

EXEMPLE D'APPLICATION PROSIMPLUS

SIMULATION DE DIFFERENTS CYCLES DE RANKINE

INTERET DE L'EXEMPLE

Cet exemple présente différents cycles de Rankine fonctionnant avec l'énergie géothermique. Trois types de cycle de Rankine sont présentés : cycle simple, cycle à flash et cycle mixte.

DIFFUSION	<input checked="" type="checkbox"/> Libre Internet	<input type="checkbox"/> Réservé clients ProSim	<input type="checkbox"/> Restreinte	<input type="checkbox"/> Confidentiel
------------------	---	--	--	--

FICHIER PROSIMPLUS CORRESPONDANT	<p><i>PSPS_EX_FR-Cycles-de-Rankine-cycle-simple.pmp3</i></p> <p><i>PSPS_EX_FR-Cycles-de-Rankine-simple-flash.pmp3</i></p> <p><i>PSPS_EX_FR-Cycles-de-Rankine-simple-flash-sour-water.pmp3</i></p> <p><i>PSPS_EX_FR-Cycles-de-Rankine-double-flash.pmp3</i></p> <p><i>PSPS_EX_FR-Cycles-de-Rankine-cycle-mixte.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. 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.	SIMULATION DES PROCÉDES	3
1.1.	Présentation des procédés	3
1.1.1	Cycle simple.....	4
1.1.2	Cycle à flash	4
1.1.3	Cycle mixte	4
1.2.	Schémas de simulation	5
1.2.1	Cycle simple.....	5
1.2.2	Cycles à flashes.....	5
1.2.3	Cycle mixte	6
1.3.	Constituants	7
1.4.	Modèles thermodynamiques	7
1.5.	Conditions opératoires	8
1.5.1	Cycle simple.....	8
1.5.2	Cycles à flashes.....	10
1.5.3	Cycle mixte	14
1.6.	Initialisations	16
2.	RESULTATS	17
2.1.	Résumé des résultats	17
2.2.	Puissance électrique produite et quantité de chaleur thermique récupérée.....	18
2.3.	Coefficients de performance (COP) des cycles de Rankine	19
2.3.1	Cycle simple.....	19
2.3.2	Cycles à flashes.....	19
2.3.3	Cycle mixte	19
2.4.	Comparaison entre l'alimentation en eau pure et la solution eau-électrolytes	20
2.5.	Cycles thermodynamiques.....	21
2.5.1	Cycle simple.....	21
2.5.2	Cycles à flashes.....	23
2.5.3	Cycle mixte	24
3.	BIBLIOGRAPHIE	26

SIMULATION DES PROCÉDES

1.1. Présentation des procédés

Cet exemple présente des simulations de plusieurs cycles de Rankine appliqués au domaine de la géothermie. L'énergie géothermique est un flux de chaleur naturel provenant des profondeurs de la Terre. Contrairement aux énergies fossiles, l'énergie géothermique est considérée comme propre et renouvelable.

Les ressources géothermiques sont exploitées dans différentes applications industrielles. Dans cet exemple, la chaleur de l'eau des puits est valorisée pour une production d'électricité dans une centrale géothermique. Les centrales géothermiques sont, en général, basées sur un cycle de Rankine. Le cycle de Rankine est un cycle thermodynamique convertissant la chaleur en travail mécanique. La chaleur est fournie par un apport extérieur au cycle fermé qui utilise un fluide de travail.

En général, le fluide géothermal, qui sera assimilé à de l'eau, transfère sa chaleur au fluide de travail du cycle de Rankine dans l'évaporateur, avant d'être réinjecté dans le puits. La vapeur du fluide de travail produite par l'évaporateur est envoyée vers une turbine afin de produire l'énergie électrique. Cette vapeur est ensuite condensée dans un échangeur grâce au fluide de refroidissement (par exemple de l'eau de rivière).

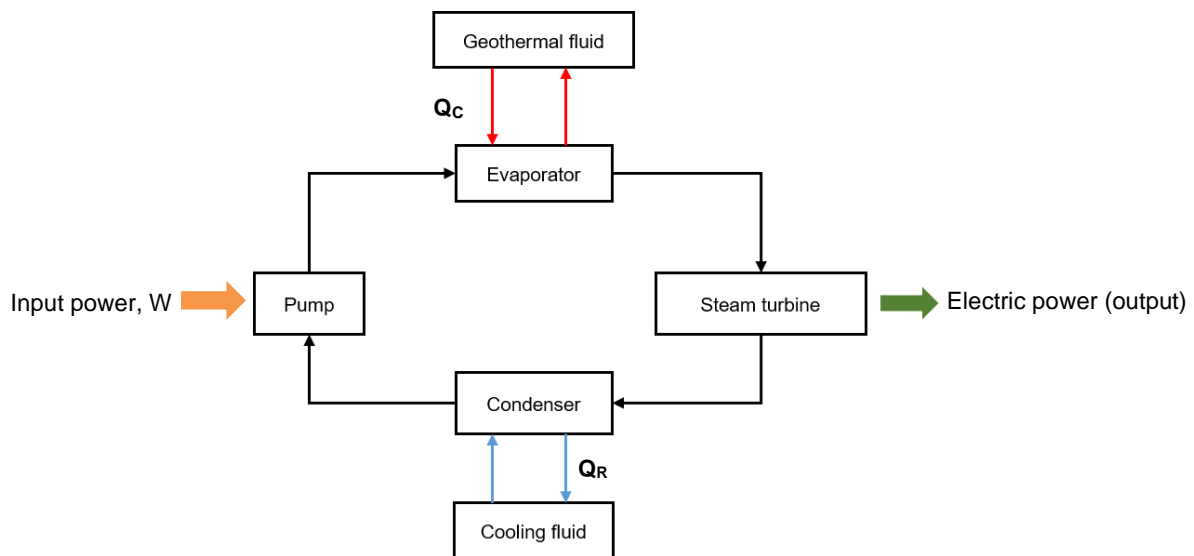


Schéma bloc du cycle de Rankine

Dans cet exemple, trois types de cycles de Rankine sont présentés : le cycle simple, le cycle à flash et le cycle mixte. Les schémas de simulation du paragraphe 1.2 permettent d'illustrer les flowsheets de ces cycles.

1.1.1 Cycle simple

En premier lieu, un cycle organique de Rankine (ORC) simple est présenté. Le fluide organique R600 (n-butane) est utilisé pour simuler le procédé. Ce cycle simple peut être modélisé avec un module « Cycle Organique de Rankine (ORC) » ou être construit en utilisant des opérations unitaires indépendantes connectées les unes aux autres. Les 2 simulations permettent de trouver les mêmes résultats comme illustré dans la suite de ce document.

1.1.2 Cycle à flash

Le cycle à flash utilise l'eau comme fluide de travail du cycle de Rankine. A l'entrée du procédé, l'eau est détendue afin d'obtenir un mélange liquide-vapeur. La phase vapeur et la phase liquide ainsi séparées, il est possible d'utiliser la vapeur pour la turbiner et la condenser avant réinjection dans le puits, tandis que le liquide est directement réinjecté dans le puits. Dans certains cas, si la pression en sortie de puits est suffisante, il est possible de réaliser un double flash, ce qui permet de récupérer de la vapeur à deux niveaux de pression différents et d'augmenter la performance de la centrale. Dans cet exemple, les cycles à un seul flash et le cycle à double flash sont présentés [VAL11].

Un 3^{ème} cycle à flash est présenté. Ce cycle permet de présenter un cycle à un seul flash en utilisant un fluide géothermal caractéristique. En effet, le fluide géothermal n'est pas réellement composé uniquement d'eau pure, de nombreuses impuretés et des sels étant présents dans la solution. La présence de ce type de composés peut poser des problèmes de conception et de maintenance (précipitation des composés à forte pression dans le puits, corrosion...). Le courant du puits est alors composé d'eau et d'électrolytes comme Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , HCO_3^- et SO_4^{2-} (exemple « PSPS_EX_FR-Cycles-de-Rankine-simple-flash-sour-water.pmp3 »). Un modèle thermodynamique approprié permet de représenter les équilibres électrolytiques en solution.

1.1.3 Cycle mixte

Industriellement, les centrales géothermiques sont généralement plus complexes et se rapprochent du procédé illustré dans le dernier flowsheet. Il consiste à utiliser un cycle mixte, associant un flash avec le cycle ORC. Le fluide géothermal commence par être détendu à une pression inférieure à celle du puits dans une vanne de détente, ce qui permet d'en vaporiser une partie. La fraction vapeur passe dans le bloc « Combined cycle », tandis que la fraction liquide circule dans un cycle en plus basse pression.

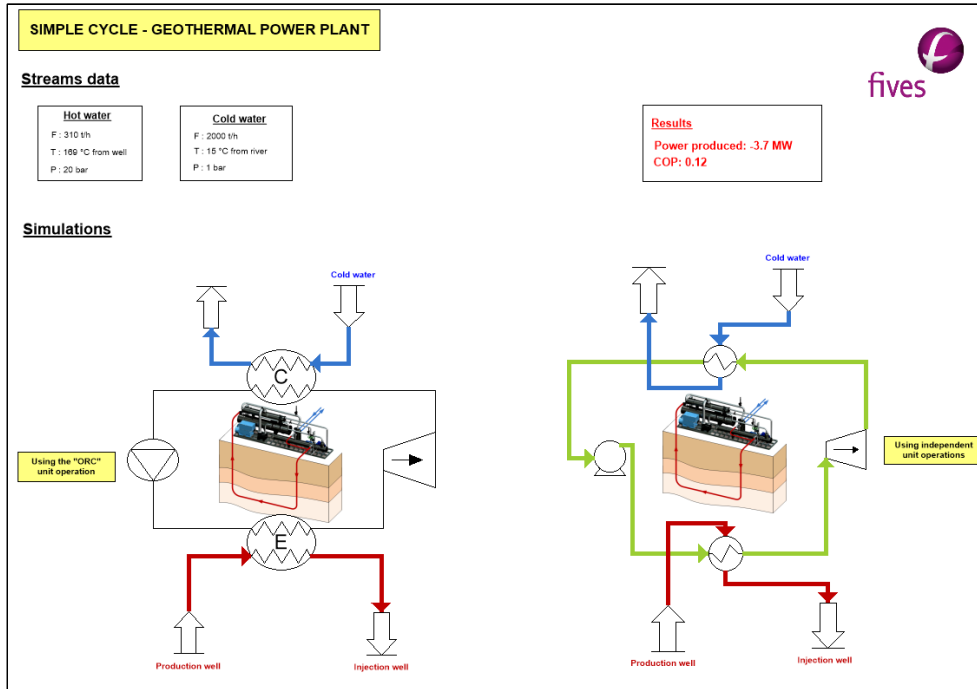
Du côté du « Combined cycle », la vapeur d'eau entre tout d'abord dans la turbine pour produire l'énergie électrique. Ensuite, elle transfère de la chaleur au fluide organique R600 au niveau de l'évaporateur dans le premier ORC. Pour le cycle à basse pression, la fraction liquide fournit l'énergie nécessaire à un autre fluide organique : le R245fa.

Le courant de sortie du procédé est encore valorisable d'un point de vue thermique. La chaleur du liquide en sortie de procédé est récupérée au niveau d'un échangeur de chaleur avant réinjection dans le puits. L'échangeur de chaleur peut permettre d'alimenter un réseau de chaleur urbain (non présenté dans cet exemple).

1.2. Schémas de simulation

1.2.1 Cycle simple

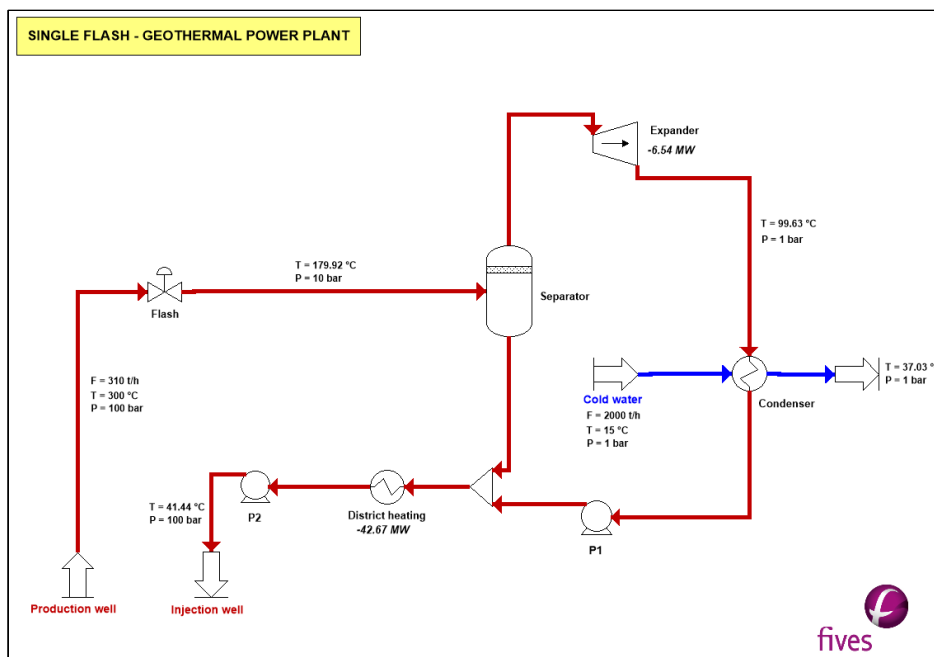
Ce flowsheet est présenté dans : "PSPS_EX_FR-Cycles-de-Rankine-cycle_simple.pmp3".



1.2.2 Cycles à flashes

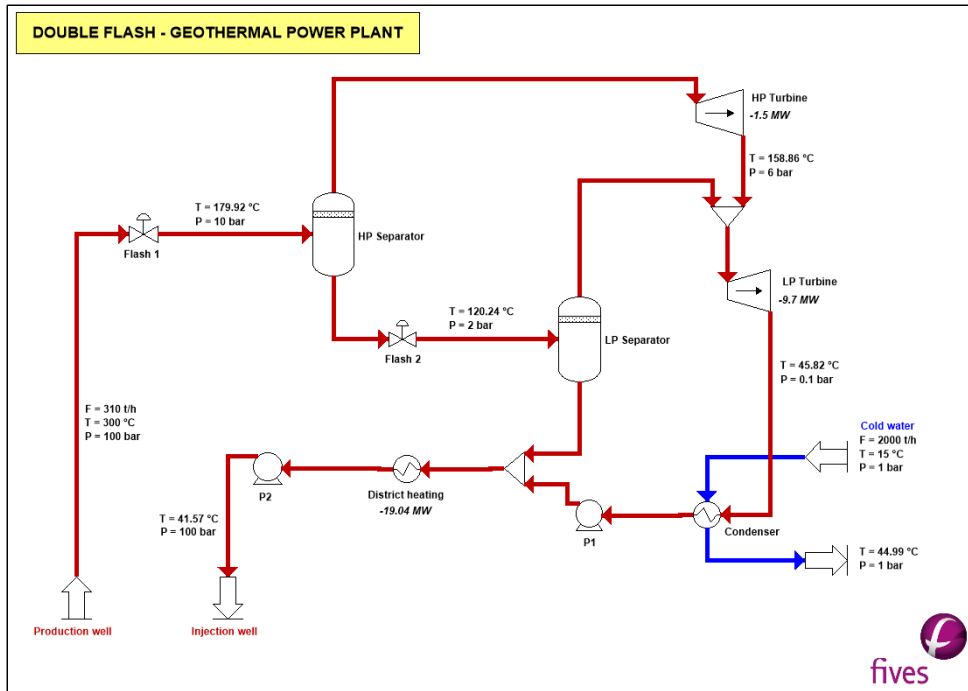
1.2.2.1 Cycle à un seul flash

Ce flowsheet est présenté dans : "PSPS_EX_FR-Cycles-de-Rankine-simple-flash.pmp3" et "PSPS_EX_FR-Cycles-de-Rankine-simple-flash-sour-water.pmp3"



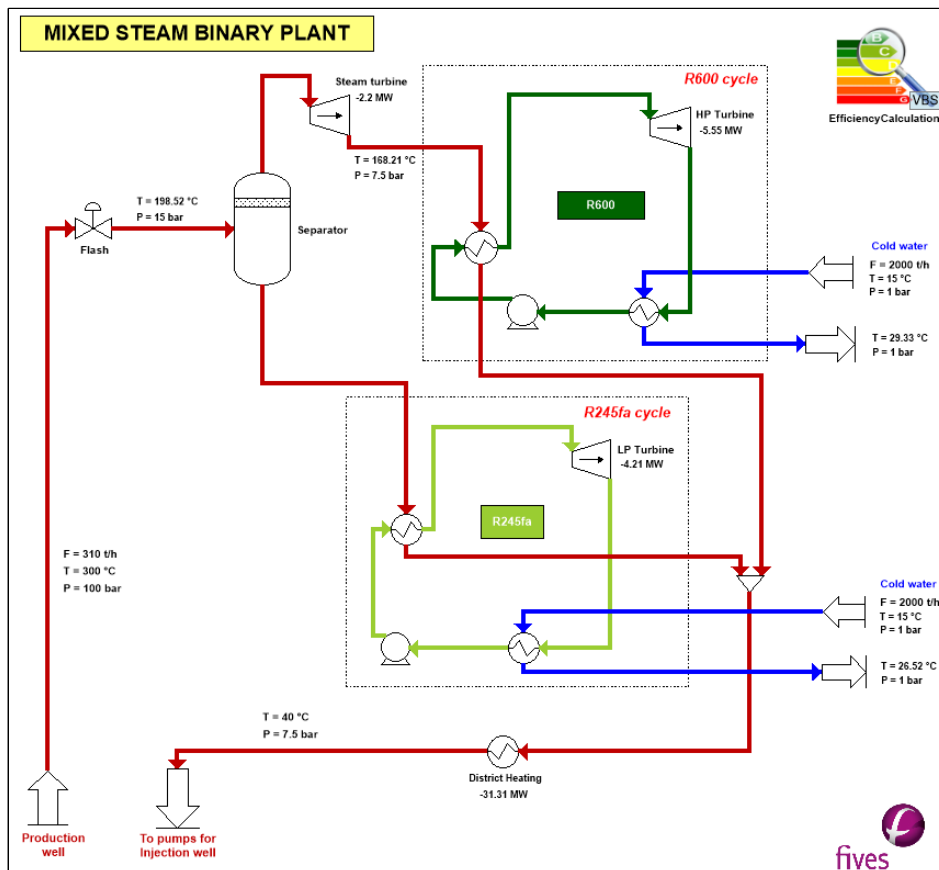
1.2.2.2 Cycle à double flash

Ce flowsheet est présenté dans : "PSPS_EX_FR-Cycles-de-Rankine-double-flash.pmp3".



1.2.3 Cycle mixte

Ce flowsheet est présenté dans : "PSPS_EX_FR-Cycles-de-Rankine-cycle_mixte.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
R600 (n-Butane)	C ₄ H ₁₀	106-97-8
R245fa (1,1,1,3,3-Pentafluoropropane)	C ₃ H ₃ F ₅	460-73-1
Sodium chloride	NaCl	7647-14-5
Potassium chloride	KCl	7447-40-7
Calcium chloride	CaCl ₂	10043-52-4
Sodium sulfate	Na ₂ SO ₄	7757-82-6
Sodium bicarbonate	NaHCO ₃	144-5-8

1.4. Modèles thermodynamiques

Plusieurs « calculator » thermodynamiques sont définis pour simuler les exemples de « Cycle de Rankine » :

- « Water » : ce calculator ne contient que le constituant « WATER » et est donc défini avec un profil thermodynamique « Eau pure ». Il est utilisé pour modéliser l'eau de puits et l'eau de refroidissement.
- « R600 » : ce calculator est uniquement composé du constituant « n-butane ». Compte tenu de la nature de ce constituant, le modèle thermodynamique utilisé pour la représentation des équilibres entre phases et les calculs d'enthalpies est l'équation d'état de Peng Robinson (PR).
- « R245fa » : ce calculator est uniquement composé du constituant « R245fa » (1,1,1,3,3-Pentafluoropropane). Compte tenu de la nature de ce constituant, le modèle thermodynamique utilisé pour la représentation des équilibres entre phases et les calculs d'enthalpies est l'équation d'état cubique de Soave Redlich et Kwong (SRK). Ce calculator est spécifiquement utilisé dans le cas du cycle mixte.
- « Well water » : ce calculator est composé de tous les constituants définis dans le paragraphe 1.3 sauf les fluides organiques (R600 et R245fa). Ce calculator est uniquement utilisé pour modéliser le courant d'eau géothermale entrant du flowsheet « PSPS_EX_FR-Cycles-de-Rankine-simple-flash-sour-water.pmp3 ». Le profil thermodynamique retenu pour la représentation des équilibres entre phases et des calculs des enthalpies est le profil Sour Water.

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 Cycle simple

Les conditions opératoires des différents modules dans le cycle simple sont les suivants :

- ✓ Alimentations du procédé

Nom	Production well	Cold water
Débits massiques partiels (t/h) :		
Eau	310	2000
R600	0	0
Température (°C)	169	15
Pression (bar)	20	1

- ✓ Cycle organique de Rankine

Mode de fonctionnement	Cycle simple
Contrainte	Sur l'utilité de l'évaporateur
Température de sortie de l'utilité (°C)	96,43

- Evaporateur

Surchauffe du fluide organique (K)	2
Mode de calcul : Modèle pincement	Pincement seul fourni
Pincement (K)	10

- Turbine

Rendement isentropique (%)	Rendement mécanique (%)	Rendement alternateur (%)
75	92	98

- Condenseur

Sous-refroidissement du fluide organique (K)	2
Mode de calcul : Modèle pincement	Pincement seul fourni
Pincement (K)	2

○ Pompe

Rendement isentropique (%)	Rendement mécanique (%)	Rendement alternateur (%)
70	90	98

○ Fluide organique

Type de composition	Massique
Fraction massique :	
Eau	0
R600	1

Note : Le bouton « Charger un fluide prédéfini » du module permet de charger le calculator de fluide organique et de définir le calculator du fluide organique comme le calculator du cycle organique de Rankine. Un nouveau calculator « R600 » est ajouté à la liste des calculators.

✓ Echangeurs de chaleur généralisés

Nom	Evaporator	Condenser
Type d'échangeur	Contre-courant ou multi-passes	Contre-courant ou multi-passes
Type de spécification	Autre	Autre
Spécification	Ecart de température interne minimum	Ecart de température interne minimum
Valeur de spécification (K)	10	2

✓ Turbine « Expander »

Spécification	Pression de décharge fournie par l'utilisateur
Pression de décharge (bar)	2,46
Efficacité isentropique	0,75
Efficacité mécanique	0,92
Efficacité électrique	0,98

- ✓ Pompe centrifuge « Centrifugal pump »

Spécification fournie	Pression fournie par l'utilisateur
Pression de refoulement (bar)	29,18
Efficacité isentropique	0,7
Efficacité mécanique	0,9
Efficacité électrique	0,98

1.5.2 Cycles à flashes

Dans cet exemple, deux types de cycle à flash sont présentés : le cycle à un seul flash et le cycle à double flash.

1.5.2.1 Cycle à un seul flash

Les conditions opératoires des différents modules dans le cycle à un seul flash sont les suivantes :

- ✓ Alimentations du procédé

Nom	Production well	Cold water
Débit massique partiel de l'eau (t/h)	310	2000
Température (°C)	300	15
Pression (bar)	100	1

Pour la simulation avec présence d'électrolytes, l'alimentation du courant principal du procédé est remplacée par la solution d'électrolytes en phase aqueuse. Les conditions opératoires de ce courant sont les suivantes :

Nom	Production well
Débit massique total (t/h)	310
Fractions molaires :	
Eau	0,99
Chlorure de sodium	0,005
Chlorure de potassium	0,001
Chlorure de calcium	0,001
Sulfate de sodium	0,002
Bicarbonate de sodium	0,001
Température (°C)	300
Pression (bar)	100

- ✓ Vanne de détente « Flash »

Type de contrainte	Spécification de la pression
Spécification pour la pression	Pression fournie par l'utilisateur
Pression (bar)	10

- ✓ Séparateur diphasique liquide-vapeur « Separator »

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

✓ Turbine « Expander »

Pression de décharge (bar)	1
Efficacité isentropique	0,75
Efficacité mécanique	0,92
Efficacité électrique	0,98

✓ Echangeur de chaleur généralisé « Condenser »

Type d'échangeur	Type de contrainte : "Courant chaud"	Taux de vaporisation
Contre-courant ou multi-passes	Taux de vaporisation molaire en sortie	0

✓ Consignateur de température « District heating »

Température de sortie (°C)	40
-----------------------------------	----

✓ Pompes centrifuges

Nom	P1	P2
Pression de refoulement (bar)	10	100
Efficacité volumétrique	0,65	0,65
Efficacité mécanique	0,9	0,9
Efficacité électrique	0,98	0,98
Contrainte	-	Etat physique liquide imposé

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

1.5.2.2 Cycle à double flash

- ✓ Alimentations du procédé

Nom	Production well	Cold water
Débit massique partiel de l'eau (t/h)	310	2000
Température (°C)	300	15
Pression (bar)	100	1

- ✓ Vannes de détente

Nom	Flash 1	Flash 2
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 (bar)	10	2

- ✓ Séparateurs diphasiques liquide-vapeur

Les séparateurs « HP Separator » et « LP Separator » sont définis avec les valeurs par défaut :

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

- ✓ Turbines

Nom	HP Turbine	LP Turbine
Pression de décharge (bar)	6	0,1
Efficacité isentropique	0,7	0,75
Efficacité mécanique	0,92	0,92
Efficacité électrique	0,98	0,98

- ✓ Echangeur de chaleur généralisé « Condenser »

Type d'échangeur	Type de contrainte : "Courant chaud"	Taux de vaporisation
Contre-courant ou multi-passes	Taux de vaporisation molaire en sortie	0

- ✓ Consignateur de température « District heating »

Température de sortie (°C)	40
----------------------------	----

- ✓ Pompes centrifuges

Nom	P1	P2
Pression de refoulement (bar)	2	100
Efficacité volumétrique	0,65	0,65
Efficacité mécanique	0,9	0,9
Efficacité électrique	0,98	0,98
Contrainte	-	Etat physique liquide imposé

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

1.5.3 Cycle mixte

Les conditions opératoires des différents modules dans le cycle mixte sont les suivants :

- ✓ Alimentations du procédé

Nom	Production well	Cold water input 1	Cold water input 2
Débits massiques partiels (t/h) :			
Eau	310	2000	2000
R600	0	0	0
R245fa	0	0	0
Température (°C)	300	15	15
Pression (bar)	100	1	1

✓ Vanne de détente « Flash »

Type de contrainte	Spécification de la pression
Spécification pour la pression	Pression fournie par l'utilisateur
Pression (bar)	15

✓ Séparateur diphasique liquide-vapeur « Separator »

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

✓ Turbines

Nom	Steam turbine	HP Turbine	LP Turbine
Spécification	Taux de détente	Pression de décharge	Pression de décharge
Valeur de spécification	2	2,5 atm	1,5 atm
Efficacité isentropique	0,75	0,75	0,75
Efficacité mécanique	0,92	0,92	0,92
Efficacité électrique	0,98	0,98	0,98

✓ Echangeurs de chaleur généralisés

Nom	Type de contrainte : "Autre"	Ecart de température (K)
HP Evaporator	Ecart de température interne minimum	5
LP Evaporator	Ecart de température interne minimum	5

Nom	Type de contrainte : "Courant chaud"	Ecart de température (K)
HP Condenser	Sous-refroidi en-dessous de sa température de bulle	2
LP Condenser	Sous-refroidi en-dessous de sa température de bulle	2

- ✓ Consignateur de température « District heating »

Température de sortie (°C)	40
-----------------------------------	----

- ✓ Pompes centrifuges

Nom	HP Centrifugal pump	LP Centrifugal pump
Pression de refoulement (atm)	33	25
Efficacité isentropique	0,7	0,7
Efficacité mécanique	0,9	0,9
Efficacité électrique	0,98	0,98

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

1.6. Initialisations

La séquence de calcul est automatiquement déterminée par ProSimPlus. Un seul courant coupé est détecté dans le cycle simple : le courant « S8 » (entrée de l'évaporateur). Cependant, deux courants coupés sont détectés dans le cycle mixte : le courant « 4 » (entrée de l'évaporateur « HP Evaporator ») du premier cycle ORC et le courant « B4 » (entrée de l'évaporateur « LP Evaporator ») du second cycle ORC. Les initialisations suivantes sont utilisées :

	Cycle simple	Cycle mixte	
Courant	S8	4	B4
Débits massiques partiels (t/h) :			
R600 (n-butane)	190	250	0
R245fa	-	0	333,33
Eau	0	0	0
Température (K)	330	330	330
Pression (atm)	34	34	34

2. RESULTATS

2.1. Résumé des résultats

Dans la simulation « PSPS_EX_FR-Cycles-de-Rankine-cycle-mixte.pmp3 », le module Windows script « Efficiency Calculation » permet de calculer les performances globales de la centrale géothermique ainsi que les COP des cycles de Rankine.

Module de script (SXTMO)		
Nom: Efficiency Calculation		
Desc :		
Identification Scripts Rapport Courants Notes		
Taille PAR : 20		
Indice	Par	Info
1	0	T1 power (kcal/hr)
2	0	T1 power (kcal/hr)
3	0	T3 power (kcal/hr)
4	0	Turbine production power (kcal/hr)
5	0	District heating power (kcal/hr)
6	0	Pump 1 power (kcal/hr)
7	0	Pump 2 power (kcal/hr)
8	0	Evaporator 1 heat duty (kcal/hr)
9	0	Evaporator 2 heat duty (kcal/hr)
10	0	COP of ORC R600
11	0	COP of ORC R245fa

Le script suivant est utilisé afin de calculer la puissance électrique totale produite et l'efficacité du cycle :

```

'-----'
' 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()
end with

'-----'
' Calculation of the total electric power and efficiencies
'-----'
Function OnCalculation()
' COP of Organic Rankine Cycle R600
  Module.parameter(10) = (abs(Project.Modules("HP Turbine").Power) - abs(Project.Modules("HP Centrifugal pump").UsefulPower)) / abs(Project.Modules("HP Evaporator").HeatDuty)
  Module.parameter(11) = (abs(Project.Modules("LP Turbine").Power) - abs(Project.Modules("LP Centrifugal pump").UsefulPower)) / abs(Project.Modules("LP Evaporator").HeatDuty)

' Total electric power of steam turbines
  Module.parameter(1) = abs(Project.Modules("Steam turbine").Power)
  Module.parameter(2) = abs(Project.Modules("HP Turbine").Power)
  Module.parameter(3) = abs(Project.Modules("LP Turbine").Power)
  Puissance_Tot = Project.Modules("Steam turbine").Power + Project.Modules("HP Turbine").Power + Project.Modules("LP Turbine").Power
  Module.parameter(4) = Puissance_Tot
,
' Thermal energy for district heating
  Module.parameter(5) = Project.Modules("District Heating").HeatDuty
,
  OnCalculation = true
End Function

```

```

'-----
' Print results
'-----
Sub OnPrintResults()
  Module.PrintReport("COEFFICIENT OF PERFORMANCE (COP) OF ORGANIC RANKINE CYCLE (ORC)")
  Module.PrintReport("COP of R600 ORC = " & NiceFloat(Module.parameter(10)))
  Module.PrintReport("COP of R245fa ORC = " & NiceFloat(Module.parameter(11)))
  Module.PrintReport("")
  Module.PrintReport("")
  Module.PrintReport("ELECTRIC POWER")
  Module.PrintReport("Steam turbine (MW) = " & NiceFloat(ConvertFromProSim("Power",
abs(Module.parameter(1)), "MW"))& "(MW)")
  Module.PrintReport("HP Turbine (MW) = " & NiceFloat(ConvertFromProSim("Power",
abs(Module.parameter(2)), "MW"))& "(MW)")
  Module.PrintReport("LP Turbine (MW) = " & NiceFloat(ConvertFromProSim("Power",
abs(Module.parameter(3)), "MW"))& "(MW)")
  Module.PrintReport("-----")
  Module.PrintReport("Total power produced (MW) = " & NiceFloat(ConvertFromProSim("Power",
abs(Module.parameter(4)), "MW"))& "(MW)")
  Module.PrintReport("")
  Module.PrintReport("")
  Module.PrintReport("THERMAL ENERGY POWER")
  Module.PrintReport("District heating power (MW) = " & NiceFloat(ConvertFromProSim("Power",
abs(Module.parameter(5)), "MW"))& "(MW)")
  Module.PrintReport("")
  Module.PrintReport("")
End Sub

```

2.2. Puissance électrique produite et quantité de chaleur thermique récupérée

Résultats de simulation	Notation	Cycle simple	Cycle à un seul flash	Cycle à double flash	Cycle mixte
Expander (MW)	A	3,7	6,5	-	-
Steam turbine (MW)	B	-	-	-	2,2
HP Turbine (MW)	C	-	-	1,5	5,5
LP Turbine (MW)	D	-	-	9,7	4,2
Puissance électrique totale (MW)	E (=A+B+C+D)	3,7	6,3	11,2	12,0
Chaleur récupérée au « District heating » (MW)	F	-	42,7	19	31,3

2.3. Coefficients de performance (COP) des cycles de Rankine

2.3.1 Cycle simple

Résultats de simulation	Notation	En utilisant le module « ORC »	En utilisant les opérations unitaires indépendantes
Turbine (MW)	G	3,7	3,7
Pompe (MW)	H	0,4	0,4
Evaporateur (MW)	I	26,7	26,7
COP	$J = (G-H)/I$	0,12	0,12

2.3.2 Cycles à flashes

Résultats de simulation	Notation	Cycle à un seul flash	Cycle à double flash
Puissance totale des turbines (MW)	O	6,5	11,2
Puissance totale des pompes (MW)	P	1,4	1,5
Chaleur échangée avec le système (MW)	Q	100	100
COP	$R = (O-P)/Q$	0,05	0,097

Remarque : la chaleur échangée avec le système est la différence entre l'enthalpie du courant matière en sortie du procédé (courant « 10 » pour le cycle à un seul flash ; courant « 14 » pour le cycle à double flash) et celle du courant matière en entrée du procédé (courant « 01 »).

2.3.3 Cycle mixte

Résultats de simulation	Notation	Cycle ORC au R600	Cycle ORC au R245fa
Turbine (MW)	K	5,5	4,2
Pompe (MW)	L	0,6	0,3
Evaporateur (MW)	M	38,9	31,2
COP	$N = (K-L)/M$	0,128	0,126

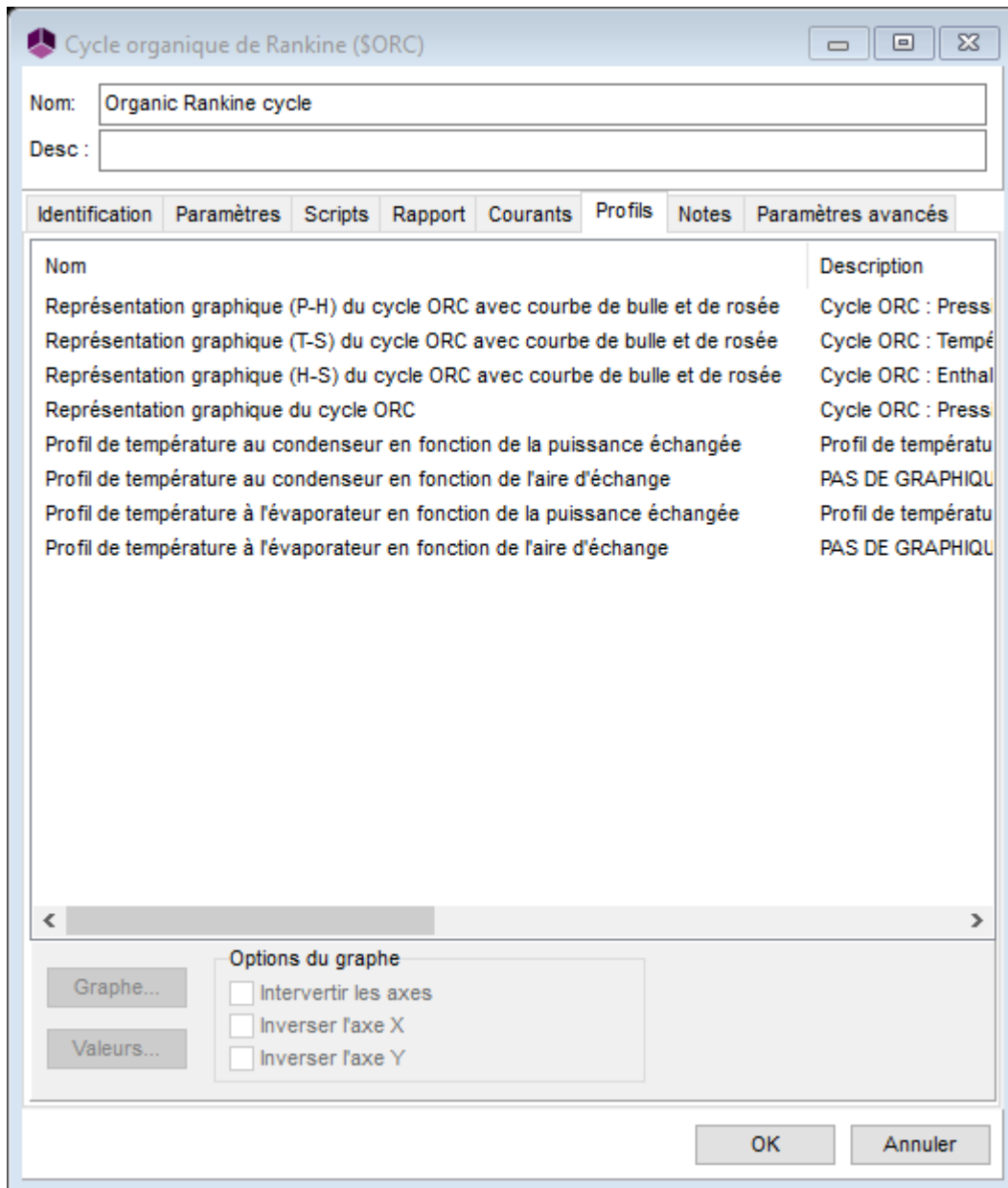
2.4. Comparaison entre l'alimentation en eau pure et la solution eau-électrolytes

Alimentation	Eau pure	Eau-électrolytes
Fraction molaire vaporisée	0,29	0,27
Puissance électrique produite (MW)	6,5	5,7
Chaleur récupérée au « District heating » (MW)	42,7	40,9

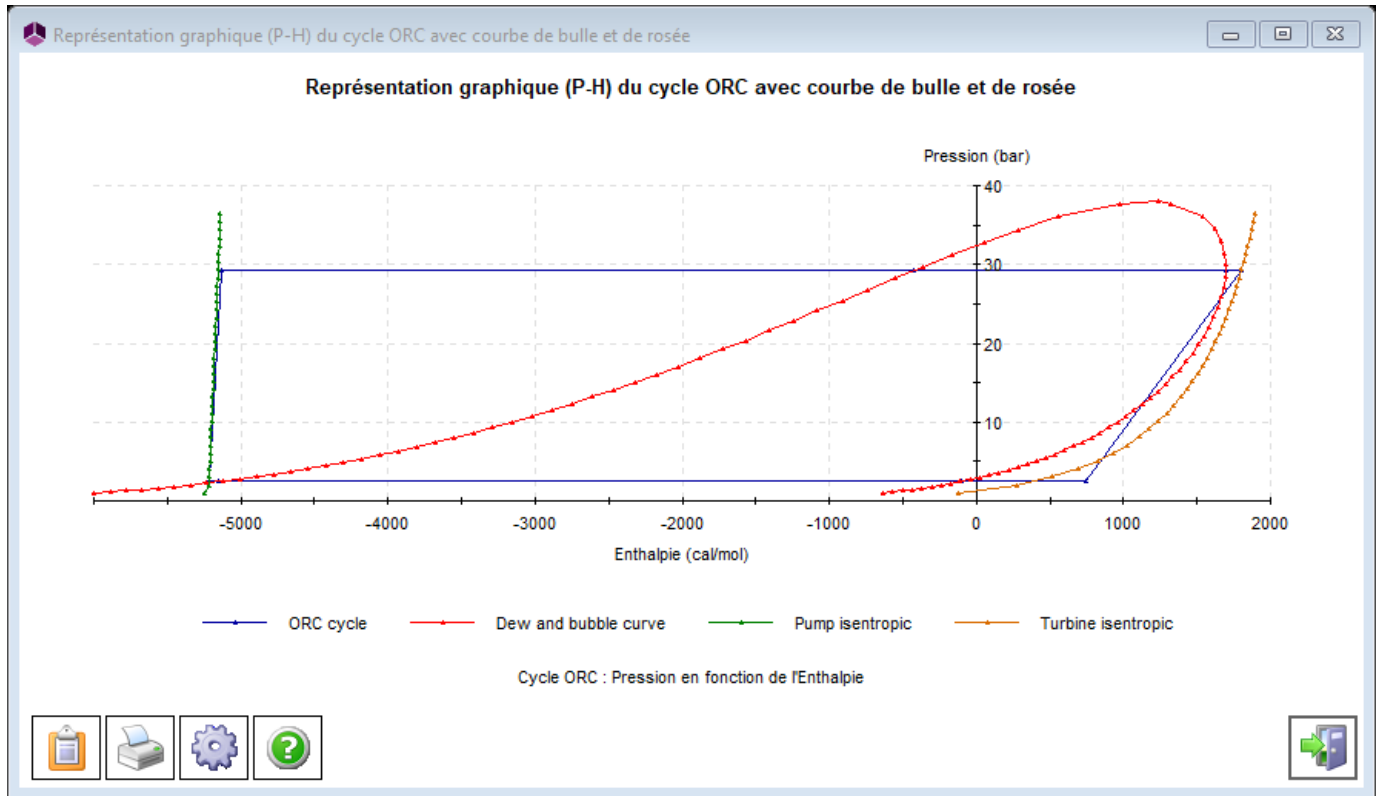
2.5. Cycles thermodynamiques

2.5.1 Cycle simple

Il est possible de tracer le diagramme Pression (P) – Enthalpie (H) du cycle avec le module « Cycle organique de Rankine (ORC) ». Dans l'onglet « Profils », double cliquer sur « Diagramme P-H » pour tracer le graphique :



Le diagramme Pression (P) – Enthalpie (H) du fluide R600 est présenté ci-dessous :

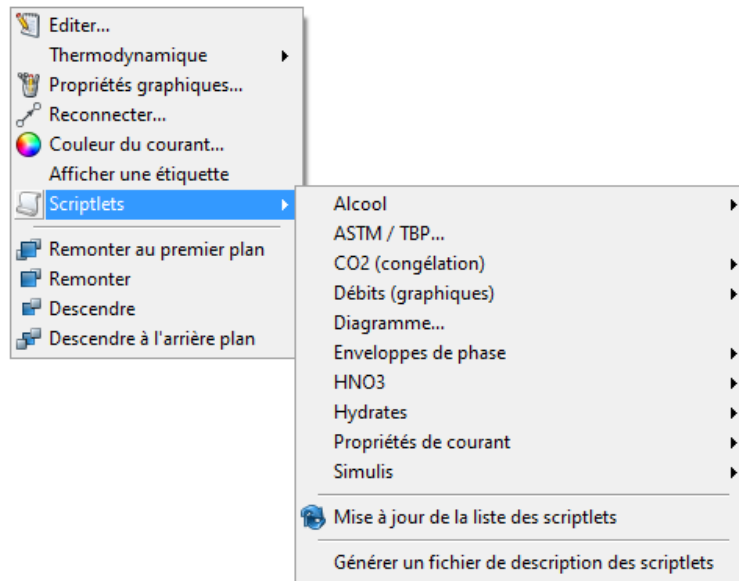


2.5.2 Cycles à flashes

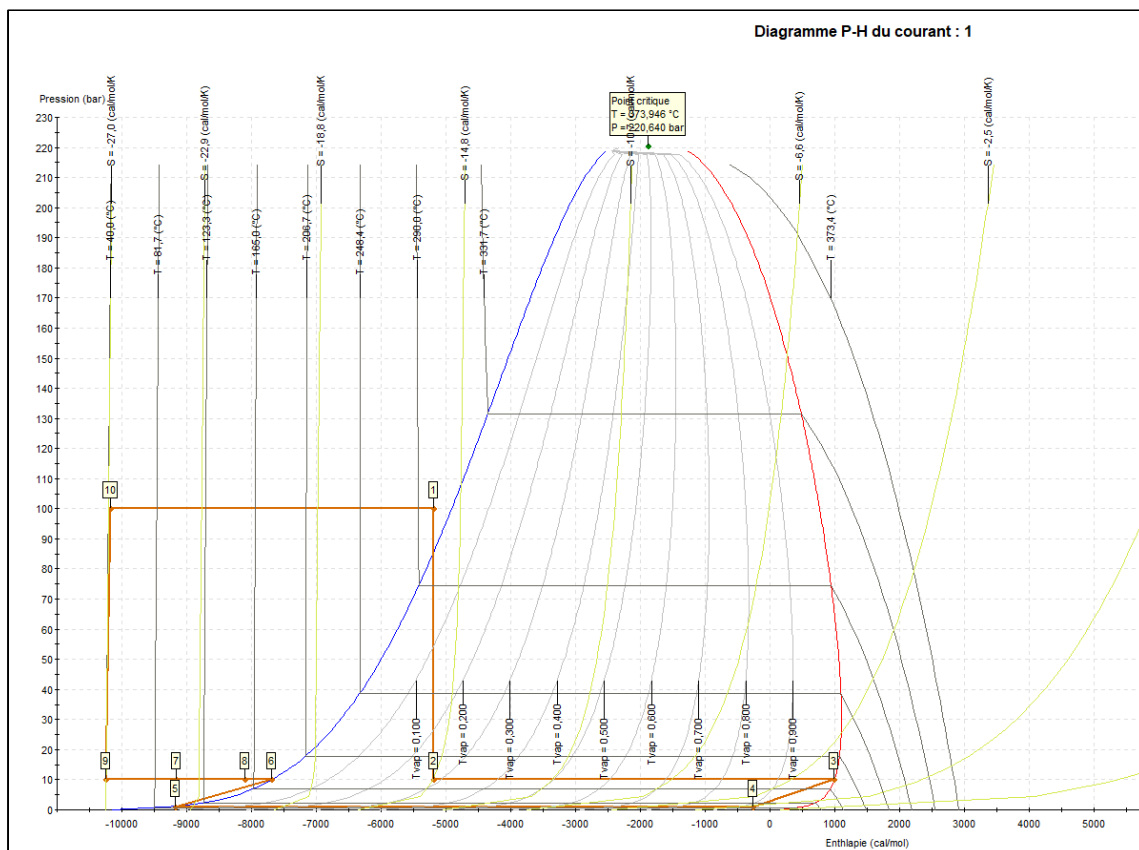
2.5.2.1 Cycle à un seul flash

Le scriptlet « Diagramme » permet de tracer des cycles thermodynamiques ou des points du procédé dans un diagramme (P-H, P-S, P-T, T-H, T-S) avec l'enveloppe de phase du fluide organique.

Pour utiliser ce scriptlet, il suffit de sélectionner un des courants matière du cycle et ensuite par un clic-droit, lancer le scriptlet via « Scriptlets -> Diagramme » :

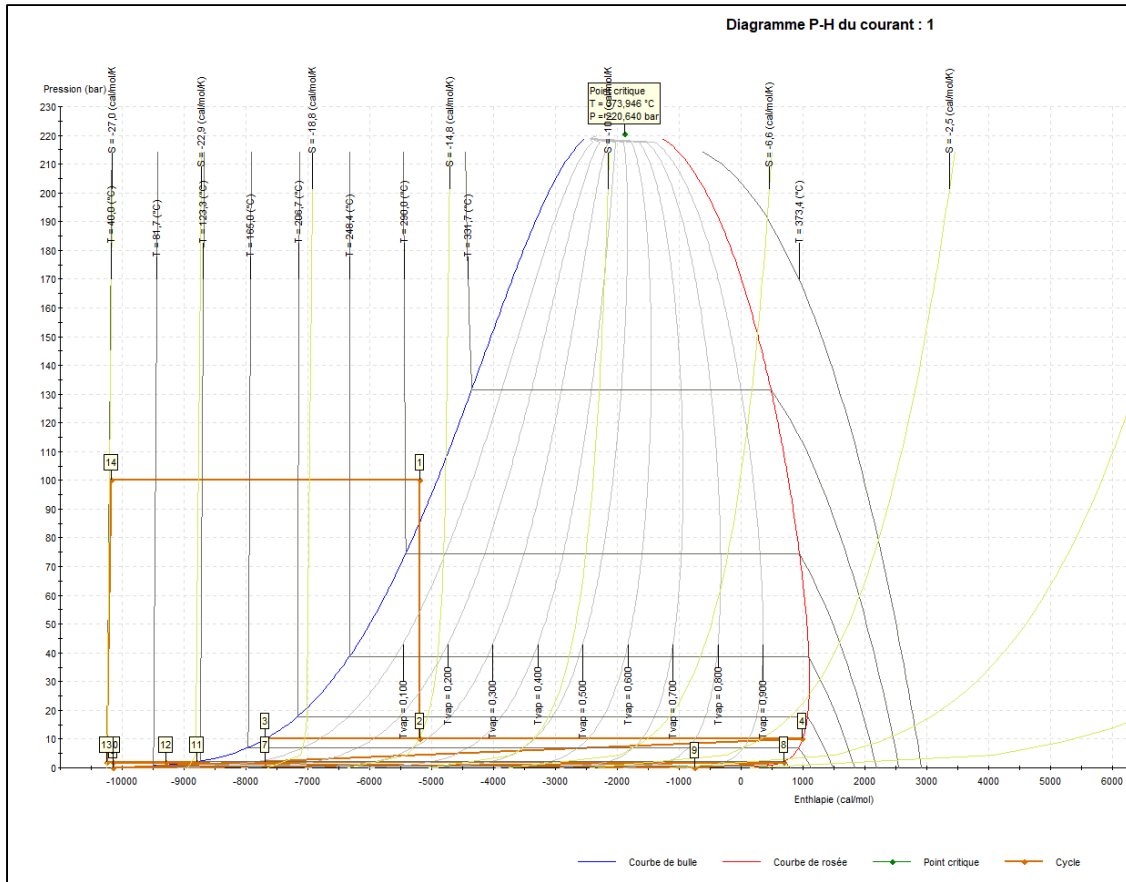


Les résultats du scriptlet sont affichés à l'écran :



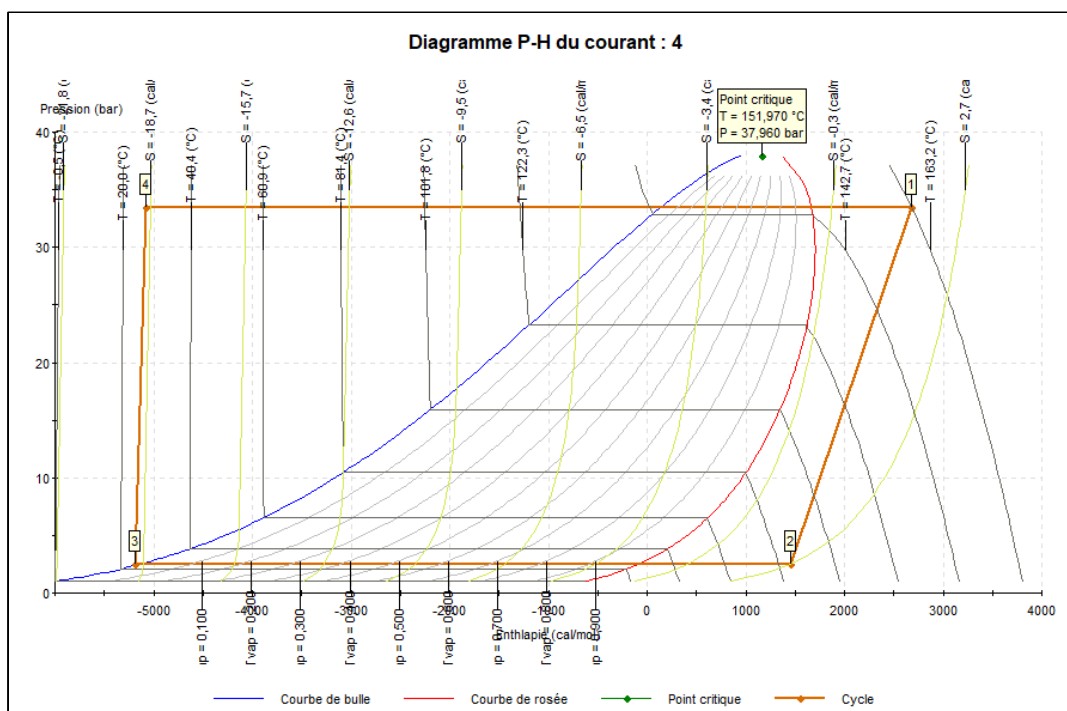
2.5.2.2 Cycle à double flash

Le diagramme Pression (P) – Enthalpie (H) du cycle à double flash est présenté ci-dessous :

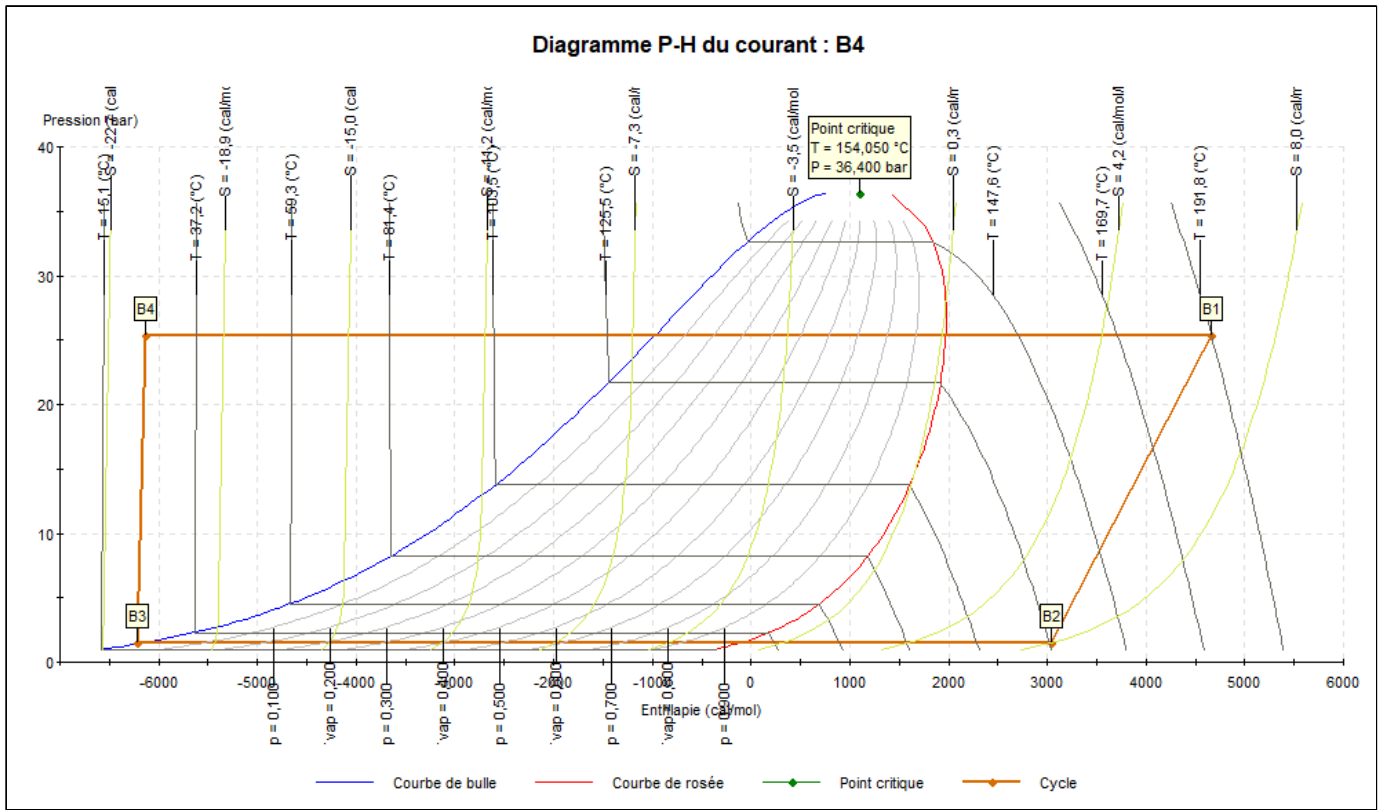


2.5.3 Cycle mixte

Le diagramme Pression (P) – Enthalpie (H) du fluide R600 du premier cycle est présenté ci-dessous :



Le diagramme Pression (P) – Enthalpie (H) du fluide organique R245fa du deuxième cycle est présenté ci-dessous :



3. BIBLIOGRAPHIE

- [VAL11] Valdimarsson P, "Geothermal Power Plant Cycles and Main Components", UNU-GTP and LaGeo, Santa Tecla, El Salvador (2011).
- [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)