

EXEMPLE D'APPLICATION DE PROSIMPLUS

CAPTURE DU CO₂ PAR UNE SOLUTION AQUEUSE D'AMINE

INTERET DE L'EXEMPLE

Cet exemple présente la simulation sous ProSimPlus d'un procédé de capture du CO₂ par absorption avec une solution aqueuse d'amine. Le gaz de combustion est d'abord refroidi dans un réfrigérant par contact direct avec de l'eau puis appauvri en CO₂ au moyen d'un absorbeur (colonne d'absorption) avec une solution aqueuse d'amine. L'amine est régénérée à travers un désorbeur (colonne à distiller) pour être réinjectée dans l'absorbeur. Le courant vapeur de tête sortant du désorbeur, composé de CO₂ et d'eau, est ensuite refroidi et amené dans un ballon afin de séparer l'eau du CO₂ qui sera stocké.

Cet exemple illustre notamment l'utilisation du module « Script » de ProSimPlus pour le calcul des débits d'appoint en amine et en eau.

DIFFUSION



Libre-Internet



Réservé aux clients ProSim



Restreinte



Confidentiel

FICHIER PROSIMPLUS CORRESPONDANT

PSPS_E19_FR – Procédé capture CO2 avec amine.pmp3

Reader is reminded that this use case is only an example and should not be used for other purposes. Although this example is based on actual case it may not be considered as typical nor are the data used always the most accurate available. ProSim shall have no responsibility or liability for damages arising out of or related to the use of the results of calculations based on this example.

TABLE DES MATIÈRES

| | |
|---|-----------|
| 1. INTRODUCTION | 3 |
| 2. MODELISATION DU PROCEDE | 3 |
| 2.1. Présentation du procédé | 3 |
| 2.2. Schéma du procédé | 4 |
| 2.3. Constituants | 5 |
| 2.4. Modèle thermodynamique | 6 |
| 2.5. Conditions opératoires | 7 |
| 2.6. Détermination des consommations d'utilités | 12 |
| 3. RESULTATS DE LA SIMULATION | 18 |
| 3.1. Commentaires sur les résultats | 18 |
| 3.2. Bilans matière et énergie | 18 |
| 3.3. Profils des colonnes | 20 |
| 4. BIBLIOGRAPHIE | 23 |

1. INTRODUCTION

Cet exemple présente un procédé de capture du CO₂ par absorption dans un solvant aminé. L'unité est placée en sortie d'un procédé de combustion de carburant fossile et permet de diminuer la quantité de CO₂ relâchée dans l'atmosphère. Dans un contexte de durcissement des normes environnementales et suite aux accords de la COP 21 visant à limiter le réchauffement climatique, ce procédé est une solution envisageable pour réduire les rejets de CO₂ (gaz à effet de serre) en sortie des unités de combustion.

Une des difficultés de la simulation de ce procédé est la gestion des recyclages et des appoints en amine et en eau. Le module « Script » présent sous ProSimPlus permet aisément de calculer les appoints et de modéliser les recyclages afin d'obtenir la convergence de la simulation.

2. MODELISATION DU PROCEDE

2.1. Présentation du procédé

Absorption du CO₂ :

Le courant à traiter est un gaz de combustion à 100 °C et pression atmosphérique contenant de l'azote, du dioxyde de carbone et de l'eau. Pour obtenir les conditions optimales d'absorption du CO₂, le gaz est refroidi à environ 40 °C à travers un Réfrigérant par Contact Direct (RCD) avec de l'eau. Puis il est mis en contact avec l'amine dans une colonne d'absorption (absorbeur) afin d'extraire le CO₂.

Régénération et recyclage de l'amine :

L'amine enrichie en CO₂ en sortie d'absorbeur est régénérée (séparée du CO₂) au sein d'une colonne à distiller (désorbeur) puis refroidie afin d'être réinjectée dans l'absorbeur. Pour compenser les pertes d'amine dans les sorties vapeurs de l'absorbeur et du désorbeur, un appoint d'amine est ajouté au courant de recyclage.

De manière analogue, un appoint d'eau est nécessaire pour boucler les bilans matières.

Récupération du CO₂

Le courant de sortie vapeur du désorbeur contient du CO₂ et la vapeur d'eau. Pour séparer ces deux composés, le courant est refroidi puis envoyé dans un ballon de séparation. La sortie vapeur du ballon est composée majoritairement de CO₂ qui sera stocké et la sortie liquide est composée d'eau qui pourra être utilisée en tant qu'appoint.

2.2. Schéma du procédé

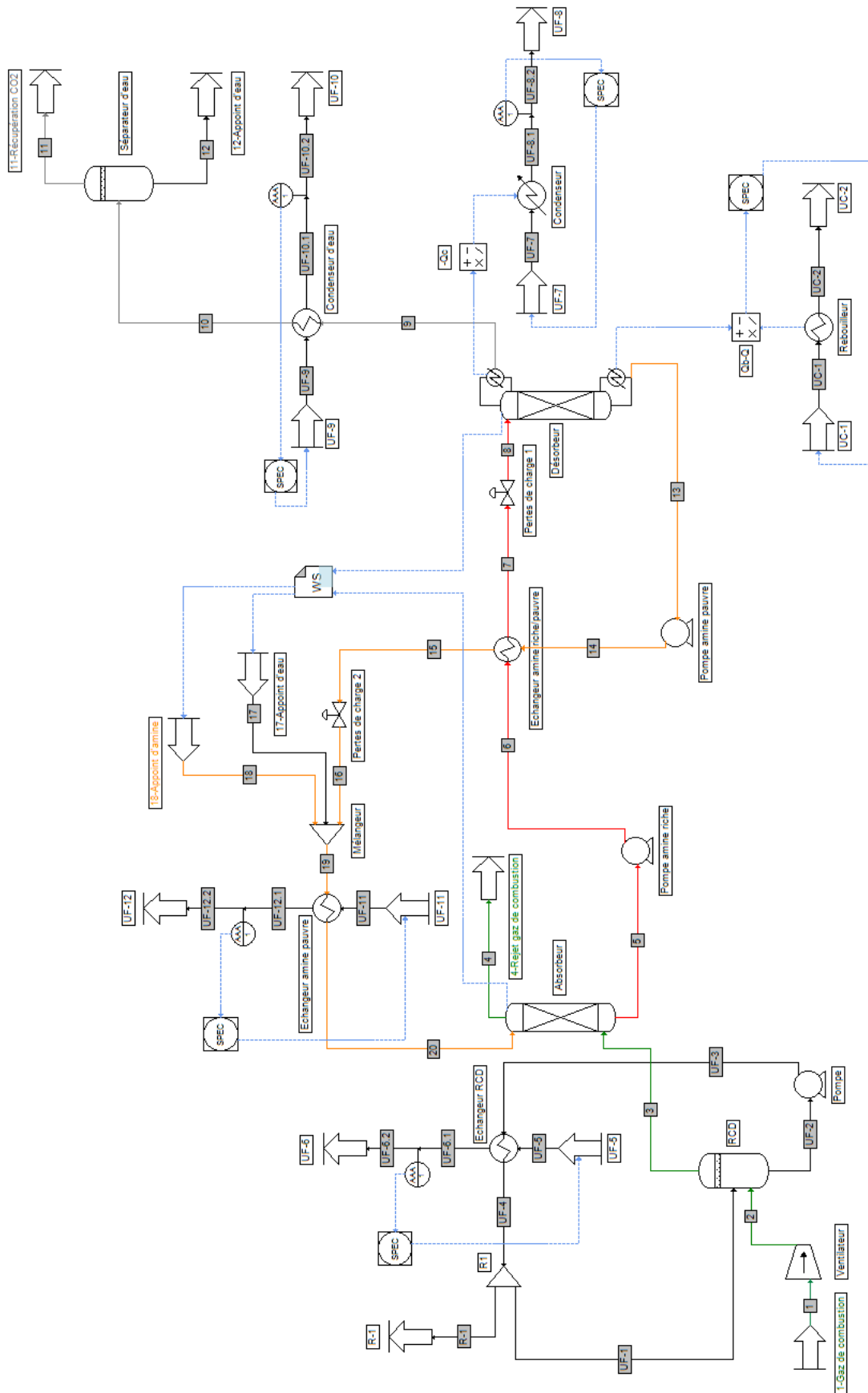


Schéma de l'unité de capture du CO₂

Pour améliorer la lisibilité du schéma du procédé, le gaz de combustion est en vert, l'amine riche en CO₂ en rouge, l'amine pauvre en CO₂ en orange, le CO₂ récupéré en gris et l'eau en noir.

2.3. Constituants

Les constituants pris en considération dans cet exemple sont listés dans le tableau ci-dessous.

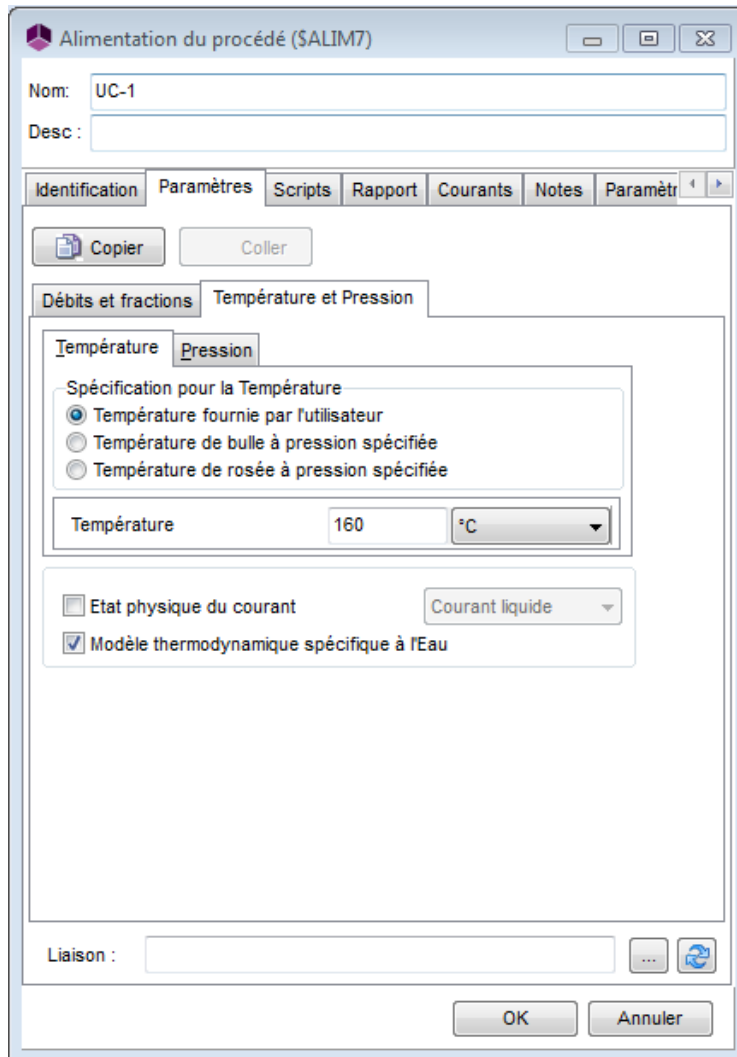
| Nom | Formule chimique | Numéro CAS |
|--------------------|----------------------------------|------------|
| Dioxyde de carbone | CO ₂ | 124-38-9 |
| Monoethanolamine | C ₂ H ₇ NO | 141-43-5 |
| Eau | H ₂ O | 7732-18-5 |
| Diazote | N ₂ | 7727-37-9 |

Dans la suite du document, la monoethanolamine sera notée MEA.

2.4. Modèle thermodynamique

Le système considéré contient une alcanolamine, du CO₂ (gaz acide) et de l'eau. La pression de travail ne dépasse jamais 100 bars. En conséquence le modèle « Amines et gaz acides » a été choisi [DES81], [WEI93].

Le modèle spécifique eau pure a été utilisé pour les calculs d'utilités chaudes et froides (UC et UF). Pour ce faire, la case « Modèle thermodynamique spécifique à l'Eau » a été cochée au niveau des alimentations d'utilités UC-1 et UF-5, 7, 9 et 11 comme indiqué ci-dessous :



2.5. Conditions opératoires

L'ensemble des conditions opératoires nécessaires à la définition du procédé est résumé dans cette partie, les données en vert sont des valeurs initiales :

- ✓ Gaz de combustion

| | <i>Gaz de combustion</i> |
|---|---------------------------------|
| Fraction massique CO₂ | 0,059 |
| Fraction massique H₂O | 0,043 |
| Fraction massique N₂ | 0,898 |
| Débit massique total (t/h) | 3073 |
| Température (°C) | 100 |
| Pression (kPa) | 101 |

- ✓ Appoint d'eau

| | <i>Appoint d'eau</i> |
|---|-----------------------------|
| Fraction massique H₂O | 1 |
| Débit massique total (t/h) | 100 |
| Température (°C) | 15 |
| Pression (kPa) | 301 |

- ✓ Appoint d'amine

| | <i>Appoint d'amine</i> |
|-----------------------------------|-------------------------------|
| Fraction massique MEA | 1 |
| Débit massique total (t/h) | 1 |
| Température (°C) | 15 |
| Pression (kPa) | 301 |

- ✓ Utilités froides (UF) et utilités chaudes (UC)

| | Echangeur RCD UF-5 | Condenseur désorbeur UF-7 | Condenseur d'eau UF-9 | Echangeur amine pauvre UF-11 | Rebouilleur désorbeur UC-1 |
|---|-------------------------------|--------------------------------------|----------------------------------|---|---------------------------------------|
| Fraction massique H₂O | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| Débit massique total (t/h) | 10 000 | 1 000 | 1 500 | 3 000 | 1 000 |
| Pression (kPa) | 101 | 101 | 101 | 101 | 500 |
| Température (°C) | 15 | 15 | 15 | 15 | 160 |

- ✓ Colonnes

| Paramètres de fonctionnement | Absorbeur | Désorbeur |
|--|------------------|--|
| Type de colonne | Absorbeur | Colonne à distiller diphasique avec condenseur partiel |
| Nombre d'étages théoriques | 5 | 12 |
| Étage d'alimentation | - | 2 |
| Débit de distillat vapeur (t/h) | - | 189,2 |
| Taux molaire de reflux | - | 0,4 |
| Quantité de chaleur à fournir au rebouilleur (kcal/h) | - | Calculée |
| Pression en tête de colonne (kPa) | 106 | 200 |
| Pression en pied de colonne (kPa) | 121 | 200 |
| Efficacité des plateaux | 0,48 | 0,5* |

* : sauf pour le condenseur qui a une efficacité de 1

Spécifications complémentaires pour le désorbeur :

| Spécification | Type de produit | Constituant | Valeur | Type | Action |
|----------------------|------------------------|--------------------|---------------|-------------|---------------------------|
| 1: Débit partiel | Distillat vapeur | CO ₂ | 154,47 t/h | Massique | Débit de distillat vapeur |

Pour assurer la convergence du désorbeur, le facteur de relaxation maximum (situé au niveau des paramètres numériques dans l'onglet « Spécifications complémentaires ») a été fixé à 0.5, les autres paramètres numériques sont ceux par défaut.

✓ Séparateurs

| Paramètres de fonctionnement | Réfrigérant à Contact Direct RCD | Séparateur d'eau |
|--|---|--------------------------------------|
| Type de séparateur | Séparateur diphasique liquide-vapeur | Séparateur diphasique liquide-vapeur |
| Pression (kPa) | 121 | La plus faible des alimentations |
| Pertes de charge (kPa) | 0 | 0 |
| Quantité de chaleur échangée (kcal/h) | Adiabatique | Adiabatique |

✓ Échangeurs de chaleur généralisés

| Nom | Type | Type de spécification | Valeur spécification | Pertes de charge (kPa) | |
|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------------|-----------------------------|-------------------------------|-------------------------------|
| | | | | 1^{er} courant | 2nd courant |
| Echangeur RCD | Contre-courant ou multi-passes | Température de sortie courant chaud | 30°C | 179 | 0 |
| Echangeur amine riche / pauvre | Contre-courant ou multi-passes | Ecart de température interne minimum | 10°C | 300 | 100 |
| Echangeur amine pauvre | Contre-courant ou multi-passes | Température de sortie courant chaud | 40°C | 49 | 0 |
| Condenseur d'eau | Contre-courant ou multi-passes | Température de sortie courant chaud | 60°C | 0 | 0 |

✓ Autres échangeurs

| Nom | Type | Température de sortie (°C) | Perte de charge (kPa) |
|-------------|-----------------------------|-----------------------------------|------------------------------|
| Rebouilleur | Consignateur de température | Température de bulle | 0 |
| Condenseur | Echangeur simple | 25 | 0 |

✓ Compresseurs

| Paramètres de fonctionnement | Ventilateur |
|--------------------------------------|--------------------|
| Pression de refoulement (kPa) | 121 |
| Efficacité isentropique | 0,8 |
| Efficacité mécanique | 1 |
| Efficacité électrique | 1 |

✓ Pompes

| Paramètres de fonctionnement | Pompe | Pompe amine riche | Pompe amine pauvre |
|--------------------------------------|--------------|--------------------------|---------------------------|
| Pression de refoulement (kPa) | 301 | 750 | 700 |
| Efficacité volumétrique | 0,75 | 0,75 | 0,75 |
| Efficacité mécanique | 1 | 1 | 1 |
| Efficacité électrique | 1 | 1 | 1 |

✓ Mélangeurs

| Paramètre de fonctionnement | Mélangeur |
|------------------------------------|------------------|
| Pression de sortie (kPa) | 150 |

✓ Pertes de charge (vannes de détente)

| Paramètre de fonctionnement | Pertes de charge 1 | Pertes de charge 2 |
|------------------------------------|---------------------------|---------------------------|
| Pertes de charge (kPa) | 200 | 299 |

✓ Diviseurs de courants

| Paramètres de fonctionnement | Diviseur de courants R1 |
|--|------------------------------------|
| Débit massique courant UF-1 (t/h) | 6500 |
| Pression de sortie (kPa) | Egale à la pression d'entrée |

✓ Module Script : Détermination des appoints

Pour déterminer les débits d'appoint, un module « Script » a été utilisé. Ces débits sont déterminés par les formules suivantes découlant d'un simple bilan matière :

$$\text{Appoint d'amine} = \text{Sortie amine absorbeur} + \text{Sortie amine condenseur}$$

$$\text{Appoint d'eau} = \text{Sortie eau absorbeur} + \text{Sortie eau condenseur} - \text{Entrée eau absorbeur}$$

Le code écrit en langage VBS au niveau du module « Script » permettant d'effectuer ce calcul est le suivant :

```
'-----'
' OUTIL DE RECHERCHE DES CONSTITUANTS
'-----'

With CreateObject("Scripting.FileSystemObject")
  ExecuteGlobal .OpenTextFile(Project.ApplicationPath & "Scripts\FindCompound.vbs", 1).ReadAll()
End With

'-----'
' CALCULS DES APPOINTS D'AMINE ET D'EAU
'-----'

Function OnCalculation()

  ' Recherche des constituants

  iWater = FindCompound("7732-18-5")
  iAmine = FindCompound("141-43-5")

  ' Récupération des débits partiels

  Absorber_Output = "4"
  Desorber_Output = "9"
  Absorber_Input = "3"

  ' Eau
  Water_AbsorberInput = Project.Streams(Absorber_Input).PartialMassFlowrate(iWater)
  Water_AbsorberOutput = Project.Streams(Absorber_Output).PartialMassFlowrate(iWater)
  Water_DesorberOutput = Project.Streams(Desorber_Output).PartialMassFlowrate(iWater)

  ' Amine
  Amine_AbsorberOutput = Project.Streams(Absorber_Output).PartialMassFlowrate(iAmine)
  Amine_DesorberOutput = Project.Streams(Desorber_Output).PartialMassFlowrate(iAmine)

  ' Calculs des débits d'appoint

  With Module
    ' Eau
    .Parameter(1) = (Water_AbsorberOutput + Water_DesorberOutput) - Water_AbsorberInput
    if .Parameter(1) < 0 Then
      .Parameter(1) = 0
      MsgBox "Débit d'appoint d'eau calculé négatif"
    end if
    ' Amine
    .Parameter(2) = Amine_AbsorberOutput + Amine_DesorberOutput
  End With

  ' Validation du calcul
  Oncalculation = True

End Function
```

Une partie des données nécessaires à l'élaboration de cet exemple provient du travail de KALLEVIK [KAL10].

Les spécifications pour calculer les débits d'utilités sont données dans la partie **2.6 Détermination des consommations d'utilités**.

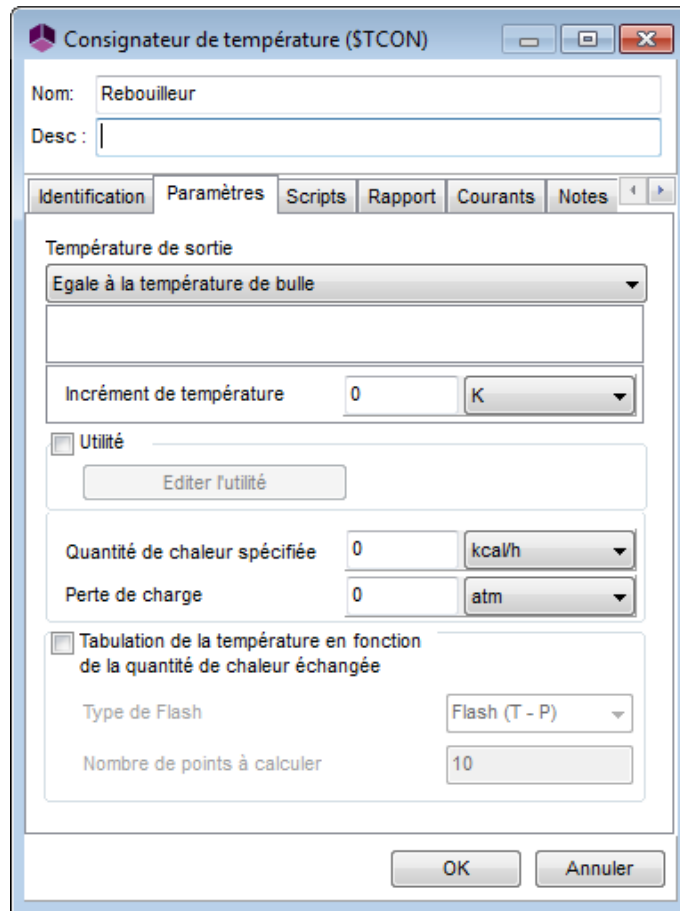
2.6. Détermination des consommations d'utilités

Les caractéristiques physiques d'alimentation des utilités employées sont regroupées dans le tableau de la partie 2.5 Conditions opératoires.

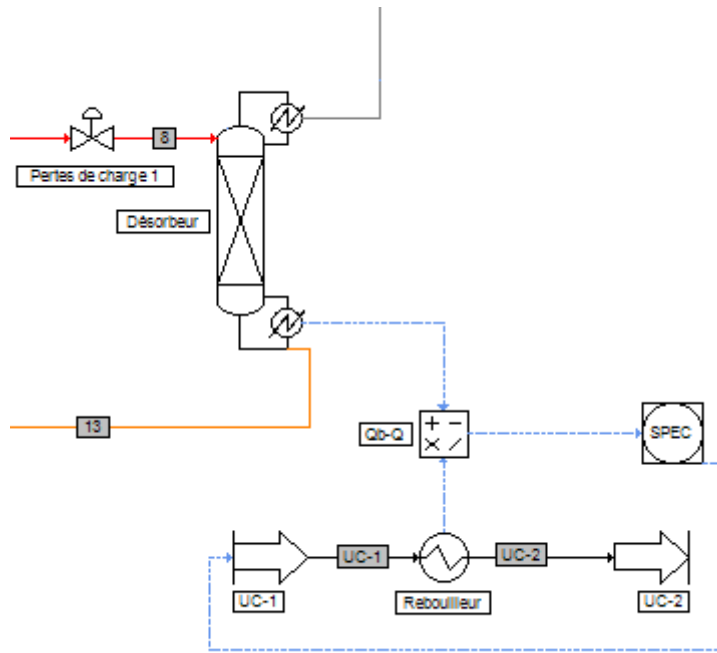
Utilité chaude

Le rebouilleur du désorbeur a été simulé à l'aide d'un consignateur de température. On utilise de la vapeur d'eau surchauffée à 160°C et 500 kPa. En sortie de rebouilleur, on impose que le courant soit à température de bulle.

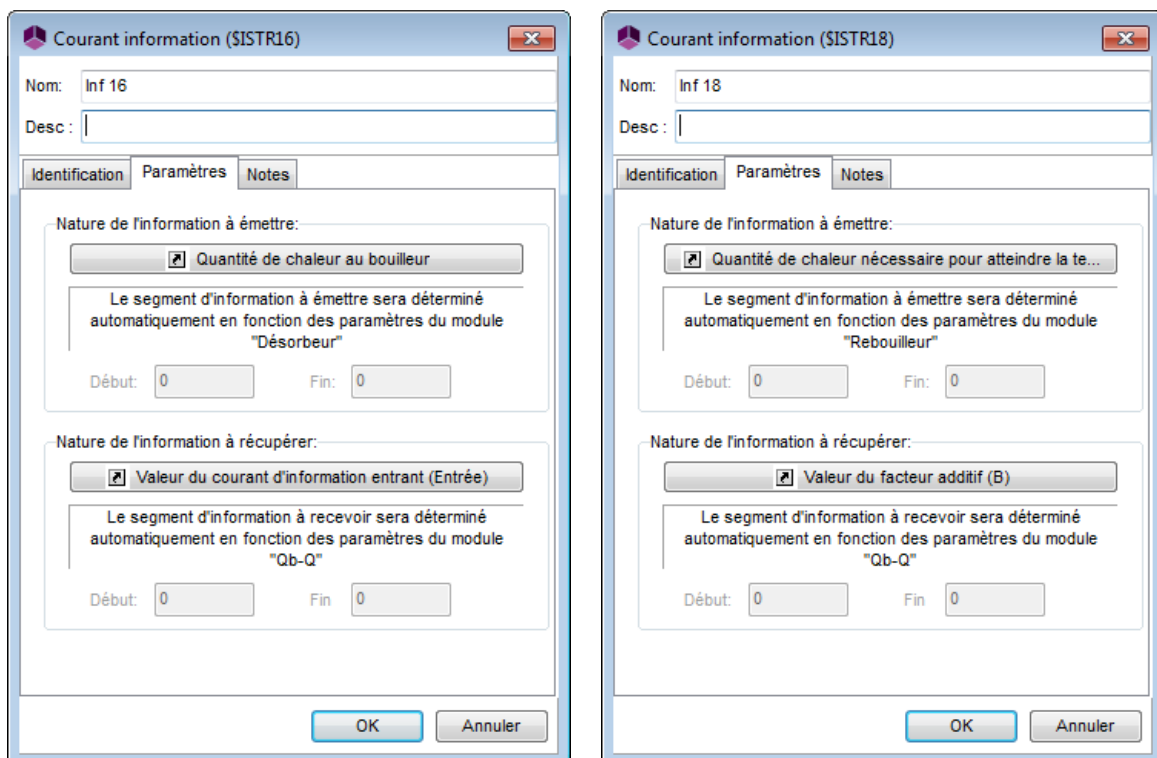
La figure suivante illustre la configuration saisie au niveau du rebouilleur :



Pour déterminer le débit d'utilité chaude nécessaire, on utilise un module SPEC comme illustré ci-après :

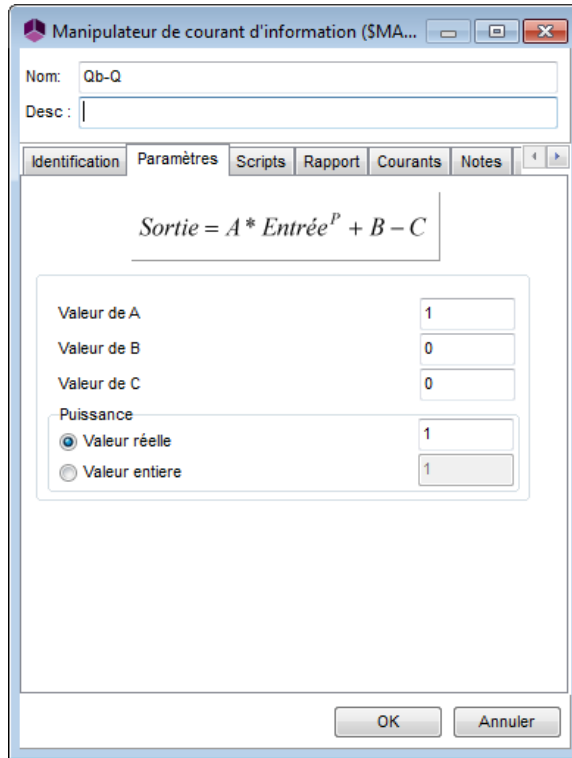


La démarche est la suivante : on récupère la valeur de la quantité de chaleur au rebouilleur du module désorbeur et du module consignateur de température associé à l'aide de courants d'information dont la configuration est présentée ci-après :

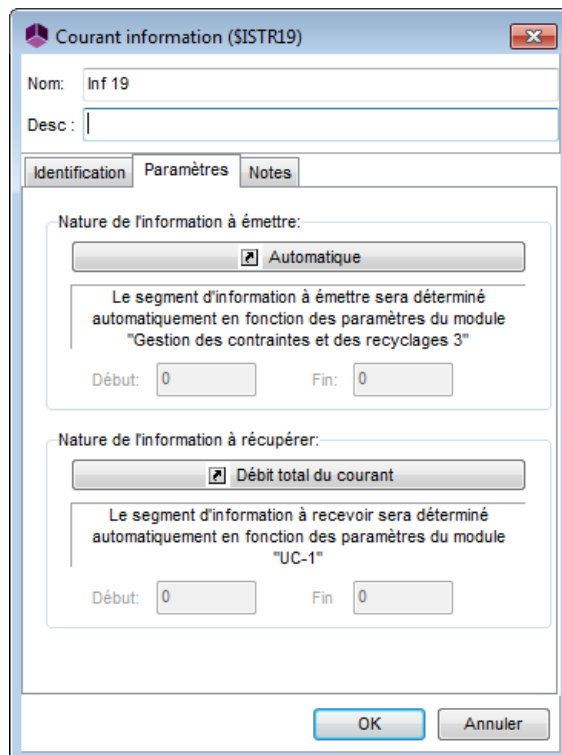


Ceux-ci sont reliés à un module manipulateur de courant d'information qui calcule l'écart entre la quantité de chaleur au rebouilleur de la colonne (Entrée) et la quantité de chaleur calculée au niveau du module consignateur de température associé (B).

La quantité de chaleur au rebouilleur est positive et la quantité de chaleur du consignateur de température associé est négative. Ainsi il faut configurer le manipulateur de courant d'information comme suit :



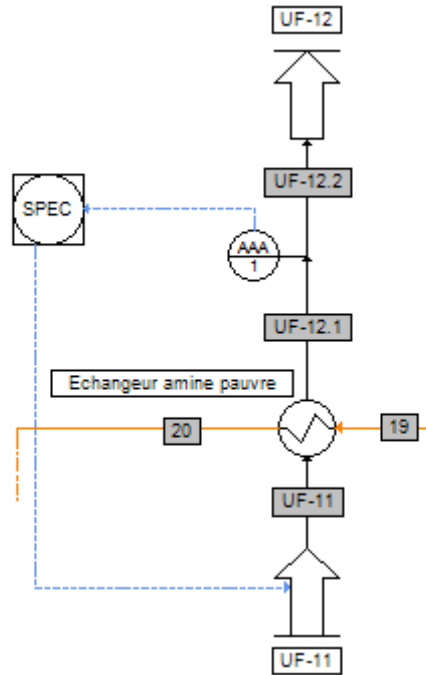
L'écart entre la quantité de chaleur au rebouilleur du désorbeur et celle calculée au niveau du module consignateur de température associé est envoyé au niveau d'un module SPEC. Ce module SPEC est relié au module d'alimentation de l'utilité chaude par un courant d'information configuré ainsi :



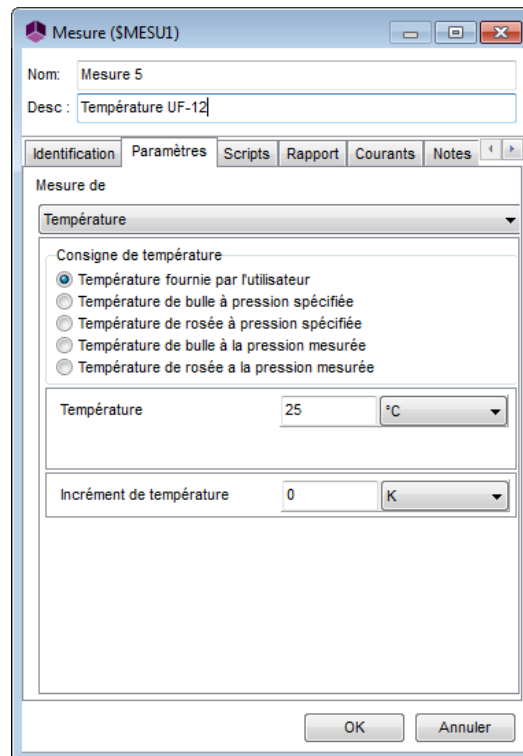
Ainsi le module SPEC va ajuster le débit d'utilité pour que l'écart des quantités de chaleur s'annule. Le module consigneur de température représentera alors le rebouilleur et le débit d'utilité calculé correspondra au débit d'utilité circulant dans le rebouilleur.

Utilités froides :

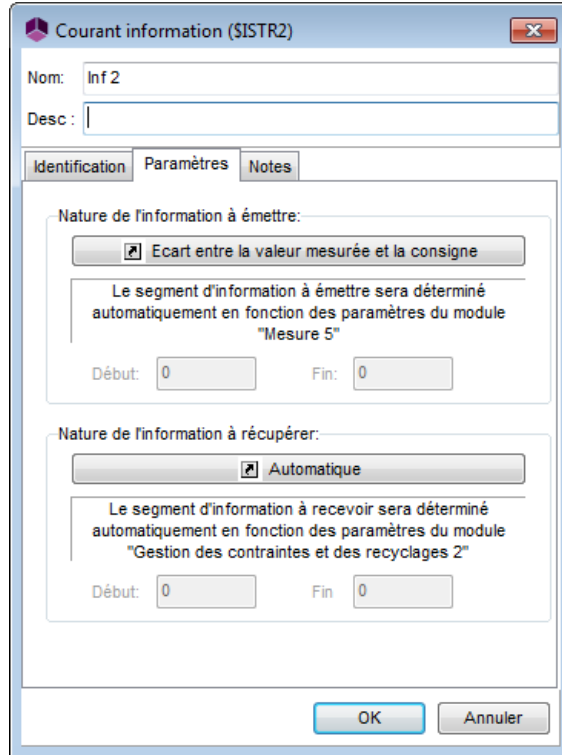
L'utilité froide employée dans le procédé est de l'eau à 15°C et 101 kPa. On impose que l'utilité froide ait une température de 25°C en sortie d'échangeur. Pour ce faire, on utilise là aussi un module SPEC comme illustré ci-dessous dans le cas de l'échangeur amine pauvre :



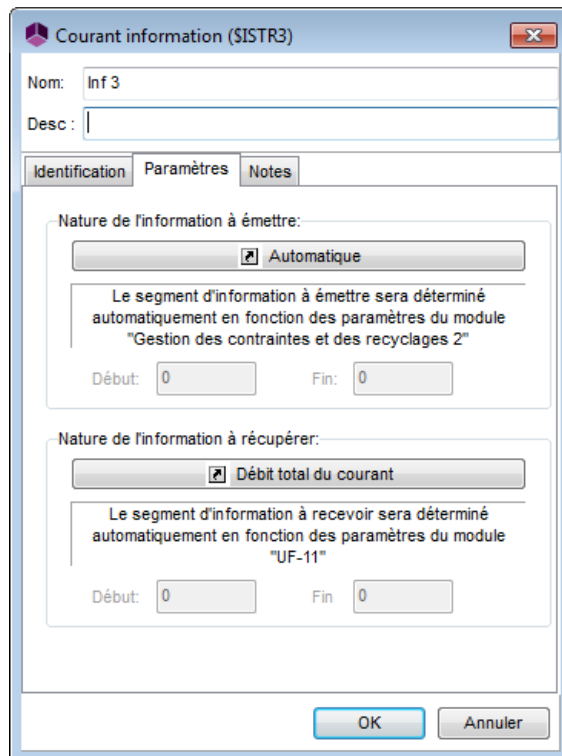
Le module Mesure contient la valeur de consigne de la température de l'utilité en sortie et est configuré ainsi :



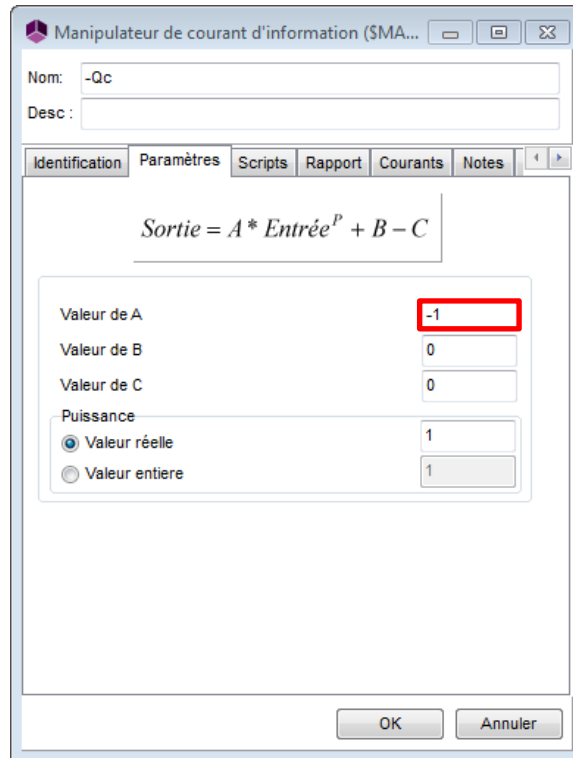
Le courant d'information sortant du module mesure et entrant dans le module SPEC véhicule l'écart entre la température du courant de sortie d'utilité froide et la valeur de consigne de température. La configuration de ce courant d'information est alors la suivante :



Afin d'ajuster le débit d'utilité froide pour atteindre cette température de consigne en sortie d'échangeur, le module SPEC est lui-même relié au module d'alimentation de l'utilité froide à l'aide d'un courant d'information ayant la configuration suivante :

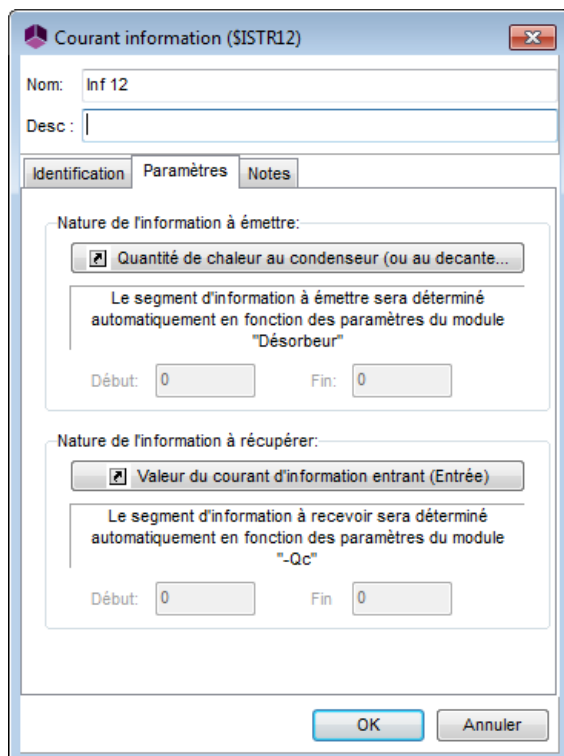


Remarque : le condenseur a été simulé à l'aide d'un échangeur simple. Pour que cet échangeur simple soit représentatif du condenseur, il faut récupérer la valeur de la quantité de chaleur au condenseur calculée dans le module « Désorbeur » et envoyer cette information au niveau de l'échangeur simple. L'échangeur simple attend une quantité de chaleur négative dans le cas d'un réchauffement alors que la quantité de chaleur recueillie au condenseur est positive. Pour pallier à cela, on utilise un manipulateur de courant d'information configuré de la façon suivante :

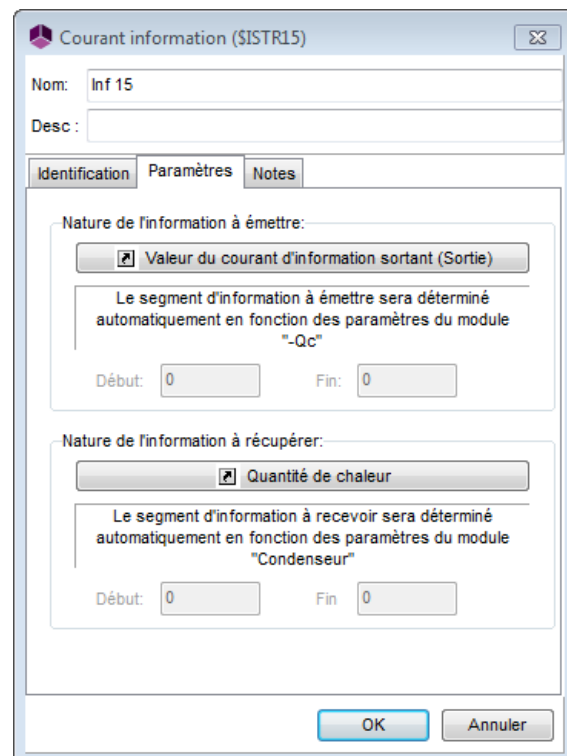


Les courants d'information entrant et sortant du manipulateur d'information sont configurés ainsi :

Courant entrant :



Courant sortant :



3. RESULTATS DE LA SIMULATION

3.1. Commentaires sur les résultats

La séquence de calcul (l'ordre de calcul des modules) est générée automatiquement. Les courants coupés « UF-1 », « 14 » et « 20 » sont initialisés avec les caractéristiques suivantes :

| | « UF-1 » | « 14 » | « 20 » |
|------------------------------------|----------|--------|--------|
| Fraction massique CO ₂ | 0 | 0,055 | 0,055 |
| Fraction massique MEA | 0 | 0,3 | 0,29 |
| Fraction massique H ₂ O | 1 | 0,645 | 0,655 |
| Fraction massique N ₂ | 0 | 0 | 0 |
| Débit massique total (t/h) | 6500 | 3500 | 3600 |
| Température (°C) | 25 | 115 | 40 |
| Pression (kPa) | 101,325 | 700 | 101 |

3.2. Bilans matière et énergie

Ce document ne présente que les bilans matière et énergie sur les courants entrées/sorties du procédé. ProSimPlus fournit cependant des résultats complets sur tous les courants et sur chaque opération unitaire.

Courants entrées/sorties (hors utilités) :

| Courants | | 1 | 4 | 11 | 12 | 17 | 18 | R-1 |
|-------------------------|-----|---------------------|---------------------------|---------------------------------|------------------|------------------|--------------------|---------|
| De | | 1-Gaz de combustion | Absorbeur | Séparateur d'eau | Séparateur d'eau | 17-Appoint d'eau | 18-Appoint d'amine | R1 |
| Vers | | Ventilateur | 4-Rejet gaz de combustion | 11-Récupération CO ₂ | 12-Appoint d'eau | Mélangeur | Mélangeur | R-1 |
| Débits partiels | | t/h | t/h | t/h | t/h | t/h | t/h | t/h |
| CARBON DIOXIDE | | 181.3 | 26.8 | 154.4 | 0.0 | 0 | 0 | 0 |
| MONOETHANOLAMINE | | 0 | 1.0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 |
| WATER | | 132.1 | 204.7 | 7.2 | 21.6 | 110.6 | 0 | 9 |
| NITROGEN | | 2759.6 | 2759.5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Débit total | t/h | 3073.0 | 2992.0 | 161.6 | 21.6 | 110.6 | 1.0 | 9.3 |
| Fractions massiques | | | | | | | 0 | 0 |
| CARBON DIOXIDE | | 0.059 | 0.009 | 0.956 | 0.001 | 0 | 0 | 0 |
| MONOETHANOLAMINE | | 0 | 3E-04 | 0 | 1E-04 | 0 | 1 | 0 |
| WATER | | 0.043 | 0.068 | 0.044 | 0.999 | 1 | 0 | 1 |
| NITROGEN | | 0.898 | 0.922 | 2E-04 | 6E-09 | 0 | 0 | 0 |
| Etat physique | | Vapeur | Vapeur | Vapeur | Liquide | Liquide | Liquide | Liquide |
| Température | °C | 100 | 46 | 60 | 60 | 15 | 15 | 30 |
| Pression | kPa | 101 | 106 | 200 | 200 | 301 | 301 | 122 |
| Flux enthalpique | MW | -874.9 | -812.0 | -408.9 | -95.0 | -492.0 | -1.1 | -41.3 |
| Fraction molaire vapeur | | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |

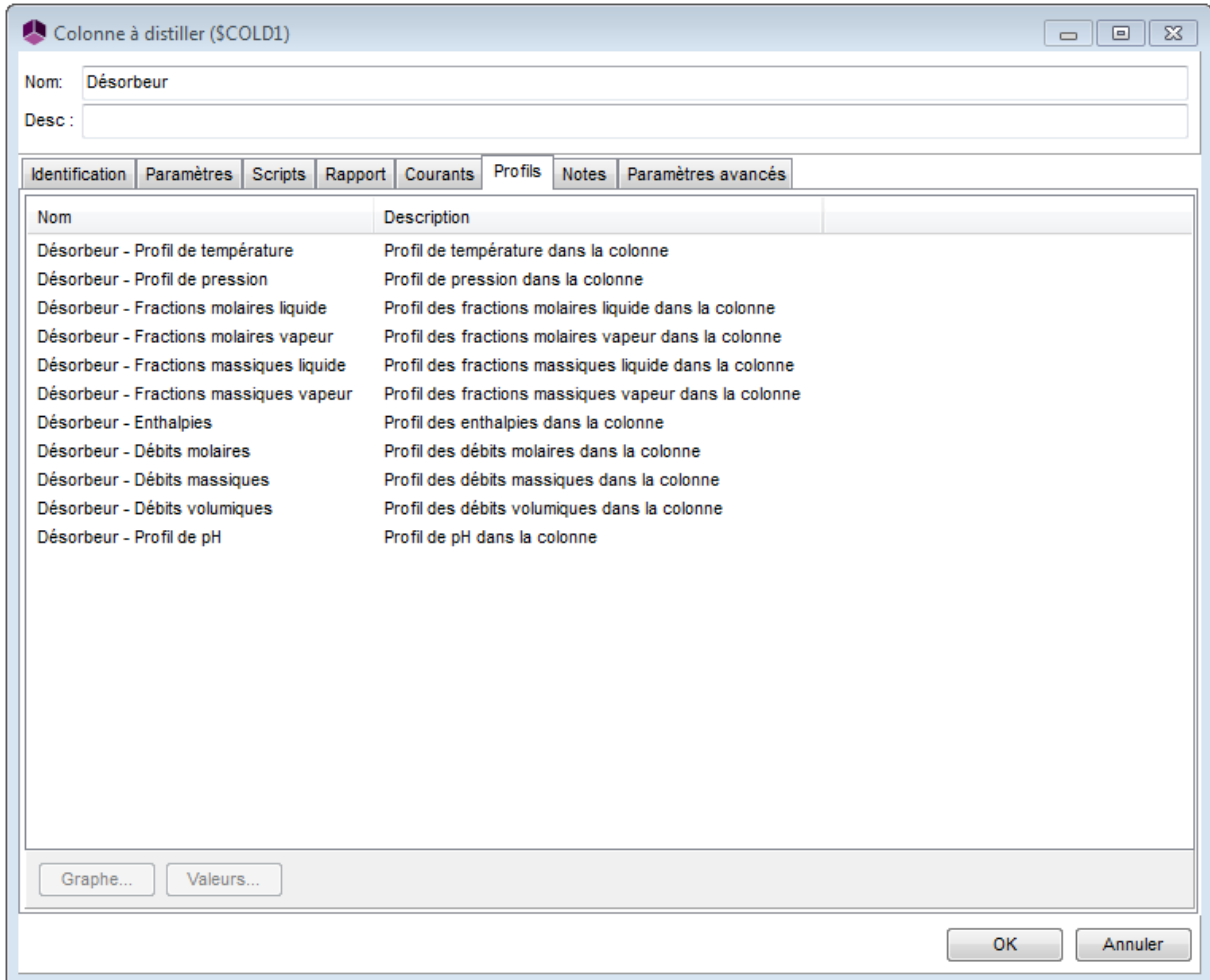
Courants entrées/sorties (utilités) :

| Courants | | UF-5 | UF-6.2 | UF-7 | UF-8.2 | UF-9 | UF-10.1 |
|-------------------------|-----|---------------|----------|------------|----------|------------------|------------------|
| De | | UF-5 | Mesure 2 | UF-7 | Mesure 7 | UF-9 | Condenseur d'eau |
| Vers | | Echangeur RCD | UF-6 | Condenseur | UF-8 | Condenseur d'eau | Mesure 8 |
| Débits partiels | | t/h | t/h | t/h | t/h | t/h | t/h |
| WATER | | 7 207.8 | 7 207.8 | 2 158.0 | 2 158.0 | 1 384.5 | 1 384.5 |
| Débit total | t/h | 7207.8 | 7207.8 | 2158.0 | 2158.0 | 1384.5 | 1384.5 |
| Fractions massiques | | | | | | | |
| WATER | | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| Etat physique | | Liquide | Liquide | Liquide | Liquide | Liquide | Liquide |
| Température | °C | 15.0 | 25.0 | 15.0 | 25.0 | 15.0 | 25.0 |
| Pression | kPa | 101 | 101 | 101 | 101 | 101 | 101 |
| Flux enthalpique | MW | -4 974 | -4 891 | -1 489 | -1 464 | -955 | -939 |
| Fraction molaire vapeur | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

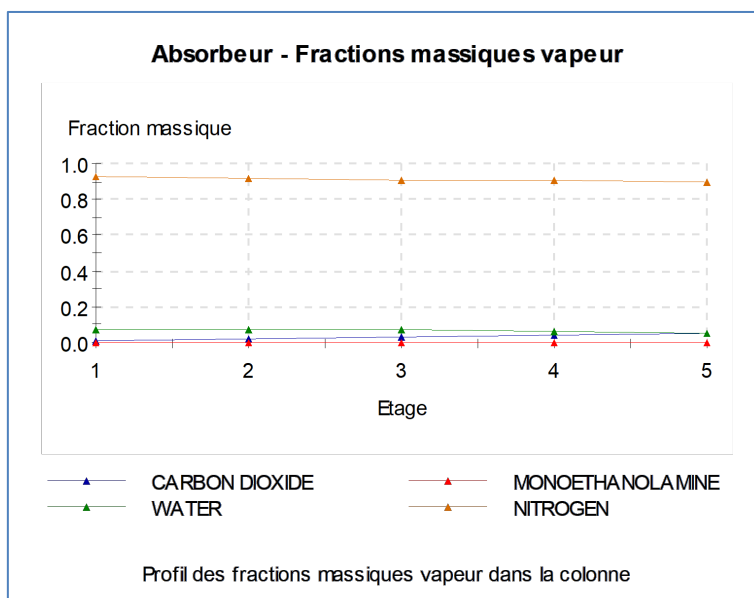
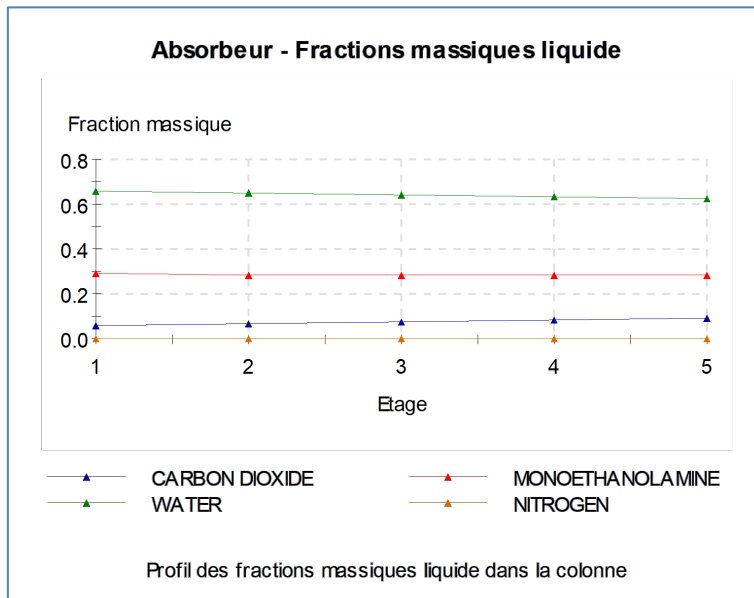
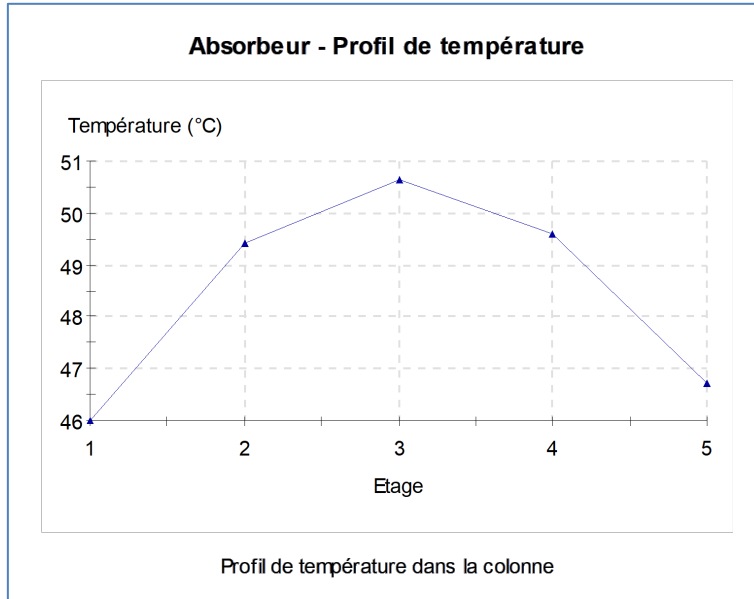
| Courants | | UF-11 | UF-12.2 | UC-1 | UC-2 |
|-------------------------|-----|------------------------|----------|-------------|-------------|
| De | | UF-11 | Mesure 5 | UC-1 | Rebouilleur |
| Vers | | Echangeur amine pauvre | UF-12 | Rebouilleur | UC-2 |
| Débits partiels | | t/h | t/h | t/h | t/h |
| WATER | | 4 781.4 | 4 781.4 | 283.0 | 283.0 |
| Débit total | t/h | 4781.4 | 4781.4 | 283.0 | 283.0 |
| Fractions massiques | | | | | |
| WATER | | 1 | 1 | 1 | 1 |
| Etat physique | | Liquide | Liquide | Vapeur | Liquide |
| Température | °C | 15.0 | 25.0 | 160.0 | 151.9 |
| Pression | kPa | 101 | 101 | 500 | 500 |
| Flux enthalpique | MW | -3 300 | -3 244 | 17 | -150 |
| Fraction molaire vapeur | | 0 | 0 | 1 | 0 |

3.3. Profils des colonnes

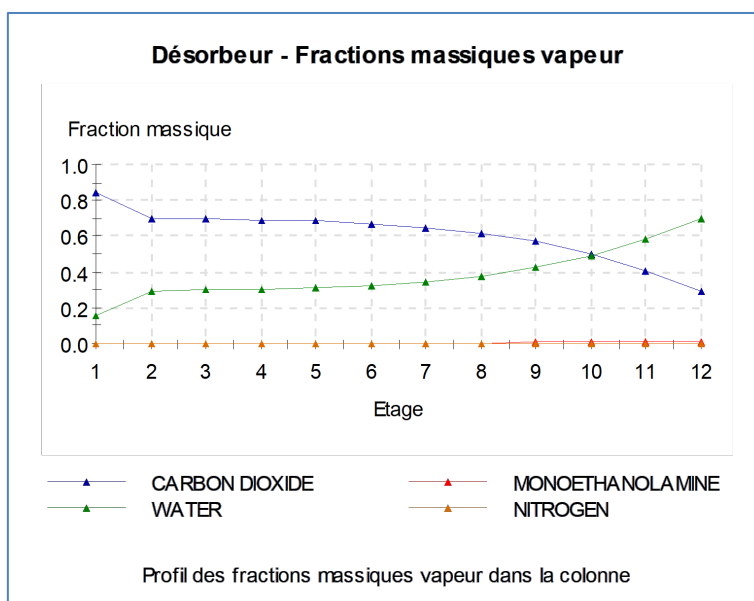
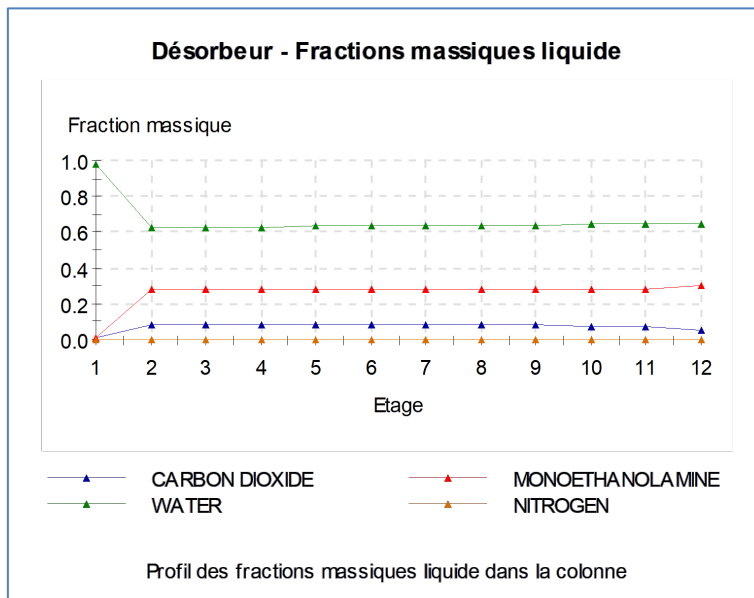
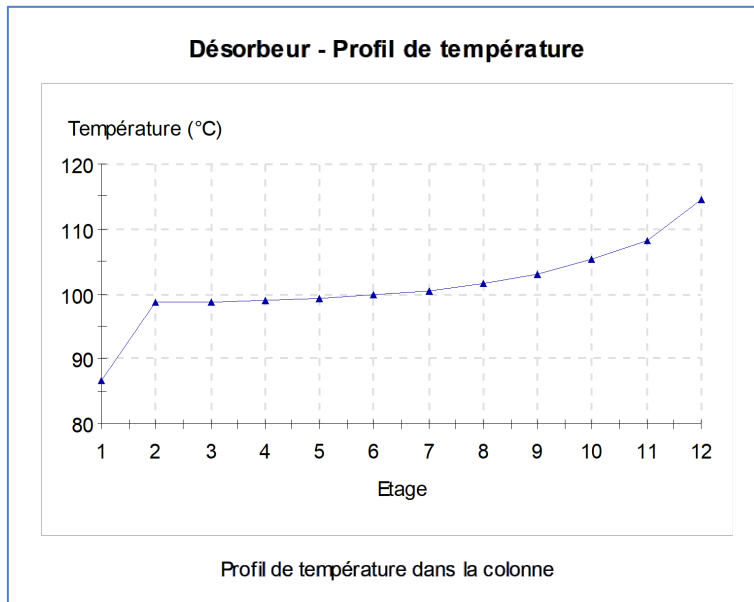
Les profils de colonne sont obtenus après la simulation dans la fenêtre de configuration de la colonne, sous l'onglet « Profils ». Un double-clic sur le profil souhaité génère le graphique. Il est à noter que, sous ProSimPlus, les étages des colonnes sont numérotés de haut en bas (le premier plateau correspond au condenseur, le dernier au rebouilleur dans le cas des colonnes à distiller).



Absorbeur



Desorbeur



4. BIBLIOGRAPHIE

- [DES81] R.D. DESHMUKH, A.E. MATHER
"A Mathematical Model for Equilibrium Solubility of Hydrogen Sulfide and Carbon Dioxide in Aqueous Alkanolamine Solutions"
Chem. Eng. Sci, 36, pp 355-362 (1981)
- [KAL10] O. B. KALLEVIK
"Cost estimation of CO₂ removal in HYSYS"
Master's Thesis (2010)
- [WEI93] WEILAND Ralph H., Tanmoy CHAKRAVARTY and Alan E. MATHER
"Solubility of Carbon Dioxide and Hydrogen Sulfide in Aqueous Alkanolamines"
Ind. Eng. Chem. Res., 32, pp 1419-1430 (1993)