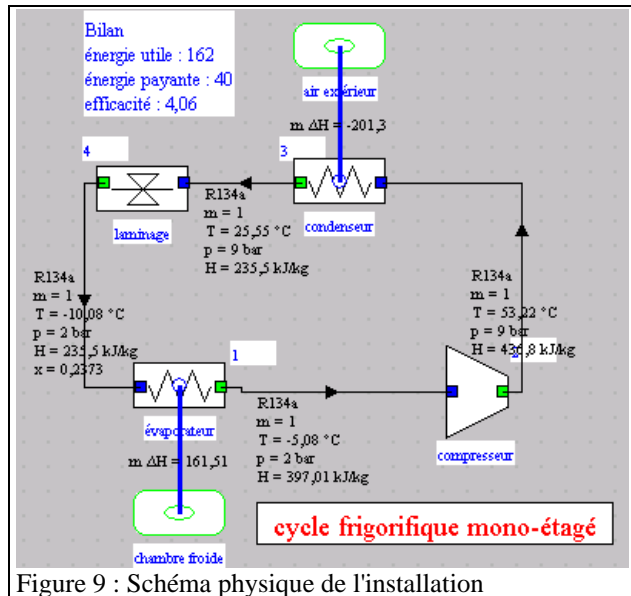


Figure 9 : Schéma physique de l'installation

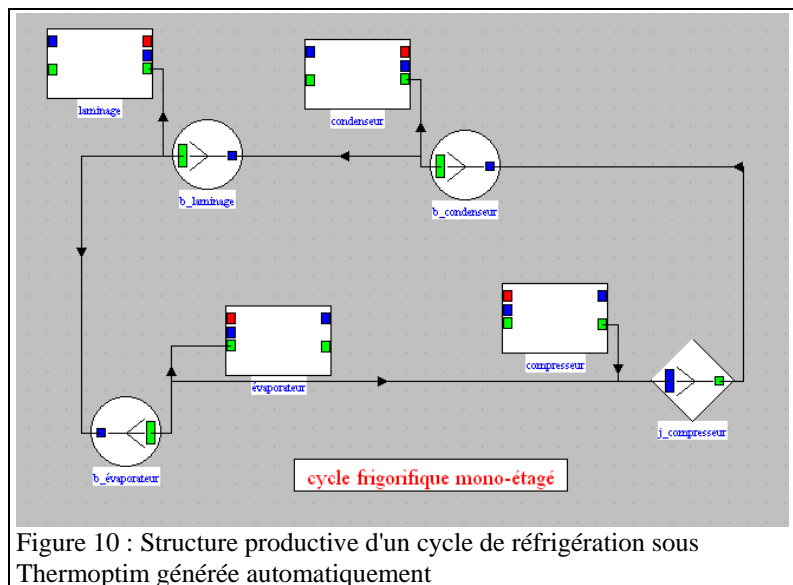


Figure 10 : Structure productive d'un cycle de réfrigération sous Thermoptim générée automatiquement

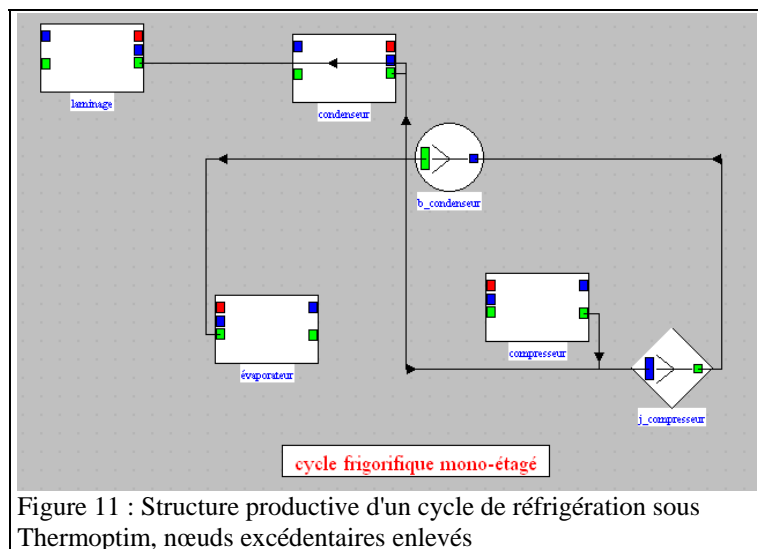
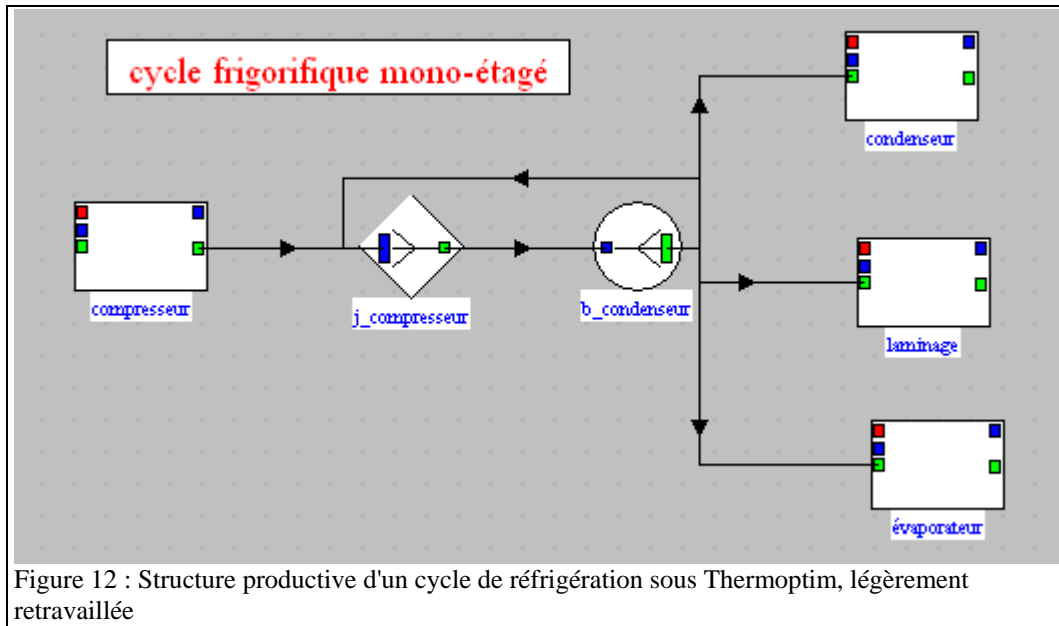


Figure 11 : Structure productive d'un cycle de réfrigération sous Thermoptim, nœuds excédentaires enlevés



Cette structure productive s'interprète très simplement : la machine frigorifique reçoit de l'extérieur un apport d'exergie au niveau du compresseur. Cette exergie est pour partie convertie dans l'évaporateur (effet frigorifique), le reste étant dissipé dans le condenseur et le détendeur (laminage).

Ce schéma n'est pas encore paramétré complètement. Si l'on essaie d'établir le bilan exergétique complet du projet (menu Spécial de l'éditeur), on obtient le résultat de la figure 13.

composant	Resource	Product	exergy efficiency	irreversibilities	% total	settings
laminage	4,024	0	0	4,024	0,09584	
compresseur	39,8	32,845	0,825246	6,955	0,1657	compr
condenseur	13,463	-11,054	-0,821084	24,518	0,584	Tk = 0 °C
évaporateur	15,358	8,869	0,577516	6,488	0,1545	Tk = 0 °C
global	39,8	-2,185	-0,0549	41,985	1	

Figure 13 : Bilan exergétique avant paramétrage

La dernière colonne, intitulée "settings", donne quelques informations synthétiques sur les paramétrages pris en compte : le compresseur représente un apport d'exergie externe, et le condenseur et l'évaporateur sont considérés comme échangeant de l'exergie-chaaleur avec une source à 0 °C, ce qui est bien évidemment absurde.

Pour terminer l'établissement de la structure productive, il reste à paramétrer les températures des sources externes avec lesquelles des exergies-chaaleur sont échangées. Nous prendrons 270,15 K (-3 °C) pour l'évaporateur et 288,15 K (15 °C) pour le condenseur. Pour cela, double-cliquez sur les UPD correspondantes, sélectionnez l'option « External source » et entrez ces valeurs (en °C).

Le bilan exergétique du projet complet peut être recalculé. Il est donné figure 14.

composant	Resource	Product	exergy efficiency	irreversibilities	% total	settings
laminage	4,024	0	0	4,024	0,1386	
compresseur	39,8	32,845	0,825246	6,955	0,2395	compr
condenseur	13,463	0	0	13,463	0,4636	Tk = 15,00 °C
évaporateur	15,358	10,761	0,700715	4,596	0,1583	Tk = -3,00 °C
global	39,8	10,761	0,2704	29,038	1	

Figure 14 : Bilan exergétique du projet complet

### 2.3 Exemple de turbine à gaz utilisée en cogénération

Nous avons modélisé dans Thermoptim un exemple de turbine à gaz utilisée en cogénération. Le schéma de l'installation et les valeurs des paramètres sont donnés figure 15.



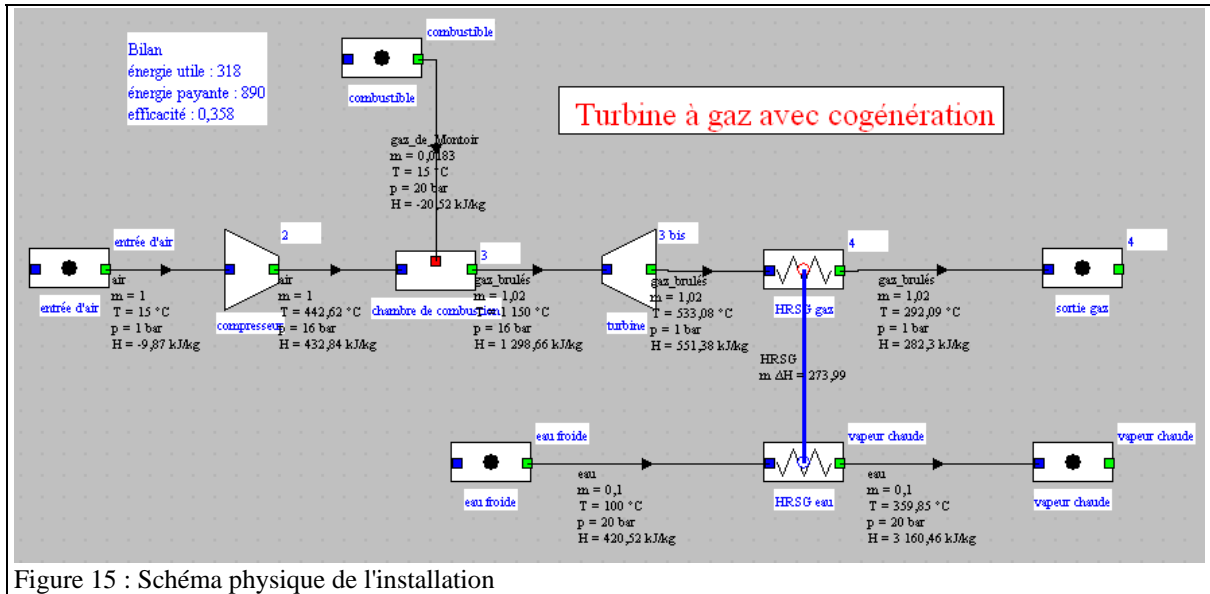


Figure 15 : Schéma physique de l'installation

La structure productive que nous avons construite est donnée figure 16.

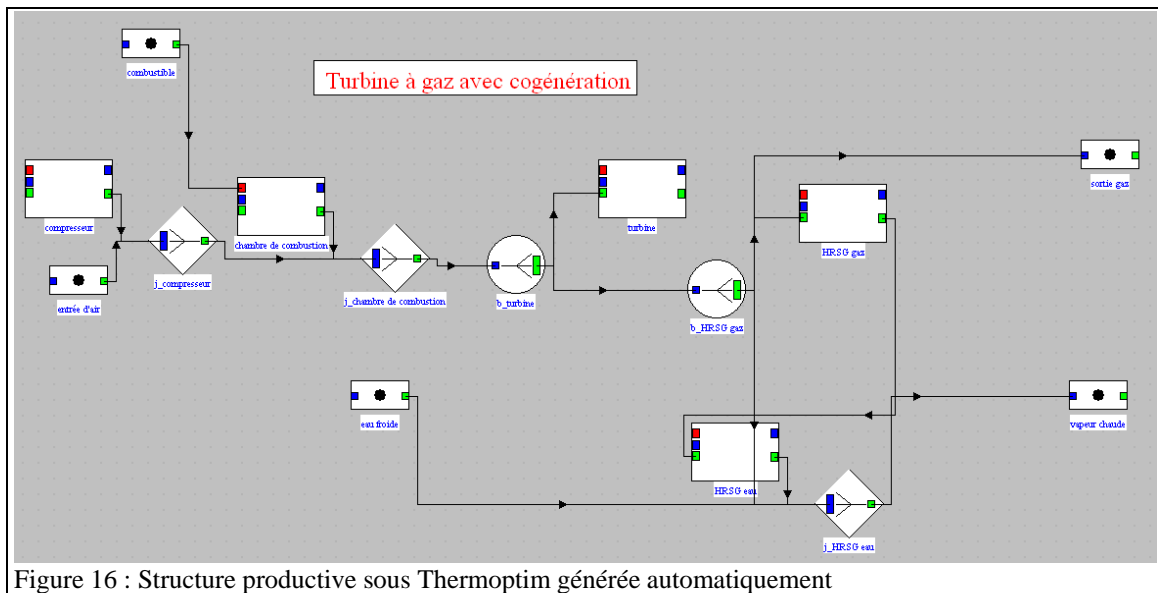


Figure 16 : Structure productive sous Thermoptim générée automatiquement

Après avoir identifié les paramétrages manquants (il faut notamment indiquer que la vapeur chaude est valorisée (Valuable exergy) et non pas perdue) et ajouté les liens représentant les couplages mécaniques, on obtient la structure productive de la figure 17.

Cette structure productive s'interprète de la manière suivante : la turbine à gaz reçoit du combustible un apport d'exergie chimique, et, par recyclage interne, un apport d'exergie au niveau du compresseur. Cette exergie est convertie pour partie sous forme mécanique dans la turbine et pour partie sous forme thermique dans le générateur de vapeur récupérateur HRSG, le reliquat étant dissipé par rejet dans l'atmosphère. Le travail net correspond à la fraction de puissance mécanique non recyclée.

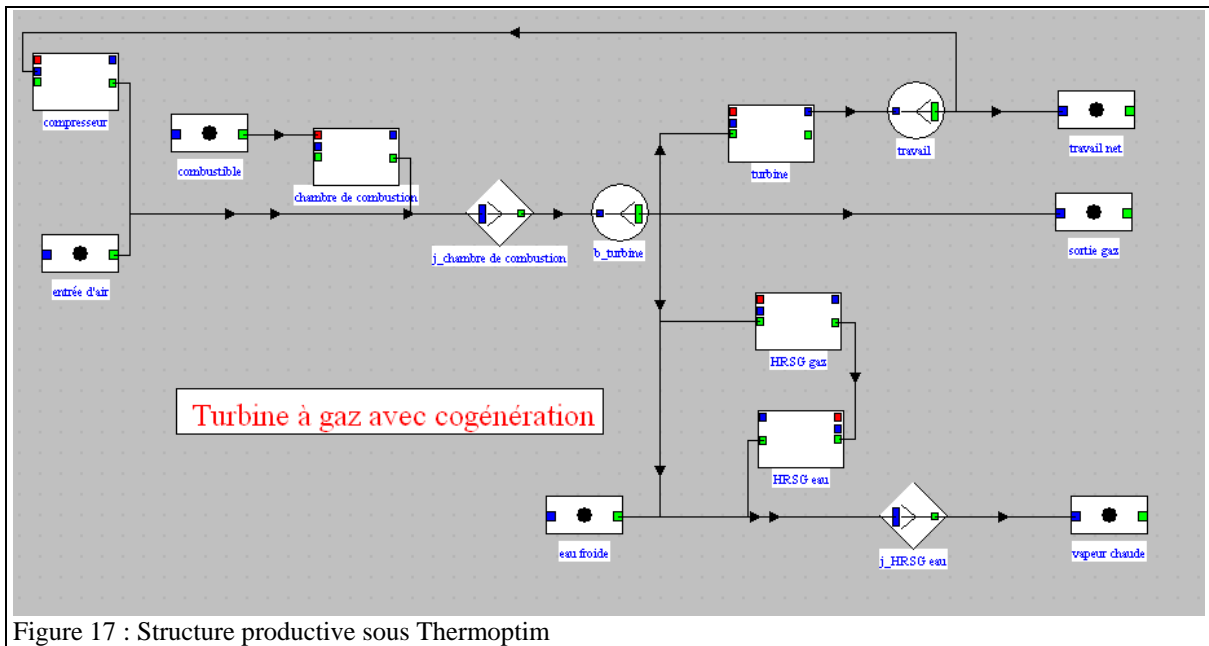


Figure 17 : Structure productive sous ThermoOptim

Dans le bilan exergetique du projet, les variations d'exergie des fluides couplés par un échangeur (HRSG dans le schéma physique) sont indiquées entourées de parenthèses, les deux transfos d'un échangeur étant regroupées l'une à côté de l'autre pour plus de clarté.

Le bilan exergetique du projet complet est donné figure 18.

composant	Resource	Product	exergy efficiency	irreversibilities	% total	settings
combustible	897,041	0	0	0	0	
compresseur	442,71	402,238	0,908581	40,472	0,08269	
turbine	796,411	760,94	0,955462	35,471	0,07247	
chambre de combustion	0	613,557	0,683978	275,983	0,5639	
eau froide	4,593	0	0	0	0	
vapeur chaude	114,658	114,658	0	0	0	
HRSG gaz	157,839	0	0	(157,839)	(0,3225)	HRSG
HRSG eau	0	110,065	0	(-110,065)	(-0,2249)	HRSG
sortie gaz	0	0	0	89,751	0,1834	loss
global	901,634	432,888	0,4572	489,451	1	

Figure 18 : Bilan exergetique du projet complet

### 3 POUR ALLER PLUS LOIN

De nombreux exemples traités pas à pas (y compris des variantes des trois présentés ici) sont disponibles à partir des liens de téléchargement du bas de cette page du portail ThermoOptim-UNIT :

<http://www.thermooptim.org/sections/base-methodologique/analyses-exergetiques/analyse-quantitative>