

**Université:** Echahid Hamma Lakhdar - EL Oued

**Faculté :** Sciences et de la Technologie

**Année universitaire** 2020/2021



**Département :** Génie des procédés

**Troisième année** Licence

**Spécialité:** Génie des procédés

**Module:** Simulateurs de procédés

## **Cours Simulateurs de procédés**

# CHAPITRE I

## Généralités:

### 1. Qu'est-ce qu'un procédé industriel :

Un procédé industriel est un assemblage de plusieurs opérations unitaires (colonnes de distillation, pompes, compresseurs, séparateurs, échangeurs, ...) destiné à produire des objets ou à synthétiser des produits chimiques, en grande quantité et dans des conditions techniquement et économiquement acceptables.

### 2. Conception et simulation d'un procédé :

La conception d'un procédé industriel est une opération complexe qui demande des moyens financiers et humains très importants. Dans le contexte actuel, un procédé industriel doit répondre à trois critères :

- l'économie,
- la sécurité,
- l'environnement.

Ainsi, lorsqu'un nouveau procédé est développé, le rôle de l'ingénieur de procédé consiste à trouver le système le plus adapté non seulement en terme d'efficacité et de sécurité, mais aussi de coût et de rentabilité pour fabriquer le produit. A ce titre, la simulation peut être d'une aide très précieuse pour concevoir rapidement et économiquement de nouveaux procédés plus rentables, mais également pour analyser et optimiser le fonctionnement des installations existantes. Ce domaine d'activité est désigné par le terme « d'ingénierie des procédés assistée par ordinateur ».

#### 2.1. Modèle et simulation

Lorsque le système réel que l'on souhaite observer devient trop complexe et que de nombreuses variables sont en jeu, la modélisation intervient pour prendre en charge et traiter les problèmes : un modèle est élaboré pour essayer de rendre compte de la complexité du système tout en essayant de réduire le nombre de paramètres.

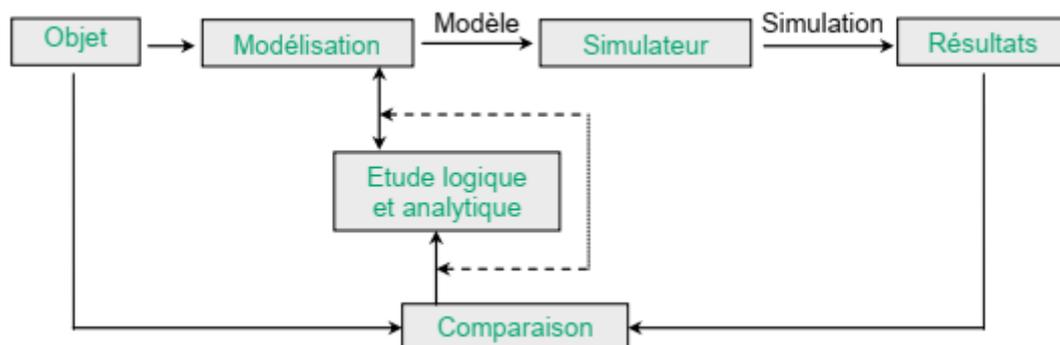


FIGURE 1 : Schéma nécessaire pour la modélisation et la simulation d'un processus

L'analyse du système, la modélisation et la simulation constituent les trois étapes fondamentales de l'étude du comportement dynamique des systèmes complexes (procédé) :

- ❖ **L'analyse du système** consiste à définir les limites du système à modéliser, à identifier les éléments importants ainsi que les types de liaison et d'interaction entre ces éléments et à les hiérarchiser.
- ❖ **La modélisation** vise à représenter de la meilleure façon possible un objet réel par un ou des modèles sous forme mathématique. D'une manière générale, lors de l'élaboration du modèle, trois types de données sont nécessaires :
  - les paramètres chimiques (réactions, produits formés, cinétiques et mécanismes),
  - les paramètres de transfert (matière, énergie, quantité de mouvement),
  - l'hydrodynamique caractérisant les équipements,
- ❖ La simulation étudie le comportement d'un système. Elle permet, en particulier, d'étudier l'évolution du système en faisant varier un ou plusieurs facteurs et en confrontant les valeurs calculées aux valeurs observées.

### 3. Simulateurs

Un simulateur est l'outil de mise en œuvre de la simulation du système. Il présente donc sous des conditions contrôlables et observables l'évolution du modèle du procédé. Les simulateurs permettent d'établir aisément et avec rigueur les bilans matière et énergie sur les procédés.

#### 3.1. Objectifs des simulateurs

Les objectifs majeurs des simulateurs de procédés sont les suivants :

- résoudre les équations de bilans matière et énergie pour l'ensemble des appareils du procédé,
- calculer les caractéristiques (débit, composition, température, pression, propriétés physiques) pour tous les fluides qui circulent entre les appareils ;
- fournir les éléments nécessaires au dimensionnement des équipements, tels que les quantités de chaleur échangées ou les débits internes d'une colonne.

À ces objectifs, s'ajoutent :

- l'estimation des coûts d'investissement et de fonctionnement et, dans un contexte de développement durable, de l'impact sur l'environnement et la sécurité,
- l'optimisation des conditions de fonctionnement du procédé.

On comprend alors aisément pourquoi ils constituent les outils de base pour la conception des procédés assistée par ordinateur. Les autres applications des simulateurs concernent l'analyse du fonctionnement d'une unité existante ou l'étude des modifications à apporter pour adapter l'unité à un nouveau contexte industriel : Adaptation à la demande du marché ou à de nouvelles réglementations concernant l'environnement ou la sécurité.

### **3.2.Types de simulateurs**

Deux types de simulateurs sont largement utilisés pour la simulation des procédés industriels :

- Simulateurs modulaires séquentiels,
- Simulateurs basés sur les équations.

#### **a. Simulateurs modulaires séquentiels**

Dans le simulateur modulaire séquentiel, le diagramme du procédé (process flowchart) est dessiné en utilisant une série d'unités du procédé : agitateur, séparateur, unité de séparation « flash », colonne à distiller, réacteur à conversion fixe, échangeur de chaleur... Ces unités standards sont appelées « blocs », « modules » ou « unités de simulation ».

Un programme informatique, par module, prend les données des courants d'entrée et calcule les propriétés des courants de sortie. Ces calculs sont réalisés de gauche à droite, unité par unité, jusqu'à ce que toutes les variables soient calculées.

#### **b. Simulateurs basée sur les équations du procédé**

Cette méthode implique le rassemblement de toutes les équations du procédé et résolvant simultanée pour calculer les variables inconnues.

### **3.3.Eléments constitutifs d'un simulateur de procédé**

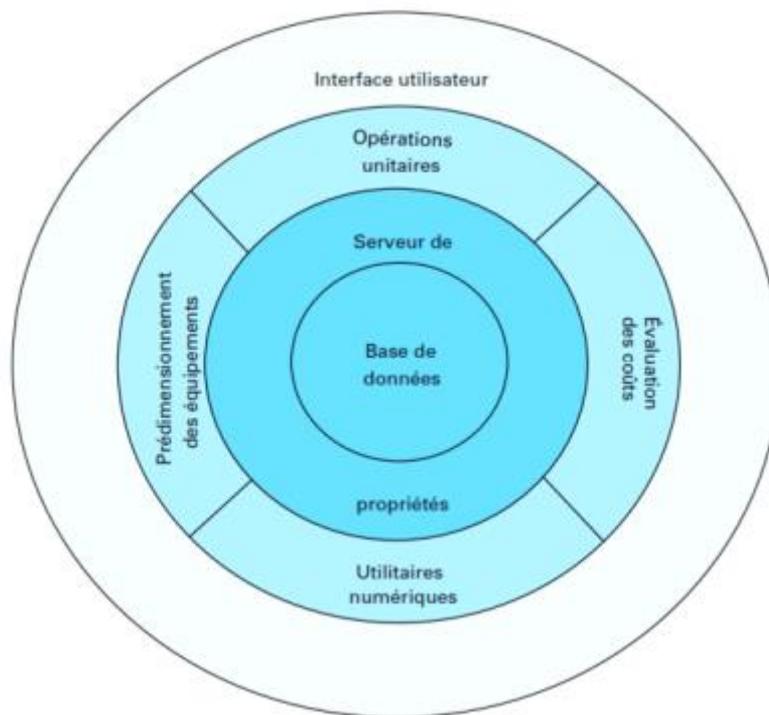
Les différents éléments d'un simulateur sont présentés sur la Figure 2.

#### **a. Base de données**

La base de données stockent tous les constantes physico-chimiques des espèces chimiques pures (masse molaire, coordonnées critiques, point normal d'ébullition...), les paramètres des corrélations pour le calcul de leurs propriétés qui sont fonction de la température (chaleur spécifique du gaz parfait, pression de vapeur saturante, viscosité...) et les paramètres d'interaction binaire relatifs aux modèles de coefficients d'activité.

#### **b. Serveur de propriétés**

Le serveur de propriétés repose sur les bases de données des corps purs et binaires précédemment décrites et sur des modèles thermodynamiques pour délivrer toutes propriétés thermodynamiques (équilibres entre phases), physico-chimiques et de transfert nécessaires à la simulation.



**FIGURE 2** : Eléments constitutifs d'un simulateur de procédés

### c. Utilitaires numérique

Comporte de toutes les méthodes numériques nécessaires susceptibles d'être utilisés lors de la simulation du procédé .

### 4. Logiciels de simulation des procédés

Il existe un très grand nombre de logiciels de simulation des procédés chimiques sur le marché. Ciaprès, on présente une liste des logiciels les plus utilisés au niveau mondial :

<http://www.aspentec.com/> (Aspen)

<http://www.chemstations.net/> (Chemcad)

<http://www.winsim.com/> (DesignII)

<http://www.hyprotech.com/> (Hysys)

<http://www.ideas-simulation.com/home.php> (Ideas)

<http://www.rsi-france.com/> (Indiss)

<http://www.prosim.net/english.html> (Prosim)

<http://www.simsci-esscor.com/us/eng/default.htm> (ProII)

<http://www.rsi-france.com/> (Sim42)

Le logiciel dont nous disposons est le logiciel HYSYS de la société Hyprotech qui est une filiale du groupe Aspentech.

## 4.1.Présentation de HYSYS

HYSYS a été développé principalement pour l'industrie du pétrole, bien qu'il soit utilisé pour d'autres types de procédés chimiques. Ce logiciel :

- dispose d'une interface graphique simple pour la construction des diagrammes du procédé (PDF Process Flow Diagrams),
- fait les calculs nécessaires dès que le minimum de données suffisant pour le calcul est entré,
- Ajuster automatiquement les résultats de calcul avec n'importe quel changement dans les données d'entrées,
- Facilite la disposition des erreurs et de leurs corrections.

Pour réaliser une simulation en HYSYS, les pas suivants sont nécessaires :

### a. Choix des composés (Components)

Il y a beaucoup de composés dans la bibliothèque et ils sont classés en groupes (traditionnel, hypothétique, électrolyte). Les composés peuvent être trouvés en utilisant des filtres et ajoutés à la liste des composés du procédé à simuler.

Lorsqu'un composé n'est pas dans la bibliothèque du logiciel. Le problème peut être surmonté en définissant un composé hypothétique, avec une quantité minimale de propriétés de base spécifiées par l'utilisateur. L'ensemble complet des propriétés pour le composé sera alors estimé par le logiciel.

### b. Choix du modèle thermodynamique (Fluide Package)

L'utilisateur doit sélectionner le modèle thermodynamique à utiliser pour calculer les propriétés de mélange (masse volumique, enthalpie,...) ainsi que pour calculer l'équilibre de phases dans les courants et dans les unités de séparation.

Le modèle le plus simple suppose un comportement de gaz idéal pour la phase gaz et un comportement de solution idéal pour la phase liquide. Donc, on utilise la loi de Raoult pour les calculs de l'équilibre de phases. Dans HYSYS, ce modèle est appelé « Antoine », parce qu'il utilise l'équation d'Antoine pour le calcul des pressions de vapeur. Les propriétés de mélange pour le liquide sont calculées à partir des moyennes des propriétés individuelles.

Pour les mélanges d'hydrocarbures légers, les équations d'état, telle que celle de Peng-Robinson, ou celle de Soave-Redlich-Kwong ou une méthode d'états correspondants comme celle de Lee-Kesler Plocker, sont utilisées couramment. Celles-ci peuvent être trouvées à l'aide du filtre EOS (Equations of State).

Pour des composés présentant un caractère de solution non-idéale (i.e. éthanol + eau), un modèle de type « loi de Raoult modifiée » doit être utilisé. Ceux-ci sont appelés « modèles à coefficient d'activité ». Ils peuvent être trouvés avec le filtre « Activity Models ». Quelques exemples sont les modèles NRTL et UNIQUAC.

Il existe d'autres modèles spéciaux dans HYSYS, notamment pour estimer les propriétés de l'eau (y compris en phase vapeur) et pour les électrolytes.

### **c. Etablir le diagramme du procédé (PFD – Process Flow Diagram)**

La base d'une simulation est le développement du PFD. Ceci est fait en sélectionnant des unités dans la palette d'objets et en les déposant sur la feuille du procédé. De même, tout courant de matière et d'énergie doit être placé sur le PFD. Chaque courant d'entrée ou de sortie est connecté à une unité.

Les courants et les unités sont nommés et ordonnés sur le PFD afin de faciliter la compréhension du diagramme du procédé.

Les calculs sont exécutés successivement de gauche à droite, alors la procédure consiste à définir les courants d'alimentation (sur le côté gauche des unités). Ensuite, introduire autant de spécifications que nécessaires pour la première unité rencontrée, afin de pouvoir la calculer. Cette procédure est valable pour toutes les unités.

# CHAPITRE II

## Débuter avec HYSYS

Ce chapitre constitue une familiarisation avec le logiciel HYSYS. Il explique en détail les étapes initiales nécessaires pour la réalisation de n'importe quelle simulation.

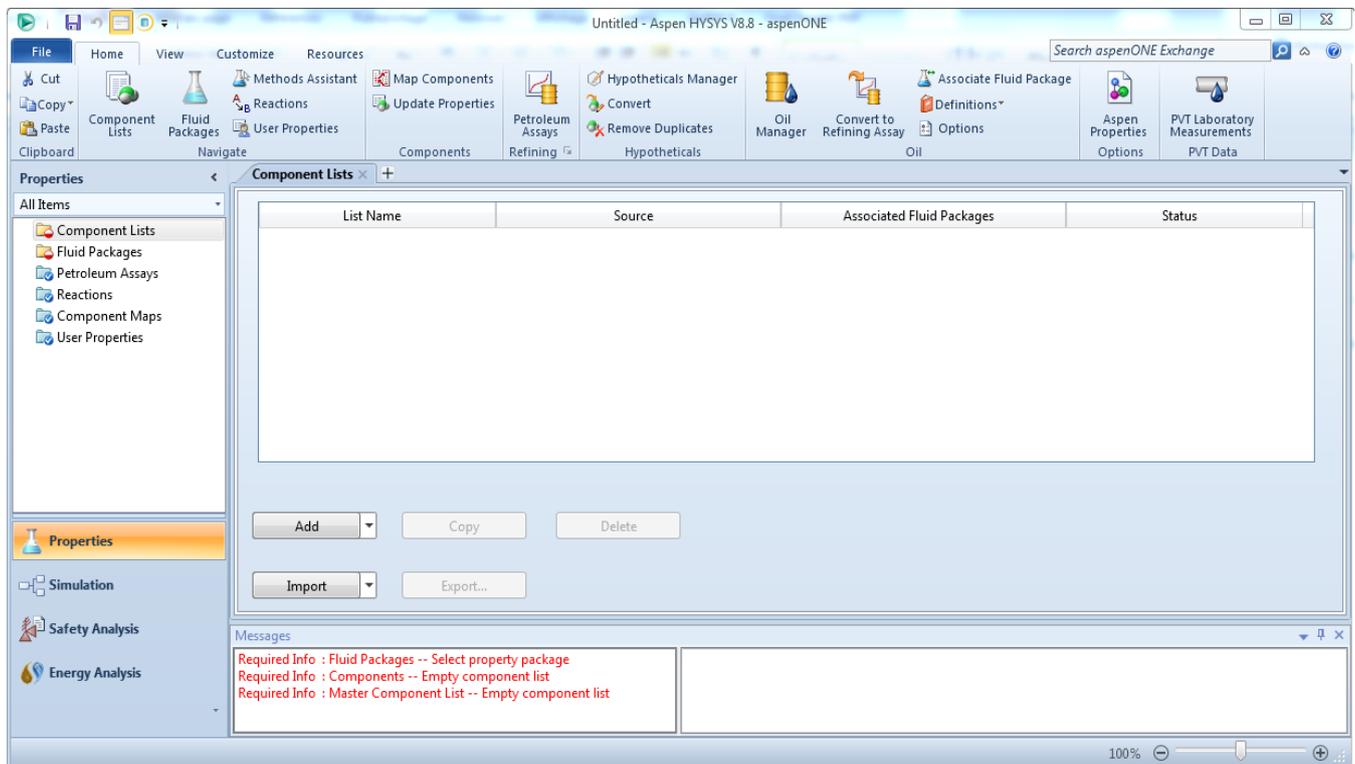
A la fin de ce chapitre, l'utilisateur sera en mesure de:

- Sélectionner les composés corrects (components list) et le modèle thermodynamique (fluid package) pour la réalisation d'une simulation donnée,
- Entrer et ré-entrer à l'environnement de simulation (simulation environment), et se familiariser avec la feuille de simulation (simulation flowsheet),
- Spécifier des courants de matière (material streams).

### 1. Lancer HYSYS

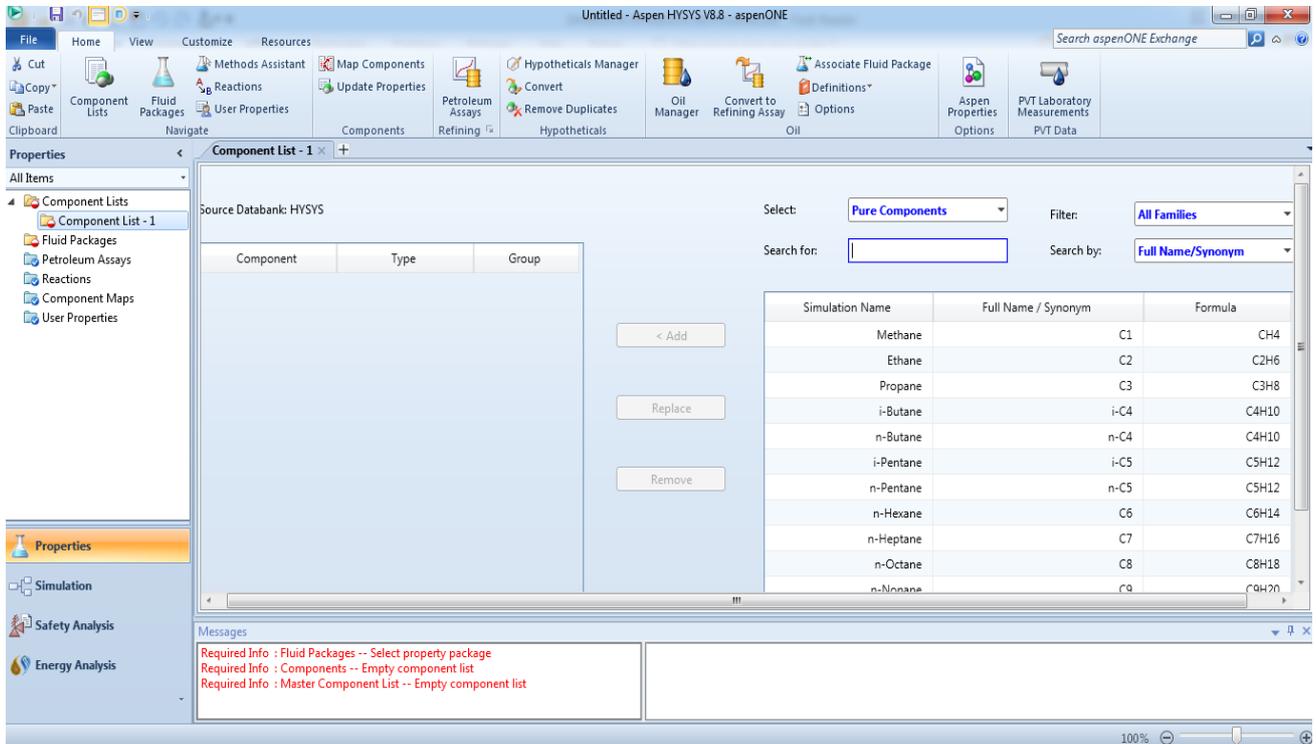
Démarrer HYSYS

La fenêtre de HYSYS s'affiche (Fig.II.1)



## 2. Créer votre simulation

File New Case ou appuyez sur Ctrl+N ou cliquer sur le bouton New Case En cliquant sur New Case, cela ouvrira Simulation Basis Manager (Fig.II.2), qui est l'endroit où tous les composés et leurs propriétés (Fluid Package) doivent être spécifiés.

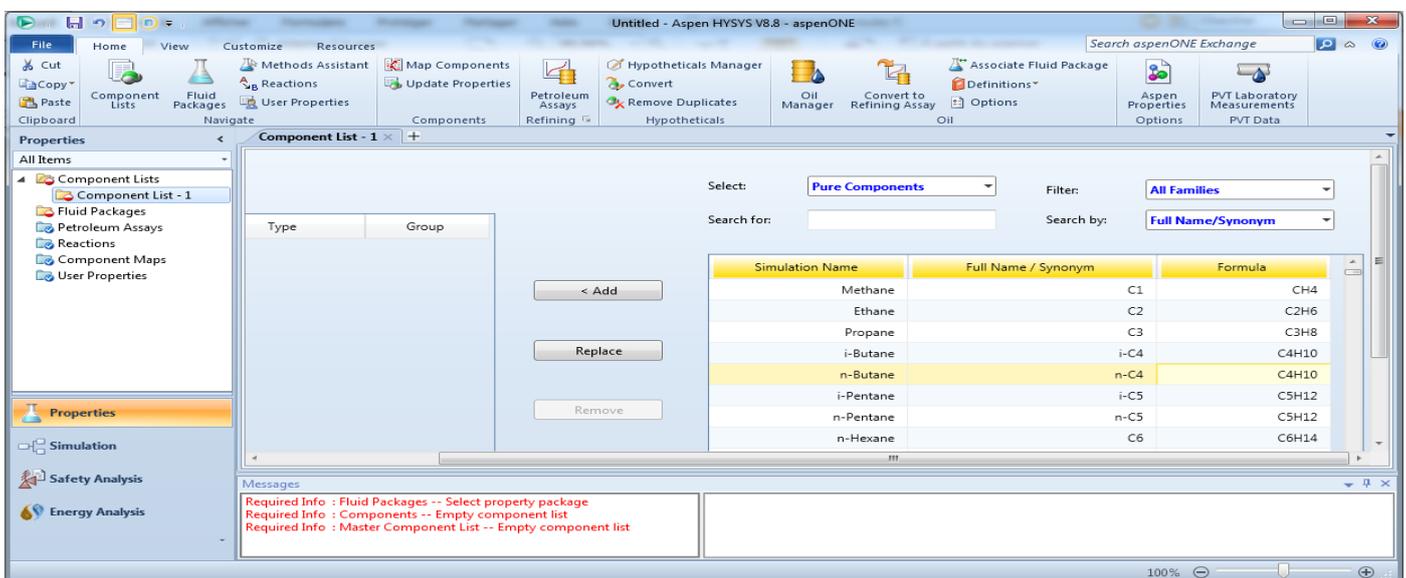


## 3. Enregistrer votre simulation

Avant de poursuivre, enregistrer votre fichier dans un endroit approprié : File Save as

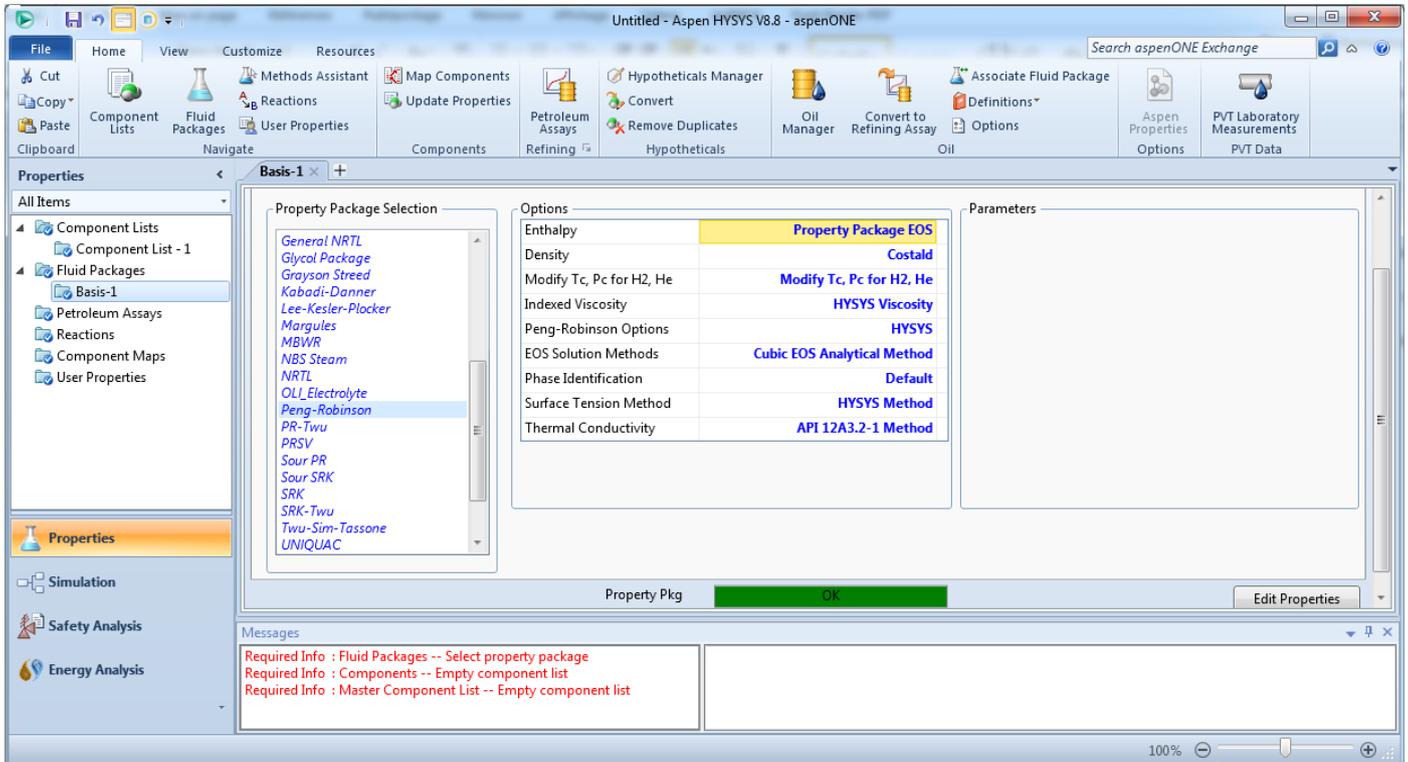
## 4. Insérer des composés à la simulation

Cliquer sur Add de la fenêtre Simulation Basis Manager, cela ouvrira Component List View (Fig.II.3) qui est la liste de tous les composés disponibles sur la bibliothèque de HYSYS.



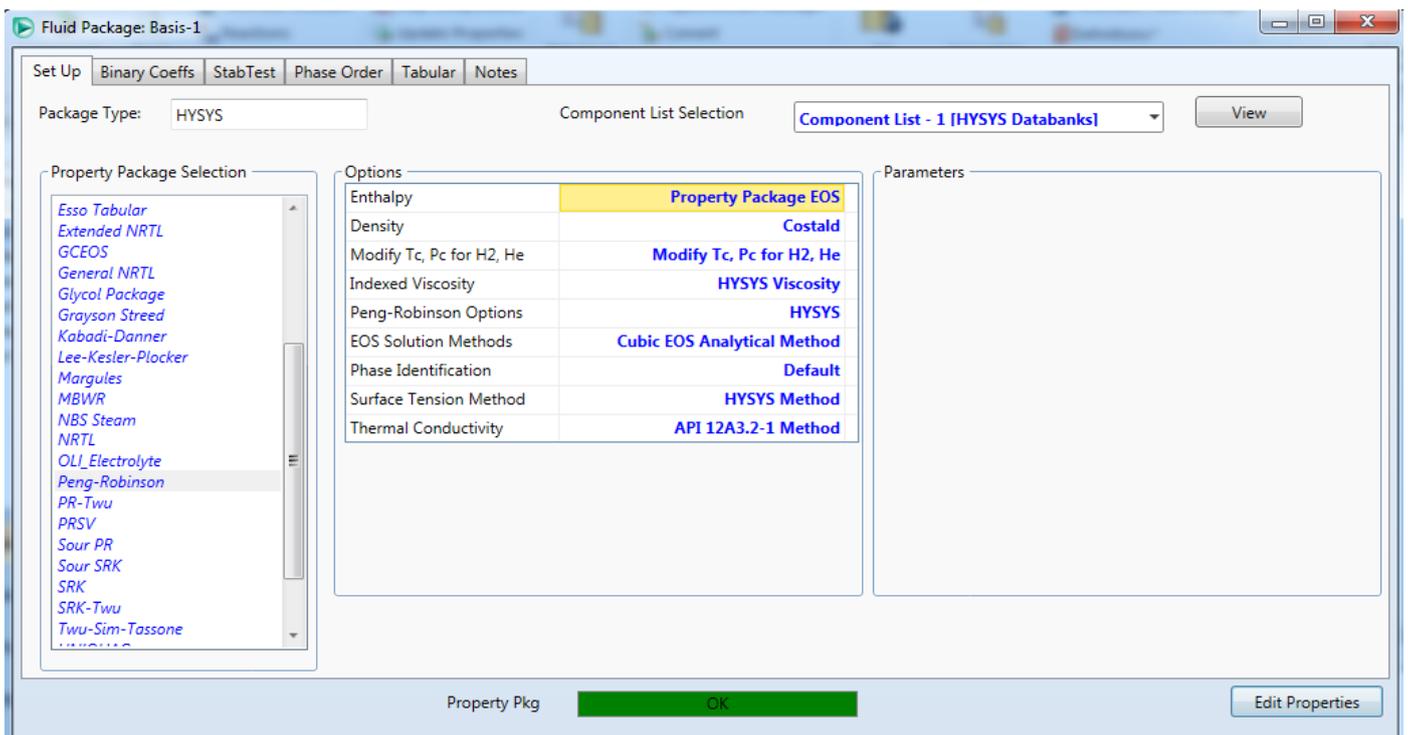
## 5. Sélectionner un modèle thermodynamique (Fluid Package)

A partir de Simulation Basis Manager, sélectionner le bouton Fluid Package, puis cliquer sur Add pour créer un nouveau Fluid Package (Fig.II.4).

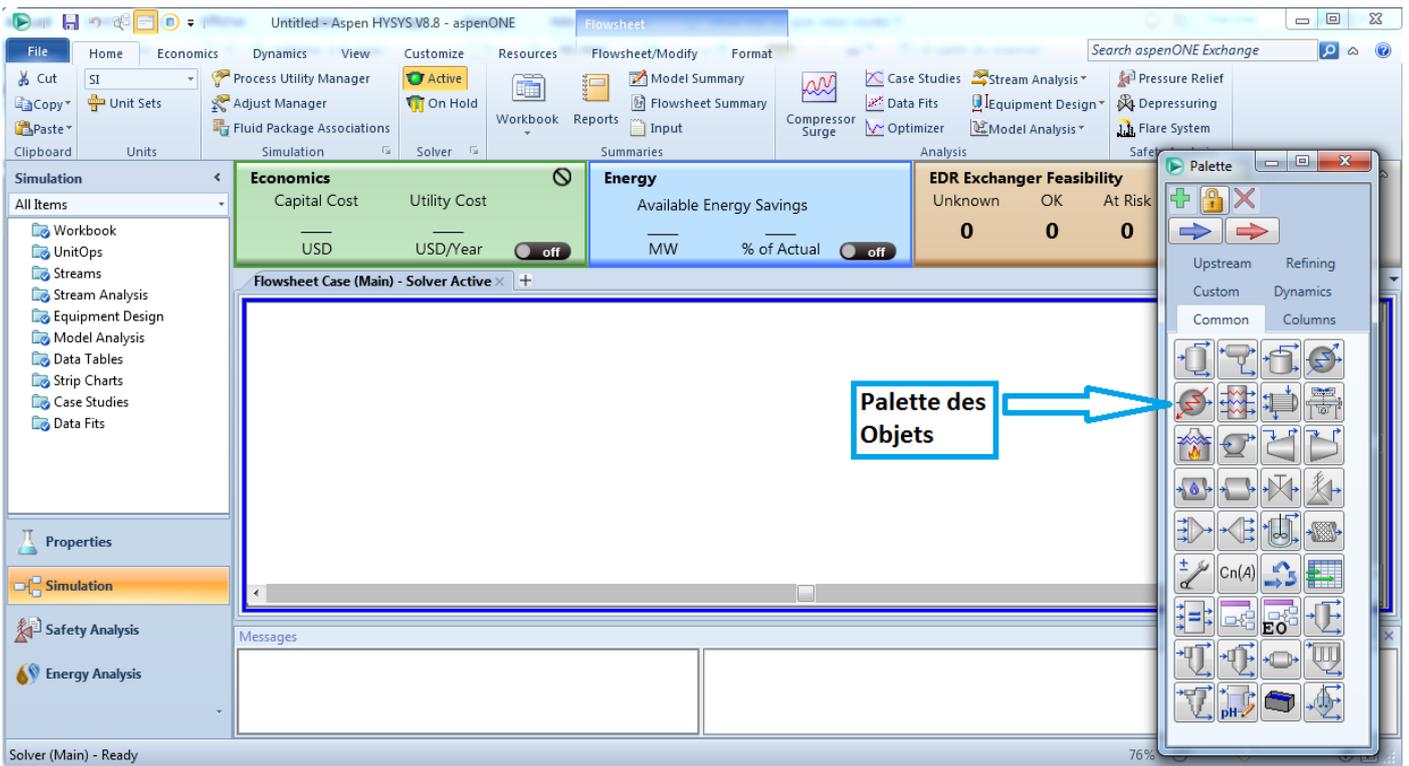


## 6. Entrer à l'environnement de simulation

Cliquer sur le bouton Enter Simulation Environment ou sur l'icône pour commencer votre simulation

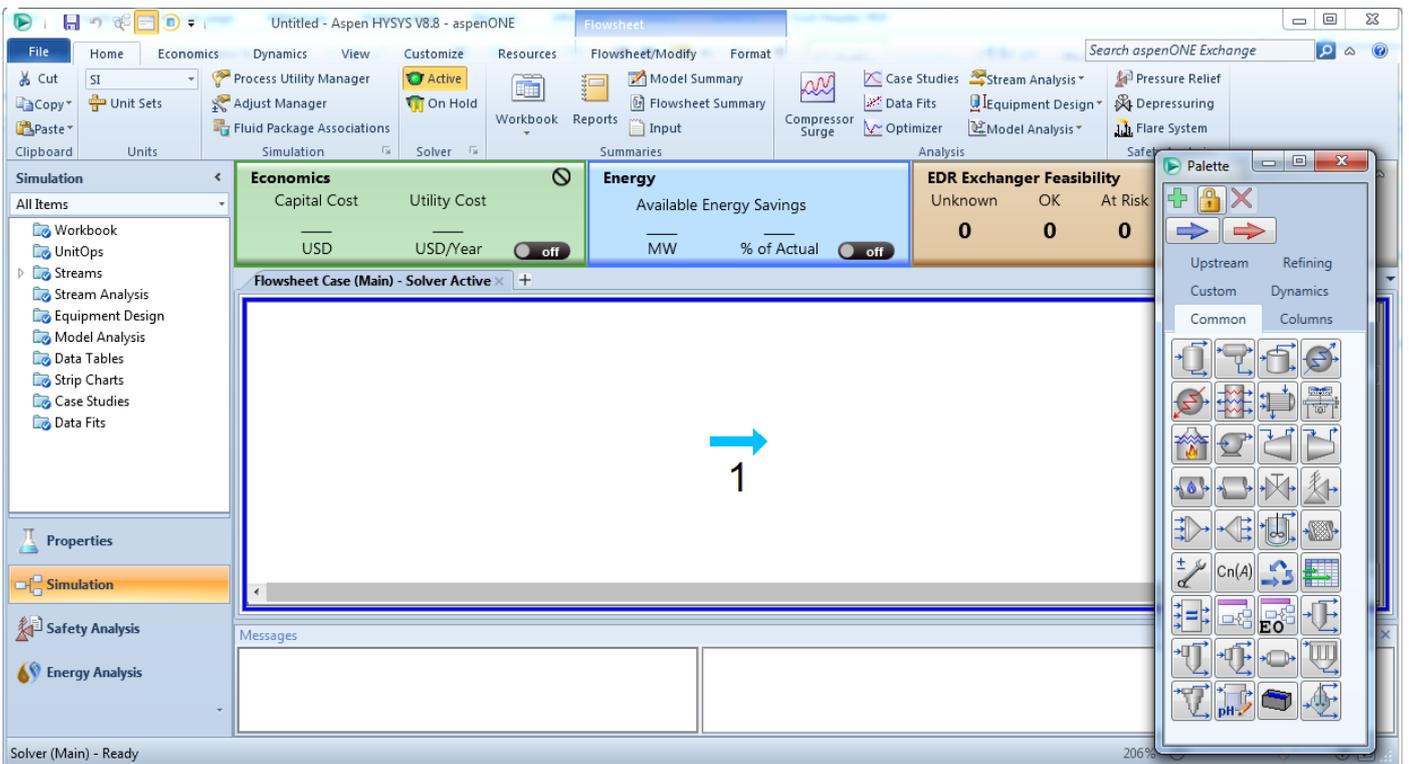


## 7. Travailler avec la feuille de simulation

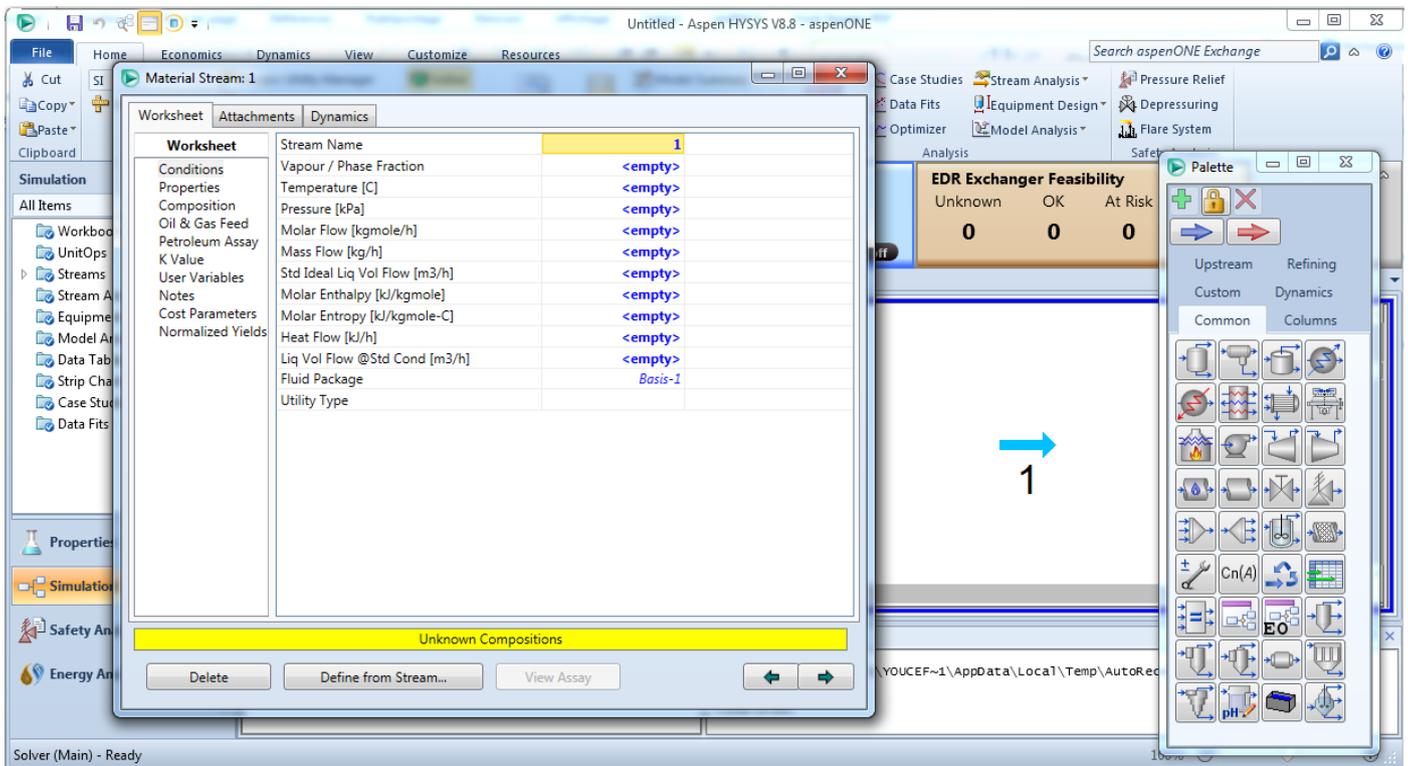


## 8. Ajouter un courant de matière (material stream)

Pour ajouter un courant de matière, cliquer sur la flèche bleue de la palette des objets. La flèche rouge est réservée pour un courant d'énergie (Energie Stream).



Pour entrer les informations d'un courant de matière déjà installé, double cliques sur la flèche, cela ouvrira la fenêtre suivante:



### Remarques:

- Au moins quatre variables sont nécessaires pour spécifier un courant de matière isolé : la composition, le débit et deux autres parmi la température, la pression ou la fraction de la phase vapeur (Vapor/Phase Fraction).
- Les valeurs indiquées en bleu sont spécifiés par l'utilisateur et peuvent être modifiées alors que les valeurs indiquées en noire sont calculées par HYSYS



**Bleu claire** : courant incomplètement spécifié.



**Bleu foncé** : courant spécifié correctement et complètement résolu.

# CHAPITRE III

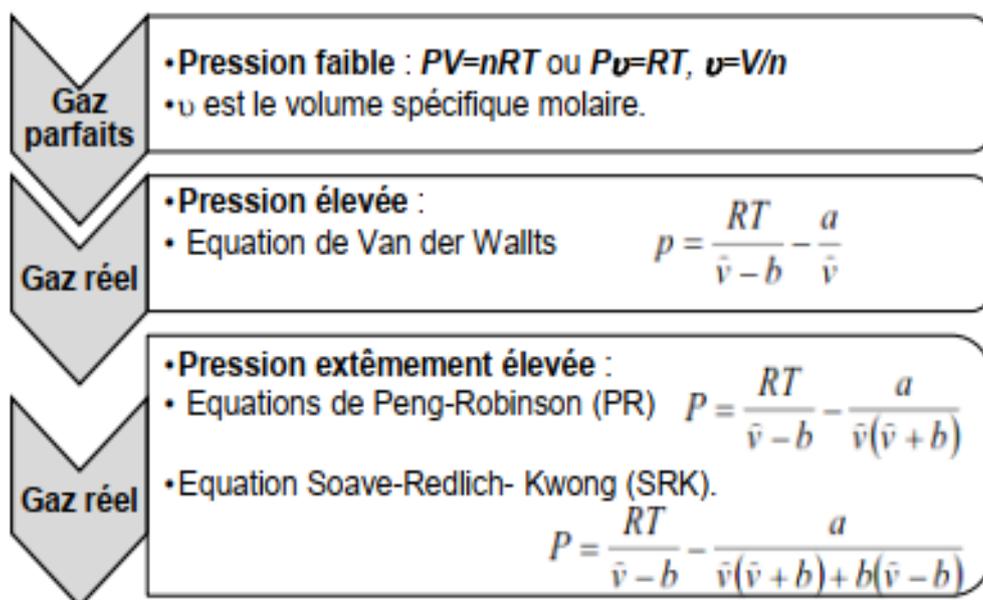
## Equations d'Etat

La résolution des équations d'état permet de déterminer le volume spécifique d'un mélange gazeux à une température et pression spécifiées. Sans utiliser les équations d'état, il serait pratiquement impossible de dimensionner une installation chimique. En connaissant ce volume spécifique, on peut déterminer les dimensions, et donc, le coût de cette installation chimique.

A la fin de ce chapitre, l'utilisateur sera en mesure de :

- Déterminer le volume spécifique d'un composé pur ou d'un mélange gazeux avec HYSYS,
- Comparer les résultats obtenus avec différentes équations d'état,
- Visualiser le résultat en utilisant **Workbook**,
- Analyser la propriété en utilisant **Case Studies**.

### 1. Equations d'état : Formulations mathématiques



Les équations de Peng-Robinson (PR) et Soave-Redlich-Kwong (SRK) génèrent de manière directe toutes les propriétés d'équilibres thermodynamiques. Parmi ceux-ci, **l'équation de Peng-Robinson (PR) soutient la plus large gamme de conditions opératoires et la plus grande variété de systèmes**. Elle est utilisée couramment pour les hydrocarbures.

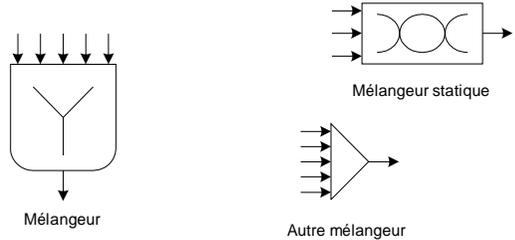
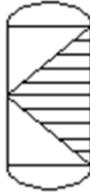
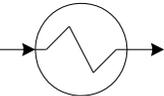
On peut distinguer principalement deux types de simulation dans le cas des procédés chimiques:

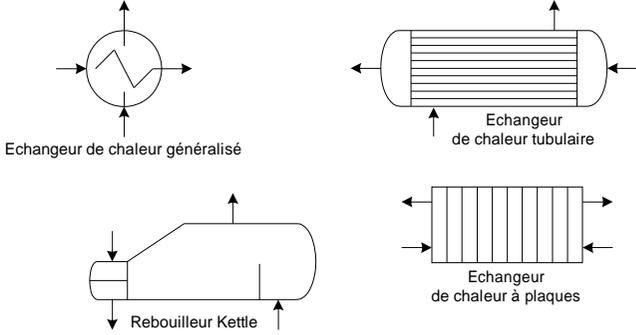
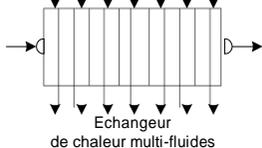
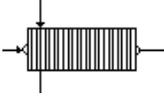
➤ **Simulation statique** (*Steady state*) :

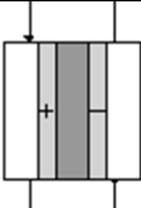
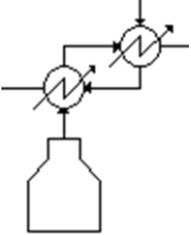
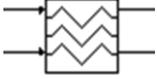
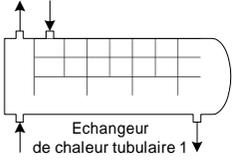
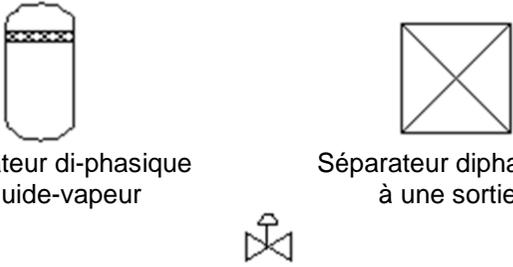
La simulation statique d'un procédé vise à définir les propriétés des flux ( débit, température, fraction vaporisée, ...), ainsi que les bilans matière et d'énergie en régime stabilisé.

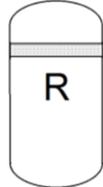
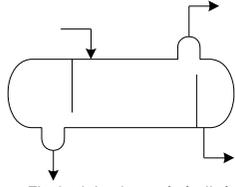
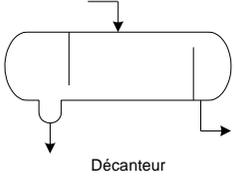
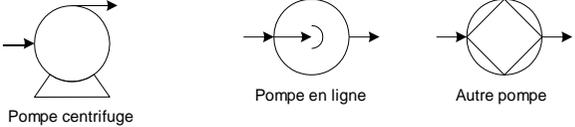
➤ **Simulation dynamique** (*Transient state*) :

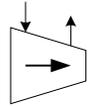
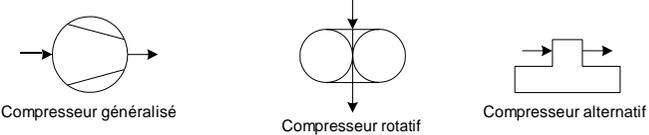
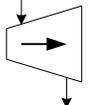
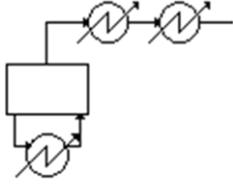
La simulation dynamique d'un procédé vise à définir les propriétés des courants en fonction du temps, pendant des situations transitoires ou le régime n'est pas stable.

Opération unitaire	Description sommaire	Modules sur le flowsheet
<b>Mélangeur de courants</b>	Utilisé pour mélanger plusieurs courants en un courant sortant unique.	 <p>Mélangeur</p> <p>Mélangeur statique</p> <p>Autre mélangeur</p>
<b>Diviseur de courants</b>	Divise le courant résultant du mélange adiabatique des alimentations en plusieurs courants de même composition, température et pression.	 <p>Diviseur de courants</p> <p>Vanne 3 voies</p>
<b>Séparateur de constituants</b>	Permet de séparer les constituants présents dans un courant entre plusieurs courants en fixant le taux de récupération de chaque constituant dans le premier courant sortant (produit de tête) et éventuellement dans des soutirages intermédiaires. Le reste de l'alimentation est mis dans le dernier courant (produit de pied). Ce module peut être utilisé pour simuler de façon simple un procédé de séparation.	 <p>Séparateur de constituants</p>
<b>Échangeur de chaleur simple</b>	Calcule l'état thermique (température et fraction vapeur) d'un courant auquel on a fourni une quantité de chaleur donnée. Il permet ainsi de simuler simplement un échangeur de chaleur pour réchauffer ou refroidir un courant.	 <p>Echangeur de chaleur simple</p>
<b>Consignateur de température</b>	Permet d'ajuster la température d'un courant sans se soucier de la géométrie de l'échangeur. Il permet de simuler un échangeur de chaleur et de calculer la quantité de chaleur nécessaire, pour atteindre la température spécifiée.	 <p>Consignateur de température</p>

<p><b>Échangeur de chaleur</b></p>	<p>Calcule l'échange de chaleur entre deux courants dans un échangeur à contre-courant ou à co-courant. Pour une spécification donnée, le module détermine les caractéristiques des courants sortants et calcule la quantité de chaleur échangée (si cette dernière n'est pas donnée). De plus, à partir de la connaissance des coefficients globaux d'échange thermique, le module offre la possibilité de calculer une aire d'échange avec ou sans prise en compte d'éventuels changements de phase. Pour les échangeurs de chaleur à plusieurs passes côté tube et/ou côté calandre, une efficacité par rapport au contre-courant pur est calculée.</p>	
<p><b>Échangeur double tube</b></p>	<p>Ce module permet de déterminer la quantité de chaleur échangée et les températures de sortie (côté tube et côté espace annulaire) d'un échangeur de chaleur de type double-tube connaissant sa géométrie et les caractéristiques des courants d'entrée. Les corrélations utilisées pour déterminer les pertes de charge et les coefficients de transfert de chaleur des deux côtés (tube et espace annulaire) peuvent être choisies par l'utilisateur dans la liste proposée dans ce module.</p> <p>Les fluides peuvent s'écouler à contre-courant ou à co-courant.</p> <p>Les calculs peuvent être effectués pour des fluides corps purs ou mélanges côtés tube et espace annulaire, avec possibilité de condensation ou d'évaporation côtés tube et espace annulaire.</p>	 <p>Echangeur double tube</p>
<p><b>Échangeur de chaleur multifluides</b></p>	<p>Calcule l'échange de chaleur entre un courant principal et plusieurs courants secondaires. Les courants restant inchangés au niveau matière, seul un bilan thermique est effectué. A partir de la connaissance des températures d'entrée et de sortie des courants secondaires, les caractéristiques thermiques du courant principal sortant et les quantités de chaleur échangées sont déterminées.</p>	 <p>Echangeur de chaleur multi-fluides</p>
<p><b>Échangeur à plaques et ailettes brasées</b></p>	<p>Ce module calcule les performances thermiques et les pertes de charge d'un échangeur de chaleur à plaques et ailettes brasées de géométrie fixée où interviennent plusieurs fluides en écoulement co-courant ou contre-courant. Ce module calcule notamment les quantités de chaleur échangées et les profils internes de température et d'enthalpie en faisant l'hypothèse d'une température de paroi constante. Il permet de calculer un appareil ou une batterie d'appareils en parallèle et autorise une description très détaillée de la géométrie de l'échangeur et de la topologie des circuits.</p>	 <p>Echangeur à plaques et ailettes brasées</p>

<p><b>Pile à combustible à oxyde solide</b></p>	<p>Ce module calcule le bilan matière et énergie d'un coeur de pile à combustible oxydes solides (<b>Solid Oxid Fuel Cell</b>) sans reformage interne du méthane.</p>	 <p>Pile à combustible à oxyde solide</p>
<p><b>Chaudière</b></p>	<p>Le module CHAUDIERE est une unité de combustion complète d'un combustible gazeux ou liquide par un comburant. L'objectif de cet appareil est de produire des fumées chaudes dont la chaleur va être récupérée pour chauffer un fluide utilité (généralement production de vapeur à partir d'eau liquide).</p>	 <p>Chaudière</p>
<p><b>Echangeur MHX</b></p>	<p>L'échangeur MHX résout les bilans matière et enthalpie pour les échangeurs de chaleur multi-fluides et les réseaux d'échangeurs de chaleur. Il effectue un calcul d'intégration énergétique à partir duquel vont être tracées les courbes composées chaude et froide.</p>	 <p>Echangeur MHX</p>
<p><b>Rating d'échangeur tubes/calandre</b></p>	<p>Ce module permet de vérifier le fonctionnement thermo-hydraulique d'un échangeur polytubes pour deux fluides circulants à contre-courant. Les calculs prennent en compte la possibilité de condensation côté service et procédé ou évaporation côté procédé. Il est possible d'avoir un modèle thermodynamique différent pour chacun des deux fluides circulant dans l'échangeur. Les résultats sont résumés sous la forme d'une feuille de spécifications de l'échangeur.</p>	 <p>Echangeur de chaleur tubulaire 1</p>
<p><b>Flash généralisé diphasique (Liquide-Vapeur)</b></p>	<p>Utilisé pour représenter un étage d'équilibre liquide-vapeur, ce module simule tous types de flashes tels que flash à température et pression donnés, flash à quantité de chaleur et pression données, flash à taux de vaporisation et température ou pression donnés, flash à entropie et pression données.</p>	 <p>Séparateur di-phasique liquide-vapeur</p> <p>Séparateur diphasique à une sortie</p> <p>Vanne de détente</p>

<b>Flash diphasique réactif</b>	<p>Le module flash réactif est utilisé pour représenter une opération flash pour laquelle il est supposé que l'équilibre thermodynamique est atteint et pour lequel des réactions chimiques ont lieu. Les options disponibles sont : température de sortie imposée, fonctionnement adiabatique ou avec une quantité de chaleur échangée avec le milieu imposée, débit de vapeur ou débit de liquide imposé.</p>	 <p>Flash diphasique réactif</p>
<b>Flash généralisé triphasique (Liquide-Liquide-Vapeur)</b>	<p>Utilisé pour modéliser un étage d'équilibre triphasique : liquide-liquide-vapeur. Plusieurs types de flashes sont disponibles tels que flash à température et pression données, flash à quantité de chaleur et pression données, flash à taux de vaporisation et pression donnés. En sortie un courant correspond au courant vapeur, un courant au liquide "léger" et un autre au courant liquide "lourd".</p>	 <p>Flash triphasique généralisé</p>
<b>Décanteur</b>	<p>Utilisé pour représenter un étage d'équilibre liquide-liquide à température et pression données. S'il existe effectivement une démixion, en sortie un courant correspond au liquide "léger" l'autre au liquide "lourd". Il est possible de spécifier les constantes de partage liquide-liquide, indépendamment du modèle thermodynamique utilisé.</p>	 <p>Décanteur</p>
<b>Pertes de charge en ligne</b>	<p>Permet de calculer les pertes de charges subies par un fluide lors d'un transport isotherme dans un circuit comportant des segments linéaires (conduites tubulaires) et/ou des accidents de parcours (élargissement, coude...). Le module effectue également les calculs de changements de phase éventuels et signale leur localisation.</p>	 <p>Perte de charges en ligne</p>
<b>Pompe</b>	<p>Utilisé pour simuler une pompe. La pression de refoulement de la pompe peut être soit fournie, soit calculée à partir de la connaissance de la puissance électrique consommée par la pompe. Deux modèles de représentation du fonctionnement sont disponibles : pompe volumétrique ou pompe isentropique. Il est possible de fournir une efficacité isentropique ou volumétrique ainsi qu'un rendement mécanique.</p>	 <p>Pompe centrifuge      Pompe en ligne      Autre pompe</p>
<b>Ejecteur vapeur</b>	<p>Un EJECTEUR DE VAPEUR est un appareil alimenté par deux fluides, un fluide primaire ou moteur et un fluide secondaire ou aspiré, qui va réaliser une compression du fluide secondaire au prix d'une baisse d'enthalpie du fluide primaire.</p>	 <p>Ejecteur vapeur</p>

<p><b>Compresseur</b></p>	<p>Utilisé pour simuler un compresseur mono ou multiétagé avec ou sans refroidissement intermédiaire. Il est possible de fournir les rendements isentropique et mécanique. Au niveau des échangeurs intermédiaires éventuels, l'utilisateur peut spécifier les températures de refroidissement.</p>	 <p>Compresseur</p>
<p><b>Compresseur généralisé</b></p>	<p>Permet de simuler un compresseur mono ou multiétagé, isentropique ou polytropique, avec ou sans refroidissement intermédiaire. Il dispose de toutes les fonctionnalités du module compresseur mais offre également la possibilité d'utiliser les courbes constructeurs comme données de la simulation.</p>	 <p>Compresseur généralisé      Compresseur rotatif      Compresseur alternatif</p>
<p><b>Turbine</b></p>	<p>Utilisé pour simuler une turbine, monoétagée, avec possibilité de condensation. Le calcul est effectué à partir de la pression de sortie ou la température de pression de rosée (ou de bulle) correspondant à la pression de rosée (ou de bulle) souhaitée en sortie (cette pression sera alors calculée par le module).</p>	 <p>Turbine</p>
<p><b>Moteur à gaz</b></p>	<p>Le moteur à gaz est une unité de combustion totale d'un combustible gazeux par un courant d'air. L'objectif premier de cet appareil est la production d'électricité. De plus, il résulte de la combustion un courant de fumées chaud dont la chaleur peut être récupérée par le biais d'échangeur de chaleur.</p>	 <p>Moteur à gaz</p>

## Pompe à chaleur

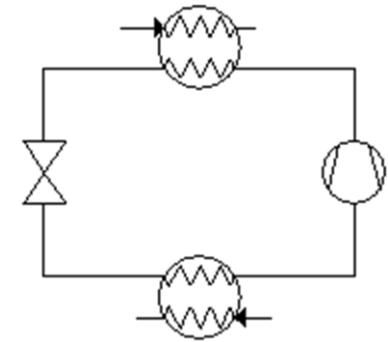
Le module POMPE A CHALEUR est une unité permettant la simulation du transfert d'une quantité de chaleur d'un milieu considéré comme "émetteur" (milieu fournisseur) vers un milieu "récepteur" de calories. Selon le sens de ce transfert, la pompe à chaleur peut fonctionner soit comme un "radiateur" (cycle calorifique) soit comme un "réfrigérateur" (cycle frigorifique).

L'équipement Pompe à chaleur est une installation dont l'objectif peut donc être :

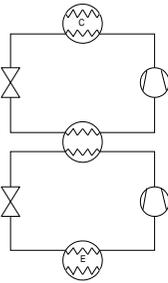
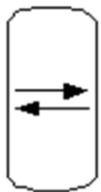
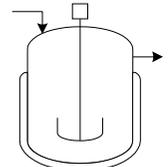
- soit de refroidir l'utilité chaude -> fonctionnement Groupe Froid (GF)
- soit de réchauffer l'utilité froide -> fonctionnement Pompe à Chaleur (PAC)

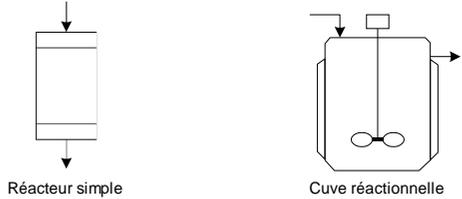
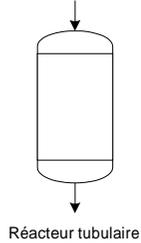
Le module Pompe à chaleur dans ProSimPlus intègre les équipements suivants :

- Un condenseur (échangeur à contre-courant) ;
- Une détente ;
- Un évaporateur (échangeur à contre-courant) ;
- Un compresseur.



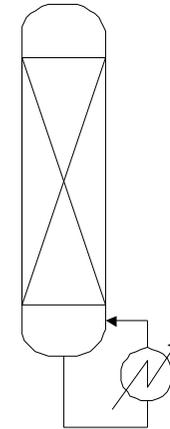
Pompe à chaleur

<p><b>Pompe à chaleur généralisée</b></p>	<p>Le module POMPE A CHALEUR GENERALISEE est une unité permettant la simulation du transfert d'une quantité de chaleur d'un milieu considéré comme "émetteur" (milieu fournisseur) vers un milieu "récepteur" de calories. Selon le sens de ce transfert, la pompe à chaleur peut fonctionner soit comme un "radiateur" (cycle calorifique) soit comme un "réfrigérateur" (cycle frigorifique). Les avantages d'un module PACG comparativement au module PACS (Pompe à Chaleur Simple) sont les suivants :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• diminuer les températures de refoulement des compresseurs,</li> <li>• permettre des températures d'évaporation très basse,</li> <li>• d'une manière générale d'augmenter le rendement thermodynamique de la machine.</li> </ul> <p>L'équipement Pompe à chaleur généralisée est une installation dont l'objectif peut donc être :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• soit de refroidir l'utilité chaude -&gt; fonctionnement Groupe Froid (GF)</li> <li>• soit de réchauffer l'utilité froide -&gt; fonctionnement Pompe à Chaleur (PAC)</li> </ul> <p>Le module PACG dans ProSimPlus intègre les équipements suivants :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Un condenseur (échangeur à contre-courant) ;</li> <li>• Deux détentes ;</li> <li>• Un évaporateur (échangeur à contre-courant) ;</li> <li>• Deux compresseurs ;</li> <li>• Un échangeur intermédiaire.</li> </ul>	 <p>Pompe à chaleur généralisée</p>
<p><b>Réacteur équilibré</b></p>	<p>Le module REACTEUR EQUILIBRE est utilisé pour représenter un équilibre chimique en phase gazeuse, la pression du système étant imposée, et au choix la température (réacteur isotherme) ou la quantité de chaleur échangée (par exemple réacteur adiabatique). L'équilibre est calculé soit en utilisant la méthode des constantes d'équilibre, soit en minimisant l'énergie libre de Gibbs du système. Dans le cas de la méthode des constantes d'équilibre, l'utilisateur peut définir des températures d'approche à l'équilibre en donnant pour chaque réaction des écarts de température par rapport à la température du système. Les constantes d'équilibre sont alors calculées à ces températures d'approche et non à la température du système.</p>	 <p>Réacteur équilibré</p>
<p><b>Réacteur Agité Continu</b></p>	<p>Permet de représenter le fonctionnement d'un réacteur parfaitement agité à alimentation continue (le mélange dans le réacteur pouvant être monophasique ou diphasique). Ce réacteur prend en compte les réactions chimiques à cinétique donnée ainsi que les réactions chimiques équilibrées. Le module effectue les bilans matière et thermique et prend éventuellement en compte les changements de phase ou écoulements diphasiques.</p>	 <p>Réacteur agité continu</p>

<p><b>Réacteur chimique simple</b></p>	<p>Utilisé pour représenter un réacteur soit adiabatique, soit isotherme, soit à température de sortie imposée, soit à quantité de chaleur fixée, dans lequel plusieurs réactions sont prises en compte avec un ensemble de taux de conversion, ou avec un ensemble de sélectivités.</p>	 <p>The diagram shows two types of reactors. On the left is a 'Réacteur simple', a vertical cylinder with an inlet arrow at the top and an outlet arrow at the bottom. On the right is a 'Cuve réactionnelle', a larger vertical vessel with a stirrer inside, an inlet at the top, and an outlet on the side.</p>
<p><b>Réacteur tubulaire</b></p>	<p>Permet de représenter le fonctionnement d'un réacteur tubulaire en régime permanent dans lequel l'hydrodynamique correspond à un écoulement piston. Ce module permet de prendre en compte les réactions chimiques à cinétique donnée ainsi que les réactions chimiques équilibrées. Le type de fonctionnement (adiabatique, isotherme,...), les pertes de charge ainsi que les échanges de chaleur avec la paroi sont également pris en compte.</p>	 <p>The diagram shows a 'Réacteur tubulaire', a vertical cylindrical vessel with an inlet arrow at the top and an outlet arrow at the bottom.</p>
<p><b>Absorbeur</b></p>	<p>Permet de simuler le fonctionnement d'un procédé de séparation liquide-vapeur multiétagé, mettant en jeu un transfert de matière entre une phase liquide et une phase vapeur à contre courant à l'aide d'une colonne sans condenseur ni rebouilleur. Une alimentation liquide, un soutirage vapeur en tête de colonne, une alimentation vapeur et un soutirage liquide en pied de colonne sont requis. Des soutirages et/ou des alimentations intermédiaires liquides ou vapeurs ainsi que des quantités de chaleurs échangées avec le milieu extérieur peuvent être spécifiés à chaque étage. Le modèle est basé sur le concept d'étage théorique avec la possibilité d'introduire des efficacités de Murphree. Le dimensionnement ou la vérification hydrodynamique du fonctionnement de la colonne sont possibles pour tous types de garnissages ainsi que de nombreux types de plateaux. Il est possible de spécifier que tout ou partie de la colonne est réactive.</p>	 <p>The diagram shows an 'Absorbeur', a vertical cylindrical vessel with a diagonal cross-section inside, representing a tray or packing column. It has an inlet at the top and an outlet at the bottom.</p>

### Absorbeur avec rebouilleur

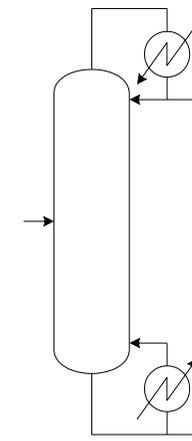
Permet de simuler le fonctionnement d'un procédé de séparation liquide-vapeur multiétagé, mettant en jeu un transfert de matière entre une phase liquide et une phase vapeur à contre courant à l'aide d'une colonne possédant un rebouilleur mais pas de condenseur. Une alimentation liquide et un soutirage vapeur en tête de colonne et un résidu sont requis. Des soutirages et/ou des alimentations intermédiaires liquides ou vapeurs ainsi que des quantités de chaleurs échangées avec le milieu extérieur peuvent être spécifiés à chaque étage. Le modèle est basé sur le concept d'étage théorique avec la possibilité d'introduire des efficacités de Murphree. Le dimensionnement ou la vérification hydrodynamique du fonctionnement de la colonne sont possibles pour tous types de garnissages ainsi que de nombreux types de plateaux. Il est possible de spécifier que tout ou partie de la colonne est réactive.



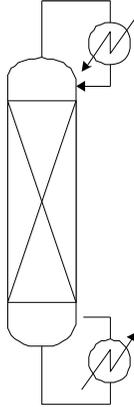
Asorbeur avec rebouille r

### Distillation "short-cut"

Simule une colonne de distillation simple avec une alimentation et deux produits, le distillat et le résidu. En spécifiant le taux de récupération de deux constituants clefs au distillat et au résidu, le module fournit : le taux de reflux, le nombre de plateaux théoriques, la position du plateau d'alimentation, la composition du distillat et du résidu, la chaleur à fournir au rebouilleur, la chaleur à enlever au condenseur. Ce module peut être utilisé pour le design en première approche d'une colonne à distiller. Les calculs sont basées sur les méthodes de Fenske, Underwood, Gilliland et Kirkbride.

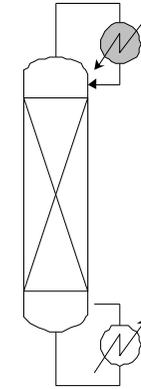


Distillation Short Cut

<p><b>Dimensionnement de colonne</b></p>	<p>Le module Dimensionnement de Colonne est utilisé pour effectuer ou vérifier le dimensionnement d'une colonne sans avoir réalisé au préalable un calcul rigoureux de celle-ci. Aucun calcul d'équilibre entre phases ou enthalpique n'est réalisé à l'intérieur de ce module, les courants entrants étant pris égaux aux courants sortants. Par contre, les propriétés de transfert (masse volumique, viscosité, tension superficielle,...) peuvent être soit calculées à partir des caractéristiques des courants entrants soit fournies par l'utilisateur. Ces propriétés étant connues, ce module permet de vérifier le fonctionnement hydraulique de colonnes existantes ou de faire le dimensionnement d'une colonne suivant différents critères.</p>	 <p>Dimensionnement de colonne</p>
<p><b>Distillation rigoureuse diphasique (L-V) à condenseur partiel</b></p>	<p>Permet de simuler le fonctionnement d'un procédé de séparation liquide-vapeur multiétagé, mettant en jeu un transfert de matière entre une phase liquide et une phase vapeur à contre courant à l'aide d'une colonne muni d'un condenseur partiel et d'un rebouilleur. Une alimentation et au moins un distillat vapeur et un résidu liquide sont requis. Des soutirages et/ou des alimentations intermédiaires liquides ou vapeurs ainsi que des quantités de chaleurs échangées avec le milieu extérieur peuvent être spécifiés à chaque étage. Le modèle est basé sur le concept d'étage théorique avec la possibilité d'introduire des efficacités de Murphree. Le dimensionnement ou la vérification hydrodynamique du fonctionnement de la colonne sont possibles pour tous types de garnissages ainsi que de nombreux types de plateaux. Il est possible de spécifier que tout ou partie de la colonne est réactive.</p>	 <p>Colonne à distiller avec condenseur partiel</p>

**Distillation rigoureuse  
diphasique (L-V) à condenseur  
total**

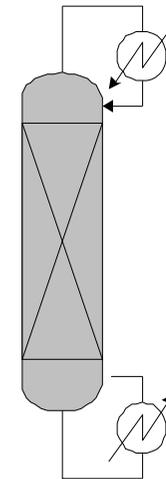
Permet de simuler le fonctionnement d'un procédé de séparation liquide-vapeur multiétagé, mettant en jeu un transfert de matière entre une phase liquide et une phase vapeur à contre courant à l'aide d'une colonne muni d'un condenseur total et d'un rebouilleur. Dans le cas d'une colonne à condenseur total au moins une alimentation, un distillat liquide et un résidu liquide sont requis. Des soutirages et/ou des alimentations intermédiaires liquides ou vapeurs ainsi que des quantités de chaleurs échangées avec le milieu extérieur peuvent être spécifiés à chaque étage. Le modèle est basé sur le concept d'étage théorique avec la possibilité d'introduire des efficacités de Murphree. Le dimensionnement ou la vérification hydrodynamique du fonctionnement de la colonne sont possibles pour tous types de garnissages ainsi que de nombreux types de plateaux. Il est possible de spécifier que tout ou partie de la colonne est réactive.



Colonne à distiller à condenseur total

**Distillation rigoureuse  
triphasique (L-L-V) à  
condenseur partiel, sans  
décanteur de tête**

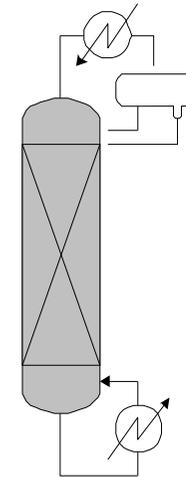
Permet de simuler le fonctionnement d'un procédé de séparation liquide-liquide-vapeur multiétagé, mettant en jeu un transfert de matière entre une ou deux phases liquides et une phase vapeur à contre courant à l'aide d'une colonne muni d'un condenseur partiel et d'un rebouilleur mais sans décanteur en tête. Chaque plateau de la colonne peut être triphasique et des tests de stabilité de phases sont effectués afin de déterminer les lieux de coexistence de deux phases liquides. La distinction entre phase lourde et phase légère est effectuée automatiquement par le programme en comparant les masses volumiques. Des soutirages phases légère et phase lourde et/ou des alimentations intermédiaires liquides ou vapeurs ainsi que des quantités de chaleurs échangées avec le milieu extérieur peuvent être spécifiés à chaque étage. Le modèle est basé sur le concept d'étage théorique avec la possibilité d'introduire des efficacités de Murphree. Le dimensionnement ou la vérification hydrodynamique du fonctionnement de la colonne sont possibles pour tous types de garnissages ainsi que de nombreux types de plateaux. Il est possible de spécifier que tout ou partie de la colonne est réactive.



Colonne triphasique sans décanteur à condenseur partiel

**Distillation rigoureuse triphasique (L-L-V) à condenseur partiel, avec décanteur de tête**

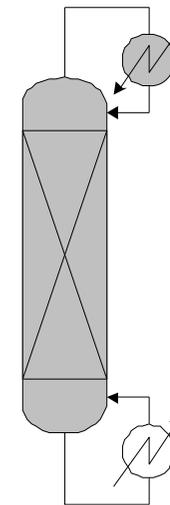
Permet de simuler le fonctionnement d'un procédé de séparation liquide-liquide-vapeur multiétagé, mettant en jeu un transfert de matière entre une ou deux phases liquides et une phase vapeur à contre courant à l'aide d'une colonne muni d'un condenseur partiel, d'un rebouilleur et d'un décanteur en tête. Chaque plateau de la colonne peut être triphasique et des tests de stabilité de phases sont effectuées afin de déterminer les lieux de coexistence de deux phases liquides. La distinction entre phase lourde et phase légère est effectuée automatiquement par le programme en comparant les masses volumiques. Des soutirages phases légère et phase lourde et/ou des alimentations intermédiaires liquides ou vapeurs ainsi que des quantités de chaleurs échangées avec le milieu extérieur peuvent être spécifiés à chaque étage. Le modèle est basé sur le concept d'étage théorique avec la possibilité d'introduire des efficacités de Murphree. Le dimensionnement ou la vérification hydrodynamique du fonctionnement de la colonne sont possibles pour tous types de garnissages ainsi que de nombreux types de plateaux. Il est possible de spécifier que tout ou partie de la colonne est réactive.



Colonne triphasique à condenseur partiel avec décanteur

**Distillation rigoureuse triphasique (L-L-V) à condenseur total, sans décanteur de tête**

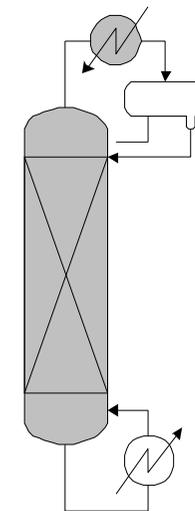
Permet de simuler le fonctionnement d'un procédé de séparation liquide-liquide-vapeur multiétagé, mettant en jeu un transfert de matière entre une ou deux phases liquides et une phase vapeur à contre courant à l'aide d'une colonne muni d'un condenseur total et d'un rebouilleur mais sans décanteur en tête. Chaque plateau de la colonne peut être triphasique et des tests de stabilité de phases sont effectuées afin de déterminer les lieux de coexistence de deux phases liquides. La distinction entre phase lourde et phase légère est effectuée automatiquement par le programme en comparant les masses volumiques. Des soutirages phases légère et phase lourde et/ou des alimentations intermédiaires liquides ou vapeurs ainsi que des quantités de chaleurs échangées avec le milieu extérieur peuvent être spécifiés à chaque étage. Le modèle est basé sur le concept d'étage théorique avec la possibilité d'introduire des efficacités de Murphree. Le dimensionnement ou la vérification hydrodynamique du fonctionnement de la colonne sont possibles pour tous types de garnissages ainsi que de nombreux types de plateaux. Il est possible de spécifier que tout ou partie de la colonne est réactive.



Colonne triphasique à condenseur total sans décanteur

**Distillation rigoureuse triphasique (L-L-V) à condenseur total, avec décanteur de tête**

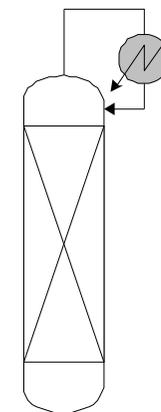
Permet de simuler le fonctionnement d'un procédé de séparation liquide-liquide-vapeur multiétagé, mettant en jeu un transfert de matière entre une ou deux phases liquides et une phase vapeur à contre courant à l'aide d'une colonne muni d'un condenseur total, d'un rebouilleur et d'un décanteur en tête. Chaque plateau de la colonne peut être triphasique et des tests de stabilité de phases sont effectuées afin de déterminer les lieux de coexistence de deux phases liquides. La distinction entre phase lourde et phase légère est effectuée automatiquement par le programme en comparant les masses volumiques. Des soutirages phases légère et phase lourde et/ou des alimentations intermédiaires liquides ou vapeurs ainsi que des quantités de chaleurs échangées avec le milieu extérieur peuvent être spécifiés à chaque étage. Le modèle est basé sur le concept d'étage théorique avec la possibilité d'introduire des efficacités de Murphree. Le dimensionnement ou la vérification hydrodynamique du fonctionnement de la colonne sont possibles pour tous types de garnissages ainsi que de nombreux types de plateaux. Il est possible de spécifier que tout ou partie de la colonne est réactive.



Colonne triphasique à condenseur total avec décanteur

**Stripper à condenseur total**

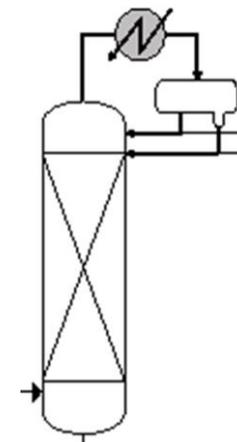
Permet de simuler le fonctionnement d'un procédé de séparation liquide-vapeur multiétagé, mettant en jeu un transfert de matière entre une phase liquide et une phase vapeur à contre courant à l'aide d'une colonne muni d'un condenseur total et sans rebouilleur. Dans le cas d'une colonne à condenseur total au moins une alimentation vapeur en pied de colonne, un distillat liquide et un résidu liquide sont requis. Des soutirages et/ou des alimentations intermédiaires liquides ou vapeurs ainsi que des quantités de chaleurs échangées avec le milieu extérieur peuvent être spécifiés à chaque étage. Le modèle est basé sur le concept d'étage théorique avec la possibilité d'introduire des efficacités de Murphree. Le dimensionnement ou la vérification hydrodynamique du fonctionnement de la colonne sont possibles pour tous types de garnissages ainsi que de nombreux types de plateaux. Il est possible de spécifier que tout ou partie de la colonne est réactive.



Stripper avec condenseur total

**Stripper avec décanteur et condenseur total**

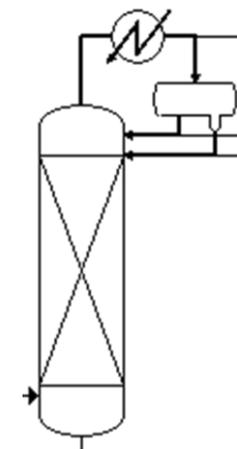
Le module Stripper avec décanteur et condenseur total doit être utilisé avec un modèle de type Eau-Hydrocarbure. Il permet de prendre en considération une démixtion entre une phase hydrocarbure saturée en eau et une phase pure en eau. Au décanteur, la phase eau pure est soutirée totalement.



Stripper avec décanteur et condenseur total

**Stripper avec décanteur et condenseur partiel**

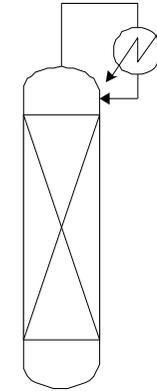
Le module Stripper avec décanteur et condenseur partiel doit être utilisé avec un modèle de type Eau-Hydrocarbure. Il permet de prendre en considération une démixtion entre une phase hydrocarbure saturée en eau et une phase pure en eau. Au décanteur, la phase eau pure est soutirée totalement.



Stripper avec décanteur et condenseur partiel

**Stripper à condenseur partiel**

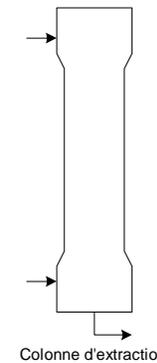
Permet de simuler le fonctionnement d'un procédé de séparation liquide-vapeur multiétagé, mettant en jeu un transfert de matière entre une phase liquide et une phase vapeur à contre courant à l'aide d'une colonne muni d'un condenseur partiel et sans rebouilleur. Dans le cas d'une colonne à condenseur partiel au moins une alimentation vapeur en pied de colonne, un distillat vapeur et un résidu liquide sont requis. Des soutirages et/ou des alimentations intermédiaires liquides ou vapeurs ainsi que des quantités de chaleurs échangées avec le milieu extérieur peuvent être spécifiés à chaque étage. Le modèle est basé sur le concept d'étage théorique avec la possibilité d'introduire des efficacités de Murphree. Le dimensionnement ou la vérification hydrodynamique du fonctionnement de la colonne sont possibles pour tous types de garnissages ainsi que de nombreux types de plateaux. Il est possible de spécifier que tout ou partie de la colonne est réactive.



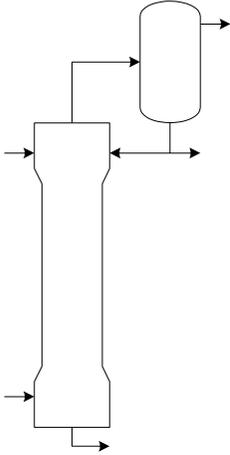
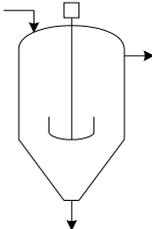
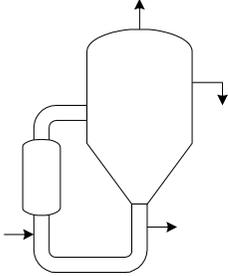
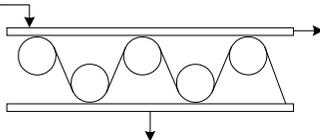
Stripper à condenseur partiel

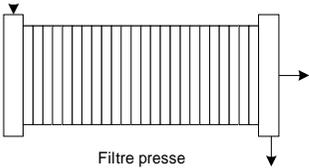
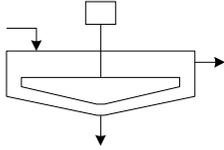
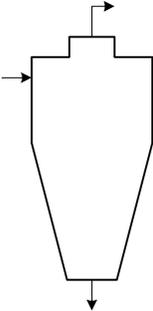
**Extraction liquide-liquide**

Permet de simuler le fonctionnement d'un procédé d'extraction liquide-liquide multiétagé, mettant en jeu un transfert de matière entre deux phases liquides à contre courant. Deux alimentations dont le solvant, un produit extrait et un produit raffinat sont requis. Chaque étage peut comporter une alimentation, un soutirage "extrait" et un soutirage "raffinat". Le modèle est basé sur l'hypothèse de l'étage théorique. Pour le calcul des équilibres liquide-liquide, les constantes de partage entre les phases "extrait" et "raffinat" peuvent être calculées par le modèle thermodynamique choisi, ou fournies par l'utilisateur.

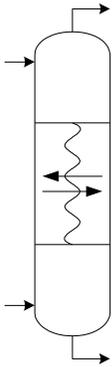
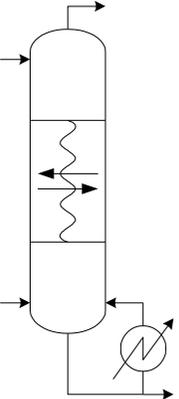


Colonne d'extraction

<p><b>Extraction liquide-liquide avec reflux</b></p>	<p>Permet de simuler le fonctionnement d'un procédé d'extraction liquide-liquide multiétagé, mettant en jeu un transfert de matière entre deux phases liquides à contre courant. Dans ce cas, le premier étage est remplacé par un étage dit de reflux. Son rôle est de représenter le fonctionnement d'une colonne de distillation qui permettrait d'obtenir une séparation donnée de l'extrait issu de la colonne d'extraction proprement dite, de manière à régénérer le solvant. Deux alimentations dont le solvant, un produit extrait, un produit raffiné et un produit récupération solvant sont requis. Chaque étage peut comporter une alimentation, un soutirage extrait et un soutirage raffiné. Le modèle est basé sur l'hypothèse de l'étage théorique. Pour le calcul des équilibres liquide-liquide, les constantes de partage entre les phases "extrait" et "raffiné" peuvent être calculées par le modèle thermodynamique choisi, ou fournies par l'utilisateur.</p>	 <p>Colonne d'extraction avec reflux</p>
<p><b>Cristalliseur liquide-solide</b></p>	<p>Permet de représenter tout appareil de séparation entre une phase solide et une phase liquide pour lequel il peut être considéré que l'équilibre thermodynamique est atteint. De plus, il est possible de définir un certain nombre de paramètres susceptibles de prendre en compte un écart par rapport à l'équilibre thermodynamique dans le fonctionnement de l'appareil. Ce module peut également être utilisé pour calculer uniquement le niveau de saturation de la solution étudié.</p>	 <p>Cristalliseur liquide-solide</p>
<p><b>Evaporateur-cristalliseur</b></p>	<p>Permet de représenter tout appareil de séparation entre une phase solide, une phase liquide et une phase gaz pour lequel il peut être considéré que l'équilibre thermodynamique est atteint. De plus, il est possible de définir un certain nombre de paramètres susceptibles de prendre en compte un écart par rapport à l'équilibre thermodynamique dans le fonctionnement de l'appareil. Ce module peut également être utilisé pour calculer uniquement le niveau de saturation de la solution étudié.</p>	 <p>Evaporateur-Cristalliseur</p>
<p><b>Filtre à bande</b></p>	<p>Permet de simuler le fonctionnement d'un filtre à bande pour effectuer une séparation liquide-solide. Le calcul est effectué à partir de la connaissance de l'humidité du gâteau en sortie de l'appareil, de la fraction de solide dans le filtrat et du taux de coupure des différents solides présents dans le mélange. Le filtre est alimenté par une suspension ainsi qu'éventuellement par une eau de lavage de la toile et une eau de lavage de la boîte à vide. En sortie on récupère un filtrat et une phase solide.</p>	 <p>Filtre à bande</p>

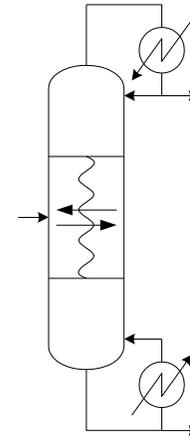
<p><b>Filtre presse</b></p>	<p>Permet de simuler le fonctionnement d'un filtre presse pour effectuer une séparation liquide-solide. Le calcul est effectué à partir de la connaissance de l'humidité du gâteau en sortie de l'appareil et de la fraction de solide dans les eaux mères sortant du filtre. Le filtre est alimenté par une suspension. En sortie on récupère un filtrat et une phase solide.</p>	 <p>Filtre presse</p>
<p><b>Clarificateur</b></p>	<p>Permet de simuler le fonctionnement d'un clarificateur pour effectuer une séparation liquide-solide. Le calcul est effectué à partir de la connaissance de la fraction de solide dans les boues et les eaux clarifiées en sortie de l'appareil. Le clarificateur est alimenté par une suspension. En sortie on récupère des eaux clarifiées et des boues.</p>	 <p>Clarificateur</p>
<p><b>Hydrocyclone</b></p>	<p>Permet de simuler le fonctionnement d'un hydrocyclone pour effectuer une séparation liquide-solide. Le calcul est effectué à partir de la connaissance de la fraction de solide dans la surverse et dans la sousverse. Un calcul par constituant est également possible à partir des taux de coupure de n-1 constituants. L'hydrocyclone est alimenté par une suspension. En sortie on récupère une surverse appauvrie en solide et une sousverse riche en phase solide.</p>	 <p>Hydrocyclone</p>

## OPTION MODELE DE TRANSFERT

<b>Absorbeur avec modèle de transfert (optionnel)</b>	<p>Permet de simuler le fonctionnement d'un procédé de séparation liquide-vapeur multiétagé, mettant en jeu un transfert de matière entre une phase liquide et une phase vapeur à contre courant à l'aide d'une colonne sans condenseur ni rebouilleur. Le modèle par une approche transfert de matière prend en compte l'équilibre thermodynamique à l'interface, le transfert matière et thermique entre les deux phases, ainsi que l'hydrodynamique (écoulement des fluides) dans la colonne. A la différence d'un modèle basé sur le concept d'étage théorique d'équilibre, il est possible de décrire le type d'écoulement ayant lieu (piston, parfaitement agité, ...), ainsi que le type d'interne de colonnes utilisés (plateaux, garnissage,...). La notion d'étage théorique d'équilibre est remplacée par la notion d'étage de non-équilibre. Une alimentation liquide, un soutirage vapeur en tête de colonne, une alimentation vapeur et un soutirage liquide en pied de colonne sont requis. Des soutirages et/ou des alimentations intermédiaires liquides ou vapeurs ainsi que des quantités de chaleurs échangées avec le milieu extérieur peuvent être spécifiés.</p>	 <p style="text-align: center;">Absorbeur avec modèle de transfert</p>
<b>Absorbeur-rebouilleur avec modèle de transfert (optionnel)</b>	<p>Permet de simuler le fonctionnement d'un procédé de séparation liquide-vapeur multiétagé, mettant en jeu un transfert de matière entre une phase liquide et une phase vapeur à contre courant à l'aide d'une colonne sans condenseur. Le modèle par une approche transfert de matière prend en compte l'équilibre thermodynamique à l'interface, le transfert matière et thermique entre les deux phases, ainsi que l'hydrodynamique (écoulement des fluides) dans la colonne. A la différence d'un modèle basé sur le concept d'étage théorique d'équilibre, il est possible de décrire le type d'écoulement ayant lieu (piston, parfaitement agité, ...), ainsi que le type d'interne de colonnes utilisés (plateaux, garnissage,...). La notion d'étage théorique d'équilibre est remplacée par la notion d'étage de non-équilibre. Une alimentation liquide et un soutirage vapeur en tête de colonne et un résidu sont requis. Des soutirages et/ou des alimentations intermédiaires liquides ou vapeurs ainsi que des quantités de chaleurs échangées avec le milieu extérieur peuvent être spécifiés.</p>	 <p style="text-align: center;">Absorbeur-rebouilleur avec modèle de transfert</p>

**Distillation à condenseur partiel avec modèle de transfert (optionnel)**

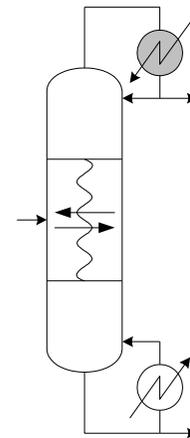
Permet de simuler le fonctionnement d'un procédé de séparation liquide-vapeur multiétagé, mettant en jeu un transfert de matière entre une phase liquide et une phase vapeur à contre courant à l'aide d'une colonne munie d'un condenseur partiel et d'un rebouilleur. Le modèle par une approche transfert de matière prend en compte l'équilibre thermodynamique à l'interface, le transfert matière et thermique entre les deux phases, ainsi que l'hydrodynamique (écoulement des fluides) dans la colonne. A la différence d'un modèle basé sur le concept d'étage théorique d'équilibre, il est possible de décrire le type d'écoulement ayant lieu (piston, parfaitement agité, ...), ainsi que le type d'interne de colonnes utilisées (plateaux, garnissage,...). La notion d'étage théorique d'équilibre est remplacée par la notion d'étage de non-équilibre. Une alimentation et au moins un distillat vapeur et un résidu liquide sont requis. Des soutirages et/ou des alimentations intermédiaires liquides ou vapeurs ainsi que des quantités de chaleurs échangées avec le milieu extérieur peuvent être spécifiés.



Colonne à distiller avec modèle de transfert à condenseur partiel

**Distillation à condenseur total avec modèle de transfert (optionnel)**

Permet de simuler le fonctionnement d'un procédé de séparation liquide-vapeur multiétagé, mettant en jeu un transfert de matière entre une phase liquide et une phase vapeur à contre courant à l'aide d'une colonne munie d'un condenseur total et d'un rebouilleur. Le modèle par une approche transfert de matière prend en compte l'équilibre thermodynamique à l'interface, le transfert matière et thermique entre les deux phases, ainsi que l'hydrodynamique (écoulement des fluides) dans la colonne. A la différence d'un modèle basé sur le concept d'étage théorique d'équilibre, il est possible de décrire le type d'écoulement ayant lieu (piston, parfaitement agité, ...), ainsi que le type d'interne de colonnes utilisées (plateaux, garnissage,...). La notion d'étage théorique d'équilibre est remplacée par la notion d'étage de non-équilibre. Une alimentation et au moins un distillat liquide et un résidu liquide sont requis. Des soutirages et/ou des alimentations intermédiaires liquides ou vapeurs ainsi que des quantités de chaleurs échangées avec le milieu extérieur peuvent être spécifiés.



Colonne à distiller avec modèle de transfert à condenseur total