

EXEMPLE D'APPLICATION PROSIMPLUS

POMPES A CHALEUR A ABSORPTION

INTERET DE L'EXEMPLE

Ce document présente les simulations de cycles de pompes à chaleur à absorption. Deux types de pompe à chaleur sont présentés : le transformateur de chaleur par absorption et la machine frigorifique à absorption. Un exemple industriel d'utilisation de pompe à chaleur est également proposé.

DIFFUSION	<input checked="" type="checkbox"/> Libre Internet	<input type="checkbox"/> Réservée clients	<input type="checkbox"/> Restreinte	<input type="checkbox"/> Confidentielle
------------------	---	--	--	--

FICHIER PROSIMPLUS CORRESPONDANT	<p><i>PSPS_EX_FR-Pompe-a-chaleur-absorption-transformateur.pmp3</i></p> <p><i>PSPS_EX_FR-Pompe-a-chaleur-absorption-machine-frigorifique.pmp3</i></p> <p><i>PSPS_EX_FR-Pompe-a-chaleur-absorption-procédé.pmp3</i></p>
---	--

Il est rappelé au lecteur que ce cas d'utilisation est un exemple et ne doit pas être utilisé à d'autres fins. Bien que cet exemple soit basé sur un cas réel il ne doit pas être considéré comme un modèle de ce type de procédé et les données utilisées ne sont pas toujours les plus exactes disponibles. Fives ProSim ne pourra en aucun cas être tenu pour responsable de l'application qui pourra être faite des calculs basés sur cet exemple.

Energy

Fives ProSim

Siège social : Immeuble Stratège A - 51 rue Ampère - 31670 Labège - FRANCE

Tél. : +33 (0)5 62 88 24 30

S.A.S. au capital de 147 800 € - 350 476 487 R.C.S. Toulouse - Siret 350 476 487 00037 - APE 5829C - N° TVA FR 10 350 476 487

www.fivesgroup.com / www.fives-prosim.com

TABLE DES MATIÈRES

1.	MODELISATION DES PROCÉDES	3
1.1.	Présentation des procédés.....	3
1.1.1.	Transformateur de chaleur par absorption	4
1.1.2.	Machine frigorifique à absorption	5
1.1.3.	Exemple industriel	5
1.2.	Schémas de simulation	6
1.2.1.	Transformateur de chaleur par absorption	6
1.2.2.	Machine frigorifique à absorption	7
1.2.3.	Exemple industriel	8
1.3.	Constituants.....	9
1.4.	Modèle thermodynamique	9
1.5.	Conditions opératoires.....	10
1.5.1.	Transformateur de chaleur par absorption	10
1.5.2.	Machine frigorifique à absorption	12
1.5.3.	Exemple industriel	14
1.6.	Initialisations	19
2.	RESULTATS	21
2.1.	Résumé des résultats.....	21
2.1.1.	Transformateur de chaleur par absorption	21
2.1.2.	Machine frigorifique à absorption	22
2.1.3.	Exemple industriel	23
2.2.	Coefficient de performance (COP) et performance du procédé.....	25
2.2.1.	Transformateur de chaleur par absorption	25
2.2.2.	Machine frigorifique à absorption	25
2.2.3.	Exemple industriel	26
3.	BIBLIOGRAPHIE	27

1. MODELISATION DES PROCÉDES

1.1. Présentation des procédés

Ce document présente plusieurs exemples de simulations de pompes à chaleur à absorption. En général, la pompe à chaleur à absorption (AHP) se distingue de la pompe à chaleur « traditionnelle » (pompe à chaleur à compression mécanique) par sa capacité à comprimer le fluide de travail sans mettre en œuvre un travail de compression mécanique du gaz. De plus, l'intérêt de cette technologie par rapport à la pompe à chaleur « traditionnelle » est l'absence de composés chlorofluorés (CFC) comme fluide de travail, fluides qui ont des impacts négatifs sur l'environnement. De plus, la pompe à chaleur à absorption est capable d'atteindre des coefficients de performance intéressants pour la récupération de chaleur fatale.

Pour que la pompe à chaleur à absorption puisse fonctionner, trois sources de chaleur à des températures différentes doivent être disponibles : à température froide (Q_F), à température moyenne (Q_M) et à température chaude (Q_C). Le système est composé d'un générateur, d'un condenseur, d'un évaporateur, d'un absorbeur, d'un échangeur de chaleur interne, de(s) pompe(s) et de(s) détenteur(s). La AHP utilise une paire de fluides de travail formée d'un réfrigérant et d'un absorbant (le réfrigérant étant le composé le plus volatil).

Deux solutions sont couramment employées dans l'industrie :

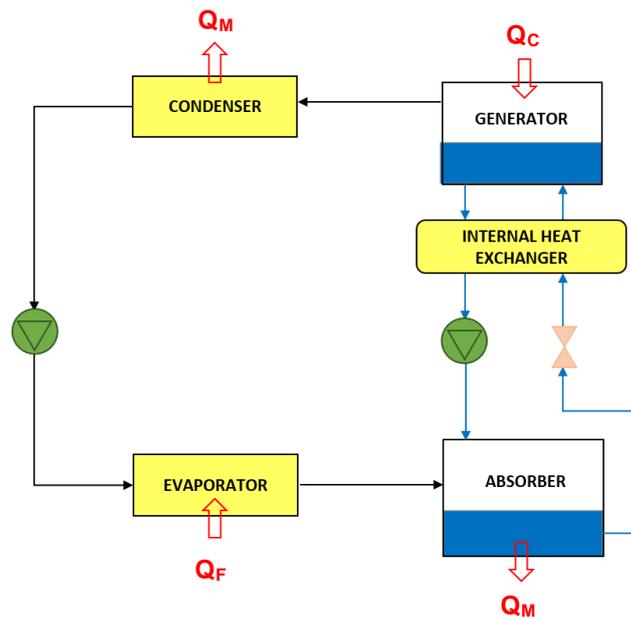
- Eau/ NH_3 , l'ammoniac servant de fluide frigorigène, l'eau d'absorbant. Les groupes à absorption Eau/ NH_3 assurent la production de froid dans ce cas.
- Eau/LiBr, l'eau servant de fluide frigorigène, le bromure de lithium d'absorbant. Les groupes à absorption Eau/LiBr peuvent assurer la production d'eau glacée (froid positif $> 5^\circ\text{C}$) pour le refroidissement et/ou la production d'eau chaude au niveau du condenseur.

Dans ces exemples, le système H_2O -LiBr est employé comme fluide de travail, l'eau étant utilisée comme réfrigérant et le LiBr comme absorbant.

La compression du réfrigérant est effectuée par le système d'absorption : le réfrigérant est absorbé dans la solution liquide pauvre en absorbant puis desorbé à l'aide d'une source de chaleur. Le mélange riche en fluide de travail (réfrigérant) est chauffé dans le générateur. Le fluide de travail se vaporise et se sépare de l'absorbant, puis est envoyé vers le cycle classique condenseur/détendeur/évaporateur. Le mélange pauvre en fluide de travail retourne dans l'absorbeur. Le mélange se concentre en fluide de travail dans l'absorbeur et est renvoyé vers le générateur afin de terminer le cycle.

Trois exemples de pompe à chaleur à absorption sont présentés : le transformateur à chaleur par absorption, la machine frigorifique à absorption et enfin un exemple industriel qui montre l'utilisation d'une pompe à chaleur à absorption.

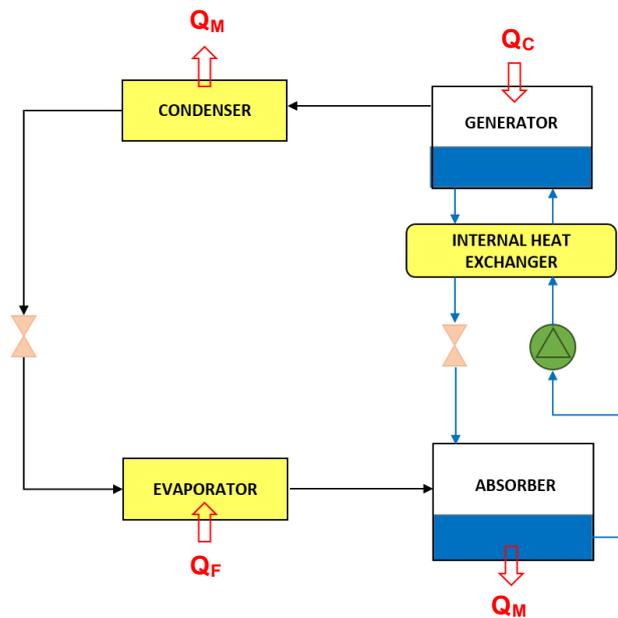
1.1.1. Transformateur de chaleur par absorption



Principe de fonctionnement d'un transformateur de chaleur par absorption

Le transformateur de chaleur par absorption est une machine tri-thermes capable de convertir la chaleur fatale d'une unité en chaleur utile à température plus élevée et en chaleur rejetée vers l'atmosphère à température proche de celle ambiante. La figure ci-dessus montre le schéma de principe du fonctionnement d'un transformateur de chaleur à absorption, la couleur bleue présente les conduites où circule le mélange réfrigérant-absorbant. Dans cet exemple, ce cycle présente un COP de 0,58.

1.1.2. Machine frigorifique à absorption



Principe de fonctionnement de machine frigorifique à absorption

La machine frigorifique à absorption est aussi une machine tri-thermes capable d'absorber la chaleur à un niveau moyen de température. La figure ci-dessus montre le schéma de principe du fonctionnement d'une machine frigorifique à absorption. La couleur bleue présente les conduites où circule le mélange réfrigérant-absorbant. Elle fonctionne à pressions inversées par rapport au transformateur de chaleur. Dans cet exemple, ce cycle présente un COP de 0,56.

1.1.3. Exemple industriel

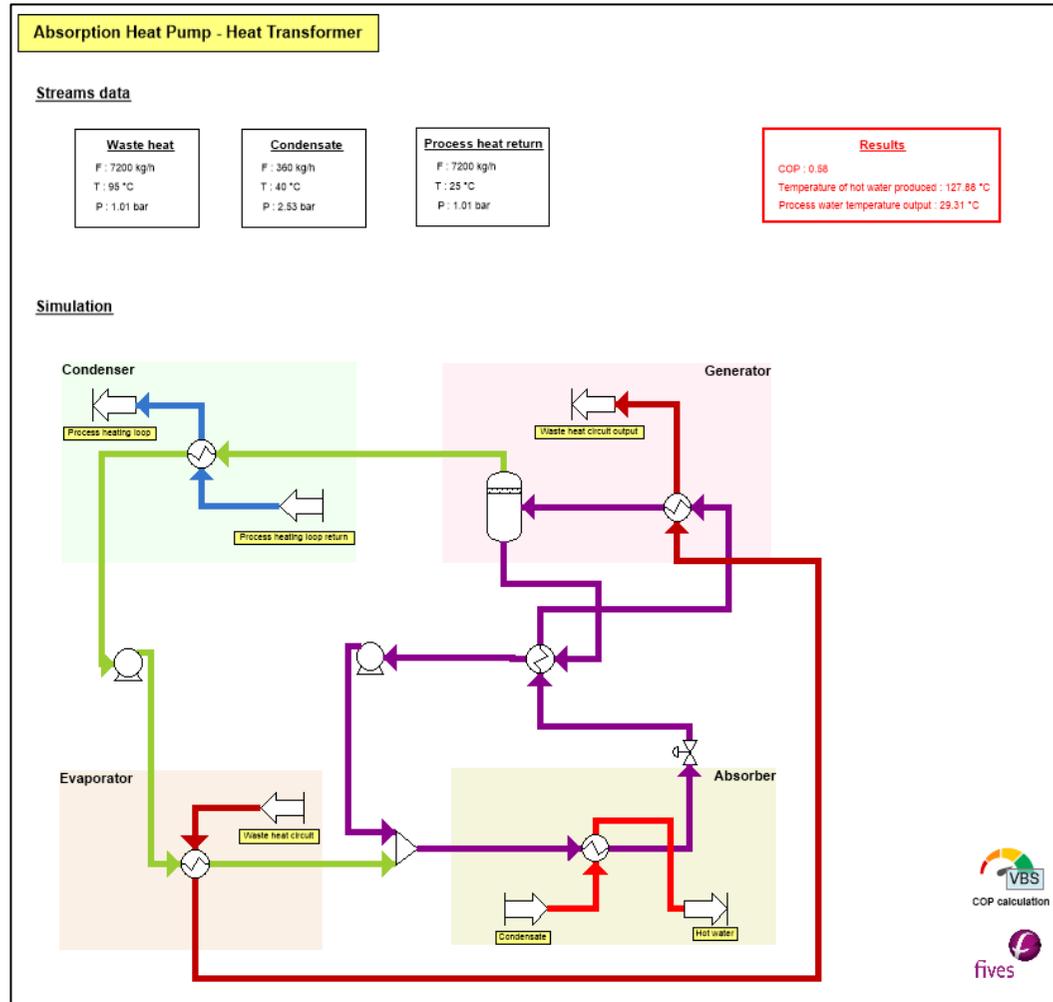
Un exemple industriel est présenté pour illustrer l'utilisation d'une pompe à chaleur à absorption. L'exemple présente la récupération de chaleur fatale par la pompe à chaleur à absorption. Cette chaleur fatale est issue d'une chaudière HP. La vapeur d'eau générée par la chaudière est utilisée pour produire de l'électricité par 2 turbines vapeur en série. Ensuite, la chaleur résiduelle des sorties de turbines est utilisée pour alimenter la pompe à chaleur afin d'alimenter des réseaux de chaleur urbains. L'eau des réseaux de chaleur urbains est chauffée de 45°C (température de retour) à environ 100°C grâce à la pompe à chaleur à absorption. Dans cet exemple, ce procédé présente un COP de 1,5.

Cet exemple est inspiré d'un procédé industriel référencé dans la littérature [XU18].

1.2. Schémas de simulation

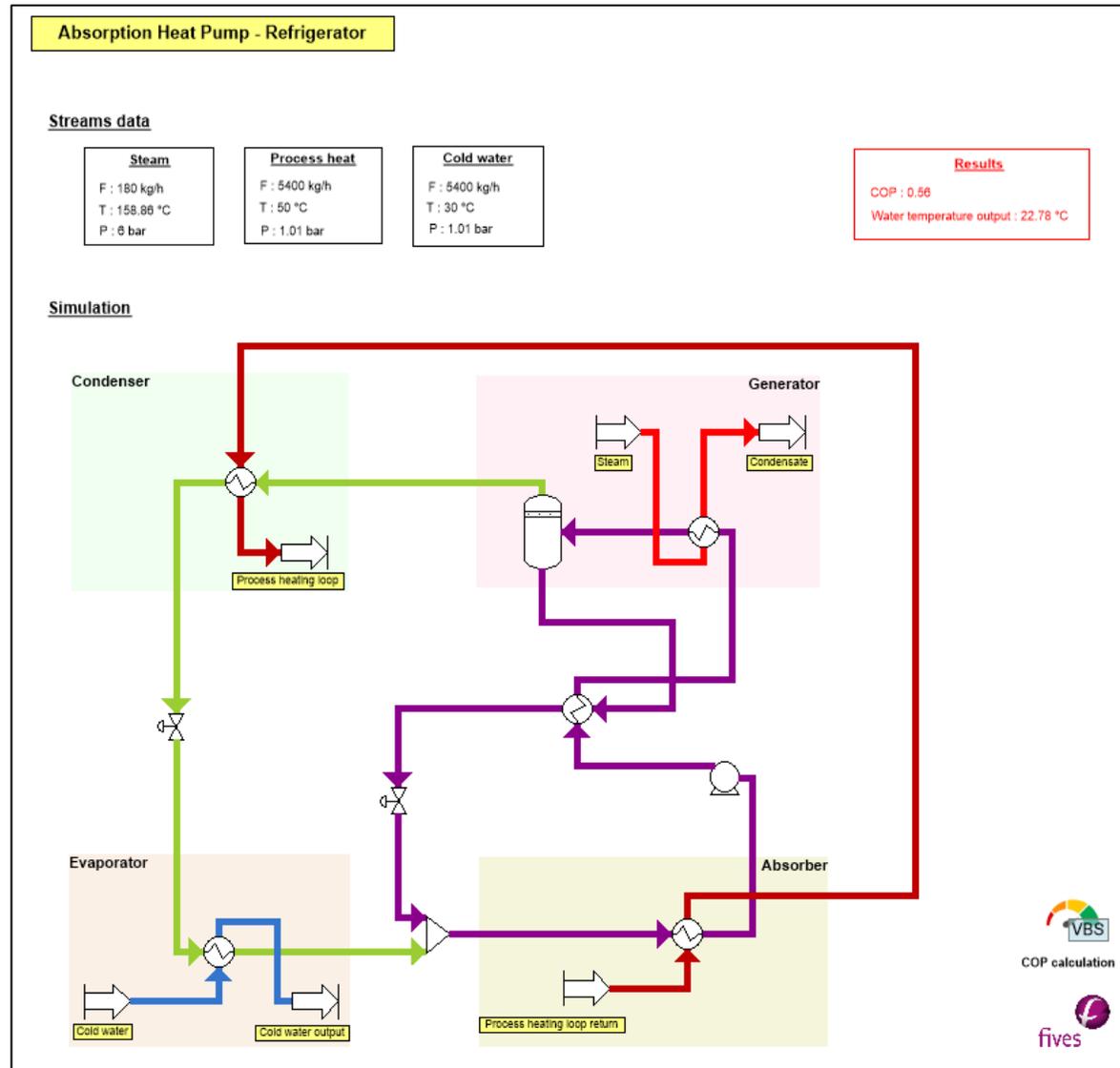
1.2.1. Transformateur de chaleur par absorption

Ce flowsheet est présenté dans : "PSPS_EX_FR-Pompe-a-chaleur-absorption-transformateur.pmp3".



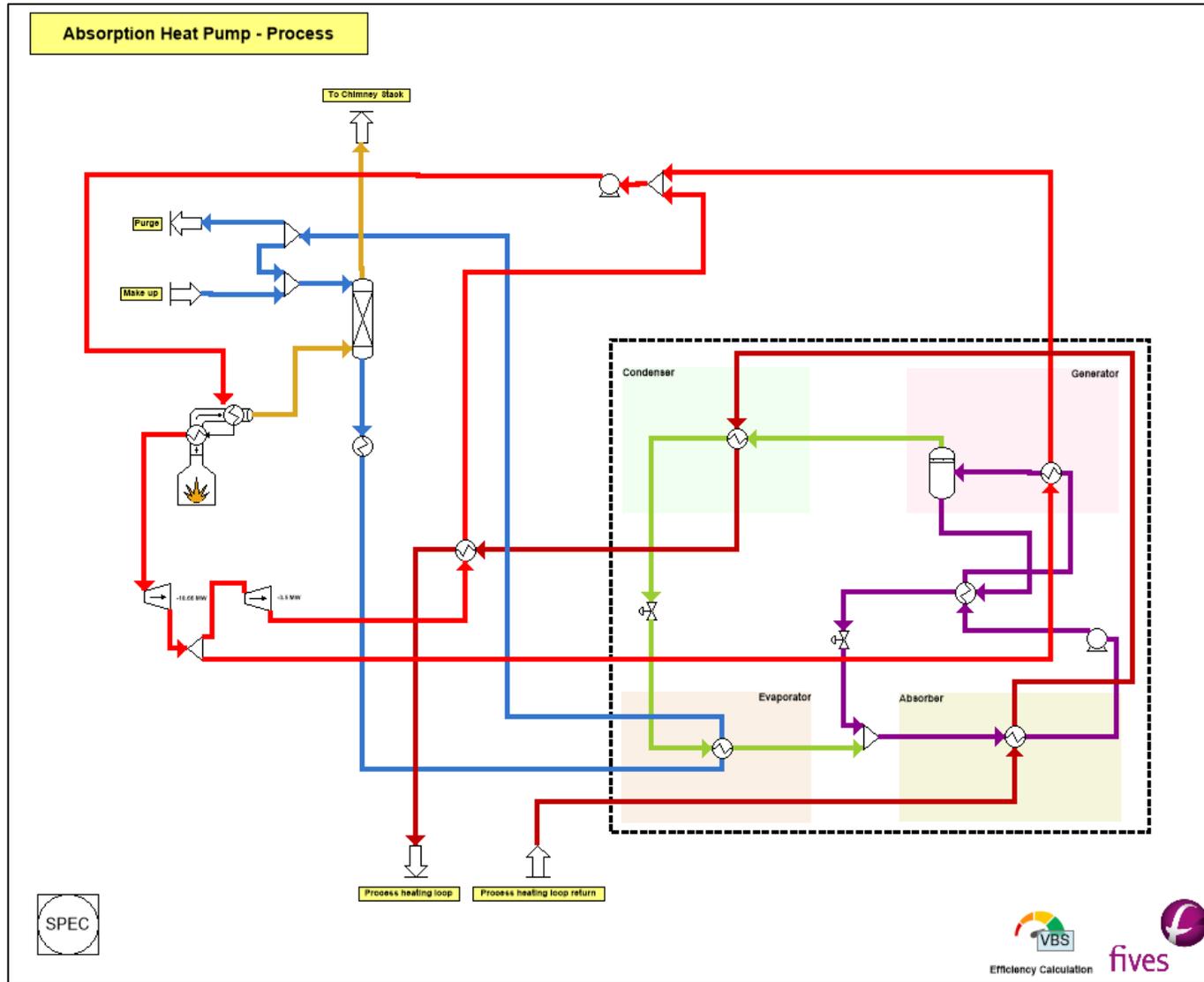
1.2.2. Machine frigorifique à absorption

Ce flowsheet est présenté dans : " PSPS_EX_FR-Pompe-a-chaueur-absorption-machine-frigorifique.pmp3".



1.2.3. Exemple industriel

Ce flowsheet est présenté dans : " PSPS_EX_FR-Pompe-a-chaueur-absorption-procédé.pmp3".



1.3. Constituants

Les constituants pris en compte dans la simulation ainsi que leurs formules chimiques et leurs numéros CAS(*) sont présentés dans le tableau ci-après. Les propriétés de corps purs sont extraites de la base de données standard des logiciels ProSim [WIL19].

Constituant	Formule chimique	Numéro CAS
Water	H ₂ O	7732-18-5
Lithium bromide	LiBr	7550-35-8
Hydrogen	H ₂	1333-74-0
Carbon dioxide	CO ₂	124-38-9
Oxygen	O ₂	7782-44-7
Carbon monoxide	CO	630-08-0
Hydrogen sulfide	H ₂ S	7783-06-4
Sulfur dioxide	SO ₂	7446-09-5
Sulfur trioxide	SO ₃	7446-11-9
Nitric oxide	NO	10102-43-9
Nitrogen	N ₂	7727-37-9

1.4. Modèle thermodynamique

Trois « calculator » sont définis pour simuler les exemples de « Pompe à chaleur à absorption » :

- « H₂O-LiBr » : ce calculator contient les constituants eau et bromure de lithium. Il est utilisé pour modéliser les courants de cycle de pompe à chaleur à absorption. Compte tenu de la nature des constituants en présence, le profil thermodynamique retenu pour la représentation des équilibres entre phases et des calculs des enthalpies est le profil « Engels ».
- « H₂O » : ce calculator ne contient que le constituant « WATER » et est donc défini avec un profil thermodynamique « Eau pure ». Il est utilisé pour modéliser les courants de fluide utilisé des différents échangeurs de chaleur.
- « Fumes » : ce calculator contient la liste des constituants présentée précédemment, à l'exception du LiBr. Il est uniquement utilisé dans l'exemple industriel afin de modéliser les courants de fumées. Compte tenu de la nature des constituants en présence, le modèle thermodynamique est le profil « Idéal ».

Les modèles thermodynamiques utilisés sont documentés dans la notice thermodynamique accessible depuis la fenêtre de définition d'un calculator.

(*)CAS Registry Numbers® are the intellectual property of the American Chemical Society and are used by ProSim SA with the express permission of ACS. CAS Registry Numbers have not been verified by ACS and may be inaccurate

1.5. Conditions opératoires

1.5.1. Transformateur de chaleur par absorption

Les conditions opératoires des différents modules dans l'exemple « Transformateur de chaleur par absorption » sont les suivantes :

- ✓ Alimentations du procédé

Nom	Process heating loop return	Waste heat circuit	Condensate
Débits massiques partiels (kg/h) :			
Eau	7200	7200	360
Bromure de lithium	0	0	0
Température (°C)	25	95	40
Pression (atm)	1	1	2,5

- ✓ Echangeurs de chaleur généralisés

Nom	Evaporator	Absorber	Condenser
Type d'échangeur	Contre-courant ou multi-passes	Contre-courant ou multi-passes	Contre-courant ou multi-passes
Type de spécification	Autre	Courant chaud	Courant chaud
Spécification	Ecart minimum de température entre CC et CF	Température de sortie	Taux de vaporisation molaire en sortie
Valeur de spécification	5 °C	45 °C	0

Nom	Generator	SHX
Type d'échangeur	Contre-courant ou multi-passes	Contre-courant ou multi-passes
Type de spécification	Courant froid	Courant froid
Spécification	Température de sortie	Différence de température entre l'entrée et la sortie
Valeur de spécification (°C)	85	10

✓ Pompes centrifuges

Nom	P1	P2
Spécification fournie	Pression fournie par l'utilisateur	Pression fournie par l'utilisateur
Pression de refoulement (mbar)	550	550
Efficacité isentropique	0,65	0,65
Efficacité mécanique	0,95	0,95
Efficacité électrique	0,98	0,98

✓ Vanne de détente « V1 »

Type de contrainte	Spécification de la pression
Spécification pour la pression	Pression fournie par l'utilisateur
Pression (mbar)	50

✓ Séparateur diphasique liquide-vapeur « S1 »

Ce module est défini avec les valeurs par défaut comme montré ci-dessous :

Type de flash	Flash à pression et quantité de chaleur échangée données
Spécification pour la pression	Pression la plus faible des alimentations
Perte de charge (atm)	0
Spécification pour la quantité de chaleur échangée	Adiabatique

Remarque : le mélangeur « M1 » est défini avec les valeurs par défaut (la pression de sortie est égale à la pression la plus faible des alimentations).

1.5.2. Machine frigorifique à absorption

Les conditions opératoires des différents modules dans l'exemple « Machine frigorifique à absorption » sont les suivantes :

- ✓ Alimentations du procédé

Nom	Cold water	Process heating loop return	Steam
Débits massiques partiels (kg/h) :			
Eau	5400	5400	180
Bromure de lithium	0	0	0
Température (°C)	30	50	Température de rosée à pression spécifiée
Pression	1 atm	1 atm	6 bar

- ✓ Echangeurs de chaleur généralisés

Nom	Evaporator	Absorber	Condenser
Type d'échangeur	Contre-courant ou multi-passes	Contre-courant ou multi-passes	Contre-courant ou multi-passes
Type de spécification	Courant froid	Courant chaud	Courant chaud
Spécification	Surchauffé au-dessus de sa température de rosée	Sous-refroidi au-dessous de sa température de bulle	Taux de vaporisation molaire en sortie
Valeur de spécification	0 °C	0 °C	0

Les contraintes sur ces échangeurs (« Evaporator » et « Absorber ») permettent d'imposer un taux de vaporisation de 0 (point de bulle) pour l'absorbeur et de 1 (point de rosée) pour l'évaporateur. Il est possible d'utiliser directement la contrainte sur le taux de vaporisation comme ce qui est fait pour le « Condenser ».

Nom	Generator	SHX
Type d'échangeur	Contre-courant ou multi-passes	Contre-courant ou multi-passes
Type de spécification	Courant froid	Courant froid
Spécification	Température de sortie	Température de sortie
Valeur de spécification (°C)	155	80

✓ Pompe centrifuge « P1 »

Spécification fournie	Pression fournie par l'utilisateur
Pression de refoulement (mbar)	550
Efficacité isentropique	0,65
Efficacité mécanique	0,95
Efficacité électrique	0,98

✓ Vannes de détente

Nom	V1	V2
Type de contrainte	Spécification de la pression	Spécification de la pression
Spécification pour la pression	Pression fournie par l'utilisateur	Pression fournie par l'utilisateur
Pression (mbar)	25	25

✓ Séparateur diphasique liquide-vapeur « S1 »

Ce module est défini avec les valeurs par défaut comme montré ci-dessous :

Type de flash	Flash à pression et quantité de chaleur échangée données
Spécification pour la pression	Pression la plus faible des alimentations
Perte de charge (atm)	0
Spécification pour la quantité de chaleur échangée	Adiabatique

Remarque : le mélangeur « M1 » est défini avec les valeurs par défaut (la pression de sortie est égale à la pression la plus faible des alimentations).

1.5.3. Exemple industriel

Les conditions opératoires des différents modules dans l'exemple industriel sont les suivantes :

- ✓ Alimentations du procédé

Nom	Process heating loop return	Make up
Débits massiques partiels (t/h) :		
Eau	1440	200
Bromure de lithium	0	0
Hydrogène	0	0
Dioxyde de carbone	0	0
Oxygène	0	0
Monoxyde de carbone	0	0
Sulfure d'hydrogène	0	0
Dioxyde de soufre	0	0
Trioxyde de soufre	0	0
Monoxyde d'azote	0	0
Azote	0	0
Température (°C)	45	15
Pression (atm)	1	1

✓ Chaudière « Boiler » :

Contrainte du module	Puissance utile imposée
Puissance utile (MW)	100
Mode de fonctionnement	Fonctionnement à charge nominale

○ Paramètres de fonctionnement de l'échangeur interne

Type d'échangeur	Contre-courant pur
Température des fumées en sortie du module fournie (°C)	130

○ Paramètres de fonctionnement de la combustion

COMBURANT			
Type		Air	
Type de contrainte : « Excès d'air » (%)		20	
Pression d'entrée (atm)		1	
COMBUSTIBLE			
Type		Liquide/solide	
PCI (kJ/kg)		10000	
Pression d'entrée (atm)		1	
Définition		Sur brut	
Nom	Fraction massique (%)	Nom	Fraction massique (%)
C	20	H	5
O	15	N	1
S	0.2	H ₂ O	38,8
Pertes thermiques		5% de la puissance de combustion	

Les coefficients stœchiométriques des réactions de la combustion sont obtenus en appuyant sur le bouton « Calcul des coefficients stœchiométriques des réactions conventionnelles ».

Note : Le bouton « Charger les constituants des fumées » du module permet de charger le calculator des fumées et de définir ce calculator comme celui de la chaudière. Un nouveau calculator « Fumes-Biogaz » est ajouté à la liste des calculators.

✓ Absorbeur « Scrubber »

Nombre d'étages théoriques	10
Pression (bar)	Egale à la pression de la première alimentation
Efficacité des plateaux	1

✓ Echangeurs de chaleur généralisés

Nom	Evaporator	Absorber	Condenser
Type d'échangeur	Contre-courant ou multi-passes	Contre-courant ou multi-passes	Contre-courant ou multi-passes
Type de spécification	Courant froid	Courant chaud	Courant chaud
Spécification	Surchauffé au-dessus de sa température de rosée	Sous-refroidi au-dessous de sa température de bulle	Taux de vaporisation molaire en sortie
Valeur de spécification	0 °C	0 °C	0

Nom	Generator	SHX	Heating condenser
Type d'échangeur	Contre-courant ou multi-passes	Contre-courant ou multi-passes	Contre-courant ou multi-passes
Type de spécification	Courant froid	Courant froid	Autre
Spécification	Température de sortie	Température de sortie	Ecart de température interne minimum
Valeur de spécification (°C)	142,2	80	10

✓ Consignateur de température « Heat loss »

Température de sortie	Egale à la température de courant d'entrée
Incrément de température (°C)	-5

✓ Turbines

Nom	HT Steam Turbine	LT Steam Turbine
Spécification	Pression de décharge fournie	Pression de décharge fournie
Pression (bar)	6	2
Efficacité isentropique	0,68	0,71
Efficacité mécanique	0,96	0,97
Efficacité électrique	0,99	0,99

✓ Pompes centrifuges

Nom	P1	P2
Spécification fournie	Pression fournie par l'utilisateur	Pression fournie par l'utilisateur
Pression de refoulement	550 mbar	35 bar
Efficacité volumique	0,75	0,75
Efficacité mécanique	0,95	0,95
Efficacité électrique	0,98	0,98

✓ Vannes de détente

Nom	V1	V2
Type de contrainte	Spécification de la pression	Spécification de la pression
Spécification pour la pression	Pression fournie par l'utilisateur	Pression fournie par l'utilisateur
Pression (mbar)	25	25

✓ Diviseurs de courants

Nom	Courant	Taux de partage	Pression de sortie
Stream splitter	11 (vers le générateur)	0,4	Egale à la pression d'entrée
Purge	23 (purge du procédé)	0,15	Egale à la pression d'entrée

✓ Séparateur diphasique liquide-vapeur « S1 »

Ce module est défini avec les valeurs par défaut comme montré ci-dessous :

Type de flash	Flash à pression et quantité de chaleur échangée données
Spécification pour la pression	Pression la plus faible des alimentations
Perte de charge (atm)	0
Spécification pour la quantité de chaleur échangée	Adiabatique

✓ Gestion des contraintes et des recyclages « SPEC »

Le module Gestion des contraintes et des recyclages est nécessaire pour résoudre les équations de recyclage du procédé, afin d'augmenter le nombre maximal de passages dans le RCM, le nombre par défaut n'étant pas suffisant. L'enthalpie est spécifiée en tant que variable itérative des courants contrôlés afin de gérer les bilans d'énergie. Le paramétrage de ce module est le suivant :

Remarque : tous les mélangeurs (« M1 », « M2 » et « M3 ») sont définis avec les valeurs par défaut (la pression de sortie est égale à la pression la plus faible des alimentations).

1.6. Initialisations

La séquence de calcul est automatiquement déterminée par ProSimPlus. Deux courants coupés sont détectés dans les deux premiers exemples : le courant « 1-1 » de la sortie du mélangeur « M1 » et le courant « 3 » ou « 3-1 » du « Generator ». Les initialisations suivantes sont utilisées :

	Transformateur de chaleur par absorption	
Courant	1-1	3 ou 3-1
Débits molaires partiels (kmol/h)		
Eau	12,0298	12,0298
Bromure de lithium	3,30796	3,30796
Température (°C)	136,39	85
Pression (mbar)	550	50

	Machine frigorifique à absorption	
Courant	1-1	3 ou 3-1
Débits molaires partiels (kmol/h)		
Eau	12,0298	12,0298
Bromure de lithium	3,30796	3,30796
Température (°C)	82,38	80
Pression (mbar)	25	550

Dans le cas de l'exemple industriel, plusieurs courants coupés sont détectés : le courant « 1-1 » (sortie du mélangeur « M1 »), le courant « 3 » (entrée de l'échangeur « Generator »), le courant « 26 » (entrée du mélangeur « M3 ») et le courant « 19 » (sortie de la pompe centrifuge « P2 »). Les initialisations suivantes sont utilisées :

Courant	1-1	3	26	19
Débits molaires partiels (kmol/h) :				
Eau	7733,44	7733,44	72553,4	6938,55
Bromure de lithium	2126,55	2126,55	0	0
Hydrogène	0	0	0	0
Dioxyde de carbone	0	0	102,131	0
Oxygène	0	0	1,02684	0
Monoxyde de carbone	0	0	0	0
Sulfure d'hydrogène	0	0	0	0
Dioxyde de soufre	0	0	5,81298	0
Trioxysde de soufre	0	0	0	0
Monoxyde d'azote	0	0	0	0
Azote	0	0	4,94618	0
Température (°C)	72,61	80	26,33	116,79
Pression (bar)	0,025	0,55	1,01325	35

2. RESULTATS

2.1. Résumé des résultats

Dans les deux premiers exemples, le module Windows script « COP Calculation » permet de calculer le coefficient de performance (COP) de la pompe à chaleur à absorption. Dans l'exemple industriel, le module Windows script « Efficiency Calculation » permet de calculer le COP de la pompe à chaleur à absorption ainsi que les performances globales du procédé.

2.1.1. Transformateur de chaleur par absorption

Module de script (\$XTMO)		
Nom:	COP calculation	
Desc :		
Identification Scripts Rapport Courants Notes		
Taille PAR :	20	
Indice	Par	Info
1	0	COP
2	0	Generator heat duty
3	0	Absorber heat duty
4	0	Condenser heat duty
5	0	Evaporator heat duty
6	0	Pumps useful power

Le script suivant est utilisé afin de calculer le COP et d'imprimer les résultats dans l'onglet « Rapport » du module « COP Calculation » :

```

'-----'
' CALL OF "UNIT CONVERSION" SCRIPT
'-----'
with CreateObject("Scripting.FileSystemObject")
    ExecuteGlobal .OpenTextFile(Project.ApplicationPath & "Scripts\UnitConversion.vbs",
1).ReadAll()
    ExecuteGlobal .OpenTextFile(Project.ApplicationPath & "Scripts\FormatDouble.vbs", 1).ReadAll()
    ExecuteGlobal .OpenTextFile(Project.ApplicationPath & "Scripts\StreamProperties.vbs",
1).ReadAll()
end with

Function OnCalculation()

'-----'
' CALCULATION OF COEFFICIENT OF PERFORMANCE OF HEAT PUMP
'-----'
Module.parameter(2) = Project.Modules("Generator").HeatDuty
Module.parameter(3) = Project.Modules("Absorber").HeatDuty
Module.parameter(4) = Project.Modules("Condenser").HeatDuty
Module.parameter(5) = Project.Modules("Evaporator").HeatDuty
Module.parameter(6) = Project.Modules("P1").UsefulPower + Project.Modules("P2").UsefulPower

COP = Project.Modules("Absorber").HeatDuty / (Project.Modules("Generator").HeatDuty +
Project.Modules("Evaporator").HeatDuty + Module.parameter(6))

Module.parameter(1) = COP

OnCalculation = true

End Function

```

```

Sub OnPrintResults()
'-----
' PRINT RESULTS
'-----

Module.PrintReport "Generator heat duty = " & NiceFloat(ConvertFromProSim("Power",
Module.parameter(2), "kW")) & "(kW)"
Module.PrintReport "Absorber heat duty = " & NiceFloat(ConvertFromProSim("Power",
Module.parameter(3), "kW")) & "(kW)"
Module.PrintReport "Condenser heat duty = " & NiceFloat(ConvertFromProSim("Power",
Module.parameter(4), "kW")) & "(kW)"
Module.PrintReport "Evaporator heat duty = " & NiceFloat(ConvertFromProSim("Power",
Module.parameter(5), "kW")) & "(kW)"
Module.PrintReport "Pumps useful power = " & NiceFloat(ConvertFromProSim("Power",
abs(Module.parameter(6)), "kW")) & "(kW)"
Module.PrintReport ""
Module.PrintReport "COP = " & FormatNumber(Module.parameter(1),3) & " (-)"
End Sub

```

2.1.2. Machine frigorifique à absorption

Module de script (\$XTMO)		
Nom:	COP calculation	
Desc :		
<div style="display: flex; justify-content: space-between; border-bottom: 1px solid black;"> Identification Scripts Rapport Courants Notes </div>		
Taille PAR :	6	
Indice	Par	Info
1	0	COP
2	0	Generator heat duty
3	0	Absorber heat duty
4	0	Condenser heat duty
5	0	Evaporator heat duty
6	0	Pump useful power

Le script suivant est utilisé afin de calculer le COP et d'imprimer les résultats dans l'onglet « Rapport » du module « COP Calculation » :

```

'-----
' CALL OF "UNIT CONVERSION" SCRIPT
'-----

with CreateObject("Scripting.FileSystemObject")
ExecuteGlobal .OpenTextFile(Project.ApplicationPath & "Scripts\UnitConversion.vbs",
1).ReadAll()
ExecuteGlobal .OpenTextFile(Project.ApplicationPath & "Scripts\FormatDouble.vbs", 1).ReadAll()
ExecuteGlobal .OpenTextFile(Project.ApplicationPath & "Scripts\StreamProperties.vbs",
1).ReadAll()
end with

Function OnCalculation()
'-----
' CALCULATION OF COEFFICIENT OF PERFORMANCE OF HEAT PUMP
'-----

Module.parameter(2) = Project.Modules("Generator").HeatDuty
Module.parameter(3) = Project.Modules("Absorber").HeatDuty
Module.parameter(4) = Project.Modules("Condenser").HeatDuty

```

```

Module.parameter(5) = Project.Modules("Evaporator").HeatDuty
Module.parameter(6) = Project.Modules("P1").UsefulPower

COP = Project.Modules("Evaporator").HeatDuty / (Project.Modules("Generator").HeatDuty +
Module.parameter(6))

Module.parameter(1) = COP

OnCalculation = true

End Function

Sub OnPrintResults()
'-----
' PRINT RESULTS
'-----

Module.PrintReport "Generator heat duty = " & NiceFloat(ConvertFromProSim("Power",
Module.parameter(2), "kW")) & "(kW)"
Module.PrintReport "Absorber heat duty = " & NiceFloat(ConvertFromProSim("Power",
Module.parameter(3), "kW")) & "(kW)"
Module.PrintReport "Condenser heat duty = " & NiceFloat(ConvertFromProSim("Power",
Module.parameter(4), "kW")) & "(kW)"
Module.PrintReport "Evaporator heat duty = " & NiceFloat(ConvertFromProSim("Power",
Module.parameter(5), "kW")) & "(kW)"
Module.PrintReport "Pump useful power = " & NiceFloat(ConvertFromProSim("Power",
abs(Module.parameter(6), "kW")) & "(kW)"
Module.PrintReport ""
Module.PrintReport "COP = " & FormatNumber(Module.parameter(1),3) & " (-)"
End Sub
    
```

2.1.3. Exemple industriel

Module de script (\$XTMO)

Nom: Efficiency Calculation

Desc :

Identification Scripts Rapport Courants Notes

Taille PAR : 8

Indice	Par	Info
1	0	COP
2	0	Generator heat duty
3	0	Absorber heat duty
4	0	Condenser heat duty
5	0	Evaporator heat duty
6	0	Electrical power produced
7	0	Heat recovered
8	0	Pumps useful power

Le script suivant est utilisé afin de calculer le COP de la pompe à chaleur à absorption, l'électricité totale produite et la puissance thermique récupérée. Ce script permet également d'imprimer ces résultats dans l'onglet « Rapport » du module « Efficiency Calculation » :

```

'-----'
' CALL OF "UNIT CONVERSION" SCRIPT
'-----'

with CreateObject("Scripting.FileSystemObject")
    ExecuteGlobal .OpenTextFile(Project.ApplicationPath & "Scripts\UnitConversion.vbs",
1).ReadAll()
    ExecuteGlobal .OpenTextFile(Project.ApplicationPath & "Scripts\FormatDouble.vbs", 1).ReadAll()
    ExecuteGlobal .OpenTextFile(Project.ApplicationPath & "Scripts\StreamProperties.vbs",
1).ReadAll()
end with

Function OnCalculation()

' Calculation of coefficient of performance of absorption heat pump
COP = (Project.Modules("Absorber").HeatDuty + Project.Modules("Condenser").HeatDuty) /
(Project.Modules("Generator").HeatDuty + Project.Modules("P1").UsefulPower)

Module.parameter(1) = COP
Module.parameter(2) = Project.Modules("Generator").HeatDuty
Module.parameter(3) = Project.Modules("Absorber").HeatDuty
Module.parameter(4) = Project.Modules("Condenser").HeatDuty
Module.parameter(5) = Project.Modules("Evaporator").HeatDuty
Module.parameter(8) = Project.Modules("P1").UsefulPower

' Calculation of total electrical power produced
Module.parameter(6) = Project.Modules("HT Steam Turbine").Power + Project.Modules("LT Steam
Turbine").Power

' Calculation of amount of heat recovered for process heating demand
Module.parameter(7) = Project.Modules("Heating condenser").OutputStream(1).EnthalpyFlux -
Project.Modules("Absorber").InputStream(2).EnthalpyFlux

OnCalculation = true

End Function

Sub OnPrintResults()
'-----'
' PRINT RESULTS
'-----'

Module.PrintReport "ABSORPTION HEAT PUMP"
Module.PrintReport ""
Module.PrintReport "Generator heat duty           = " & NiceFloat(ConvertFromProSim("Power",
Module.parameter(2), "MW")) & "(MW)"
Module.PrintReport "Absorber heat duty           = " & NiceFloat(ConvertFromProSim("Power",
Module.parameter(3), "MW")) & "(MW)"
Module.PrintReport "Condenser heat duty          = " & NiceFloat(ConvertFromProSim("Power",
Module.parameter(4), "MW")) & "(MW)"
Module.PrintReport "Evaporator heat duty         = " & NiceFloat(ConvertFromProSim("Power",
Module.parameter(5), "MW")) & "(MW)"
Module.PrintReport "-----"
Module.PrintReport "COP                           = " & FormatNumber(Module.parameter(1),3)
& " (-)"
Module.PrintReport ""
Module.PrintReport ""
Module.PrintReport "Electrical power produced     = " &
abs(NiceFloat(ConvertFromProSim("Power", Module.parameter(6), "MW"))) & " (MW)"
Module.PrintReport ""
Module.PrintReport "Amount of heat recovered      = " & NiceFloat(ConvertFromProSim("Power",
Module.parameter(7), "MW")) & "(MW)"

End Sub

```

2.2. Coefficient de performance (COP) et performance du procédé

Afin de quantifier la performance thermodynamique de la pompe à chaleur à absorption, le coefficient de performance (COP) du cycle est calculé. Le COP est défini comme le ratio de chaleur utile produite et sortant du cycle par rapport aux quantités de chaleur consommées.

2.2.1. Transformateur de chaleur par absorption

Résultats de simulation	Notation	Valeur
Generator (kW)	A	49,0
Absorber (kW)	B	49,2
Condenser (kW)	C	36,1
Evaporator (kW)	D	36,2
Centrifugal pumps (kW)	E	0,01
COP	$F (=B/(A+D+E))$	0,58
Température de l'eau chaude produite (°C)	G	127,9
Température de l'eau de condenseur (°C)	H	29,3

2.2.2. Machine frigorifique à absorption

Résultats de simulation	Notation	Valeur
Generator (kW)	I	81,0
Absorber (kW)	J	9,1
Condenser (kW)	K	50,7
Evaporator (kW)	L	45,3
Centrifugal pumps (kW)	M	0,01
COP	$N (=L/(I+M))$	0,56
Température de l'eau de l'évaporateur (°C)	O	22,8

2.2.3. Exemple industriel

Résultats de simulation	Notation	Valeur
Generator (MW)	P	33,1
Absorber (MW)	Q	31,5
Condenser (MW)	R	17,4
Evaporator (MW)	S	15,7
Centrifugal pumps (MW)	T	0,01
COP	$U (= (Q+R)/(P+T))$	1,48
HT Steam Turbine (MW)	V	10,6
LT Steam Turbine (MW)	W	3,5
Puissance électrique produite (MW)	$X (=V+W)$	14,1
Chaleur récupérée (MW)	Y	101,1

Remarque : la chaleur récupérée est obtenue en soustrayant le débit enthalpique du courant matière de l'eau en sortie du procédé (courant « 27 ») avec celle du courant matière de l'eau en entrée du procédé (courant « 17 »). Cette chaleur est utilisée pour alimenter le réseau de chaleur urbain non représenté dans cet exemple.

3. BIBLIOGRAPHIE

- [WIL19] Wilding, W. V.; Knotts, T. A.; Giles, N. F.; Rowley, R. L. DIPPR Data Compilation of Pure Chemical Properties; Design Institute for Physical Properties, AIChE: New York, NY (2019)
- [XU18] Xu Z.Y., Mao H.C., Liu D.S., Wang R.Z., "Waste heat recovery of power plant with large scale serial absorption heat pumps", Energy, 165 (B), 1097-1105 (2018)