



Chapitre I : Généralités

I-1- Introduction

La Conception Assistée par Ordinateur « CAO », (en anglais : Computer-Aided Design « CAD ») est utilisée en génie des procédés pour faciliter le développement, la modification et l'optimisation du processus de conception. Les systèmes de CAO peuvent être utilisés pour la conception et l'analyse des processus, par exemple pour la définition des types d'équipements et la manière dont ils sont connectés entre eux. Les logiciels de CAO peuvent être utilisés pour créer des dessins en deux dimensions (2-D) ou des modèles en trois dimensions (3-D), qui peuvent être utilisés à des fins de visualisation et de collaboration. Les logiciels de CAO peuvent également être utilisés pour simuler et analyser des processus, par exemple pour calculer le flux de matériaux et d'énergie, prévoir l'impact environnemental et optimiser l'aménagement de l'usine.

La simulation est le processus d'utilisation d'un modèle pour étudier les performances d'un système. Les modèles de simulation se composent d'entités système, de variables d'entrée, de mesures de performance et de relations fonctionnelles. Il est utilisé pour étudier la structure interne d'un système complexe tel que le système chimique, le travail des usines, optimiser la conception du système, tester de nouvelles conceptions et politiques, et vérifier des solutions analytiques... etc.

La simulation de processus est utilisée pour la conception, le développement, l'analyse et l'optimisation de processus techniques tels que les usines chimiques, les processus chimiques, les systèmes environnementaux, les centrales électriques, les opérations de fabrication complexes, les processus biologiques et les fonctions techniques similaires. Cela implique l'utilisation de logiciels de simulation de processus commerciaux tels que CHEMCAD et CCTherm, Aspen et HYSYS.

D'autre part, la simulation de processus est utilisée pour gagner du temps d'ingénierie sur les projets, améliorer la conception des processus, augmenter l'efficacité de l'usine, réduire les déchets et concevoir des processus, des produits et des usines durables. Les ingénieurs en simulation de processus exploitent les méthodes de simulation et donnent accès aux principaux outils et processus de



simulation. La tâche finale de l'ingénieur est de s'assurer de l'exactitude des simulations de processus.

Ensuite, comme moyen d'obtenir un outil de simulation ou de CAO, seuls quelques matériaux sont nécessaires, représentés dans un ordinateur quel que soit son type et ses composants, en plus d'un logiciel capable d'effectuer des tâches de conception. La figure suivante montre les outils de base nécessaires pour obtenir un outil de simulation.

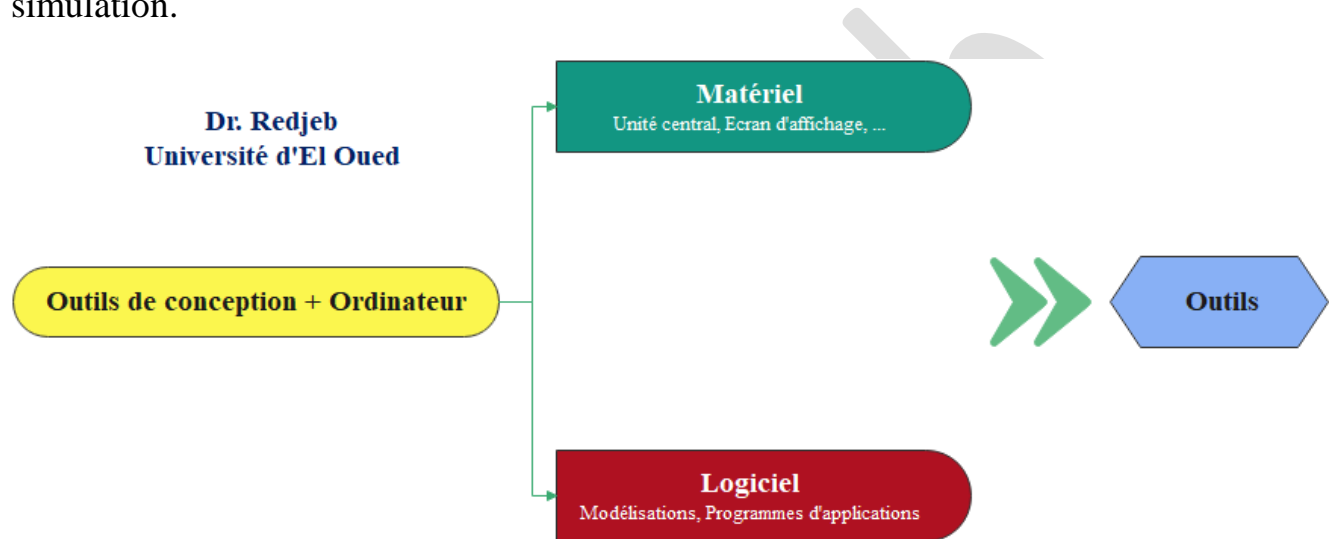


Figure 1. Composants Matériels et logiciels de la simulation

En génie des procédés, on peut dire que la CAO regroupe de nombreux simulateurs qui vont de la spécialisation à des simulateurs de procédés robustes et performants, parmi lesquels : Aspen plus, Hysys, Chemcad, Prosim, etc. Grâce à la CAO, des simulations virtuelles peut être réalisées avant de réaliser ou d'appliquer un procédé.

I-2- Simulation et modélisation

La simulation et la modélisation sont deux concepts étroitement liés qui sont utilisés dans de nombreux domaines d'études différents. La simulation est une méthode de création d'un monde virtuel dans lequel des expériences peuvent être menées et les résultats peuvent être extrapolés. Il est souvent utilisé pour étudier le comportement des systèmes et des processus dans différentes conditions. La modélisation, quant à elle, est le processus de création d'une représentation mathématique d'un système ou d'un phénomène afin de mieux comprendre et



prédire son comportement.

Plus en détail, la modélisation numérique est une technique utilisée pour simuler et analyser des phénomènes physiques à l'aide d'équations mathématiques. Il permet de développer des prédictions plus précises sur le comportement d'un système que des méthodes plus simples, telles que l'utilisation d'expériences physiques ou de calculs analytiques. Les modèles numériques peuvent être utilisés pour étudier les effets des changements dans un système, pour quantifier les effets de la variation des entrées et des paramètres, ou pour examiner l'impact du caractère aléatoire et de l'incertitude. Les modèles numériques peuvent être appliqués dans une variété de domaines tels que l'ingénierie, la physique, les systèmes financiers, la biologie et l'économie. En décomposant des phénomènes physiques complexes en équations mathématiques plus simples.

D'un autre côté, la simulation est particulièrement utile dans les situations où le comportement d'un système est trop complexe pour être prédit avec précision, tandis que la modélisation est plus utile lorsque le comportement d'un système est assez prévisible et bien compris. L'un des avantages de la simulation est qu'elle permet de tester un système dans un environnement virtuel, ce qui peut être inestimable pour comprendre un système et ses risques et impacts potentiels. La modélisation, en revanche, est souvent utilisée pour mieux comprendre les mathématiques sous-jacentes d'un système.

I-3- Importance de la simulation

Au cours des dernières décennies, l'ordinateur a permis de remplacer le dessin et la conception industriels traditionnels grâce à l'utilisation de méthodes inventées appelées conception assistée par ordinateur. Par le biais du CAO et de la simulation, chaque application du génie des procédés commence par une description générale du problème physique, dans laquelle elle est ensuite placée dans un contexte mathématique afin que l'ordinateur puisse les représenter.

La simulation de processus est un outil important pour le génie des procédés car elle permet aux ingénieurs de modéliser virtuellement les processus dans les moindres détails, de visualiser les paramètres pertinents et de comparer les alternatives pour justifier le coût de la fabrication et des processus liés à la



fabrication. La simulation est essentielle dans le monde moderne, car elle peut fournir un aperçu et une compréhension qui ne seraient pas facilement réalisables par les méthodes traditionnelles. La simulation permet également aux ingénieurs d'explorer toutes les options de processus et de déterminer celles qui ne conviennent pas au résultat souhaité. De plus, les simulateurs de processus deviennent un outil de base dans les programmes de génie des procédés, permettant aux étudiants de mieux comprendre les processus impliqués.

I-4- Activités de la conception et de la simulation

Selon la littérature, on peut distinguer trois activités principales différentes qui peuvent être utilisées par le designer afin de réaliser sa conception et sa simulation, elles sont listées comme suit :

- **Outils analytiques** : où il doit utiliser des formules empiriques et des équations issues de modèles mathématiques lors de la création d'un modèle, ou lors de son analyse, ou de ses modifications.
- **Information** : il est nécessaire d'identifier les différentes propriétés et caractéristiques du modèle, dans lequel ce type d'informations est nécessaire pour compléter la conception de manière correcte.
- **Communication** : où le concepteur doit communiquer ou dédier les résultats de son travail pour passer aux phases suivantes. A titre d'exemple, il doit communiquer les résultats de son modèle primaire et son calcul pour effectuer certaines modifications en fonction de conceptions antérieures ou de résultats prédéfinis.

I-5- Nécessité de la simulation

En fait, la simulation est aujourd'hui très importante, dans laquelle elle peut être utilisée comme mentionné précédemment dans divers domaines en raison de sa faisabilité, les points suivants expliquent quelques raisons pour lesquelles la simulation devrait être utilisée dans presque tous les domaines :



- **Augmenter la productivité** : aide le concepteur à visualiser le produit avant sa production réelle « Simulation », dans laquelle il peut effectuer les modifications nécessaires et optimiser le temps de production ainsi que les coûts associés.
- **Améliorer la qualité de la conception** : comme mentionné précédemment, grâce à l'utilisation de la simulation, il est possible de réaliser des modèles primaires et d'apporter des modifications pour garantir la limitation des erreurs de conception, en effectuant l'analyse nécessaire en utilisant le logiciel nécessaire comme moyen pour améliorer la qualité et la précision de la conception.
- **Améliorer les communications** : dans lequel l'utilisation du système de CAO fournit de meilleurs dessins techniques, une plus grande normalisation des dessins, une meilleure documentation de conception, moins d'erreurs de dessin et une lisibilité élevée des dessins.
- **Créer une base de données** : grâce à la collecte des résultats précédents et à l'utilisation des expériences partagées, il est possible de créer une base de données contenant de nombreuses informations qui aident à l'amélioration des modèles en commençant par un point avancé et non depuis le début.

I-6- Avantages de l'utilisation de la simulation

Il est clair que l'utilisation de la simulation en génie des procédés présente de nombreux avantages, notamment; la réduction des itérations de conception, l'amélioration de la formation et de l'éducation des opérateurs, des tests de scénarios complets, des économies de temps et d'argent, la réduction des erreurs humaines, de meilleures conceptions, l'optimisation de l'utilisation des ressources et la capacité d'explorer les questions "et si" et des scénarios sans avoir à expérimenter sur le système lui-même. Il permet également aux entreprises d'innover rapidement, de valider des conceptions et d'améliorer les temps de cycle.



La figure suivante rassemble quelques-uns des avantages communs de l'utilisation de la simulation.

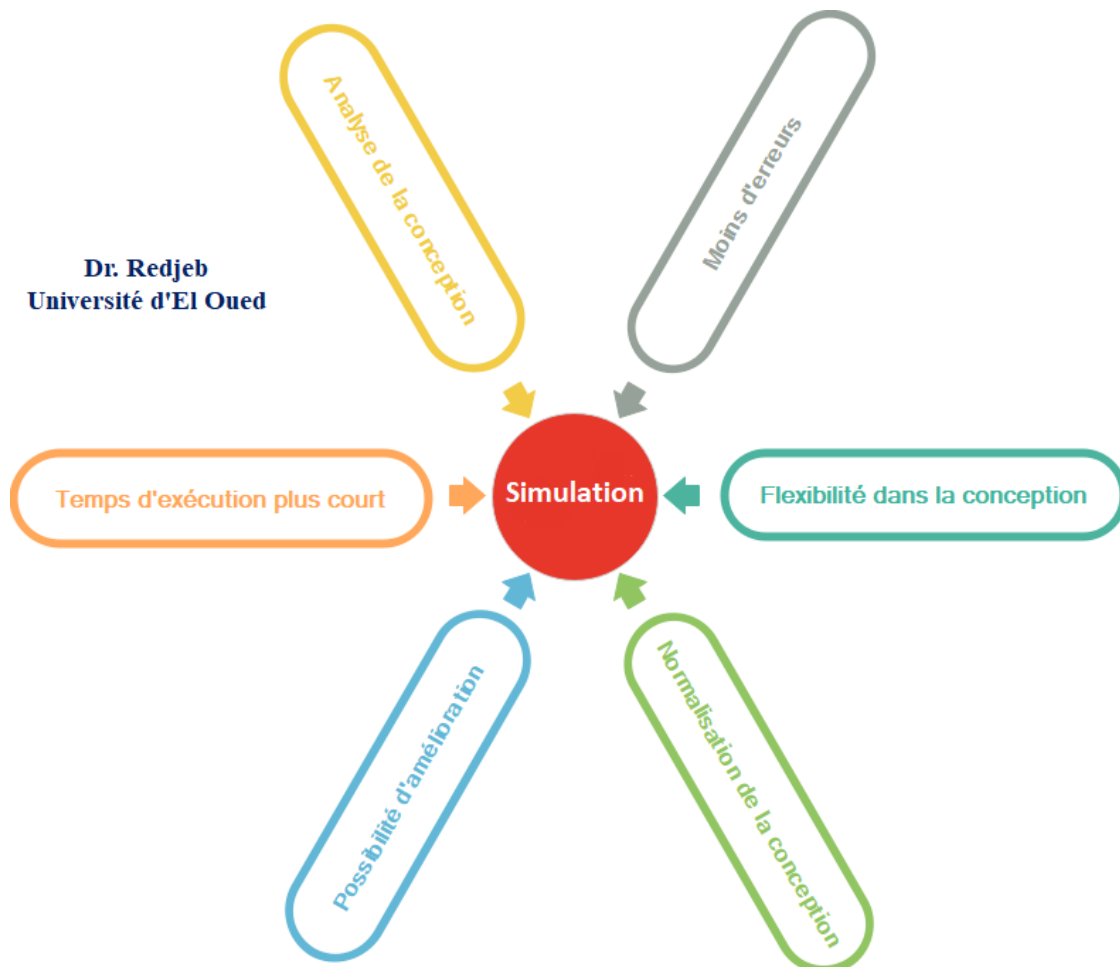


Figure 2. Avantages de l'utilisation de CAO

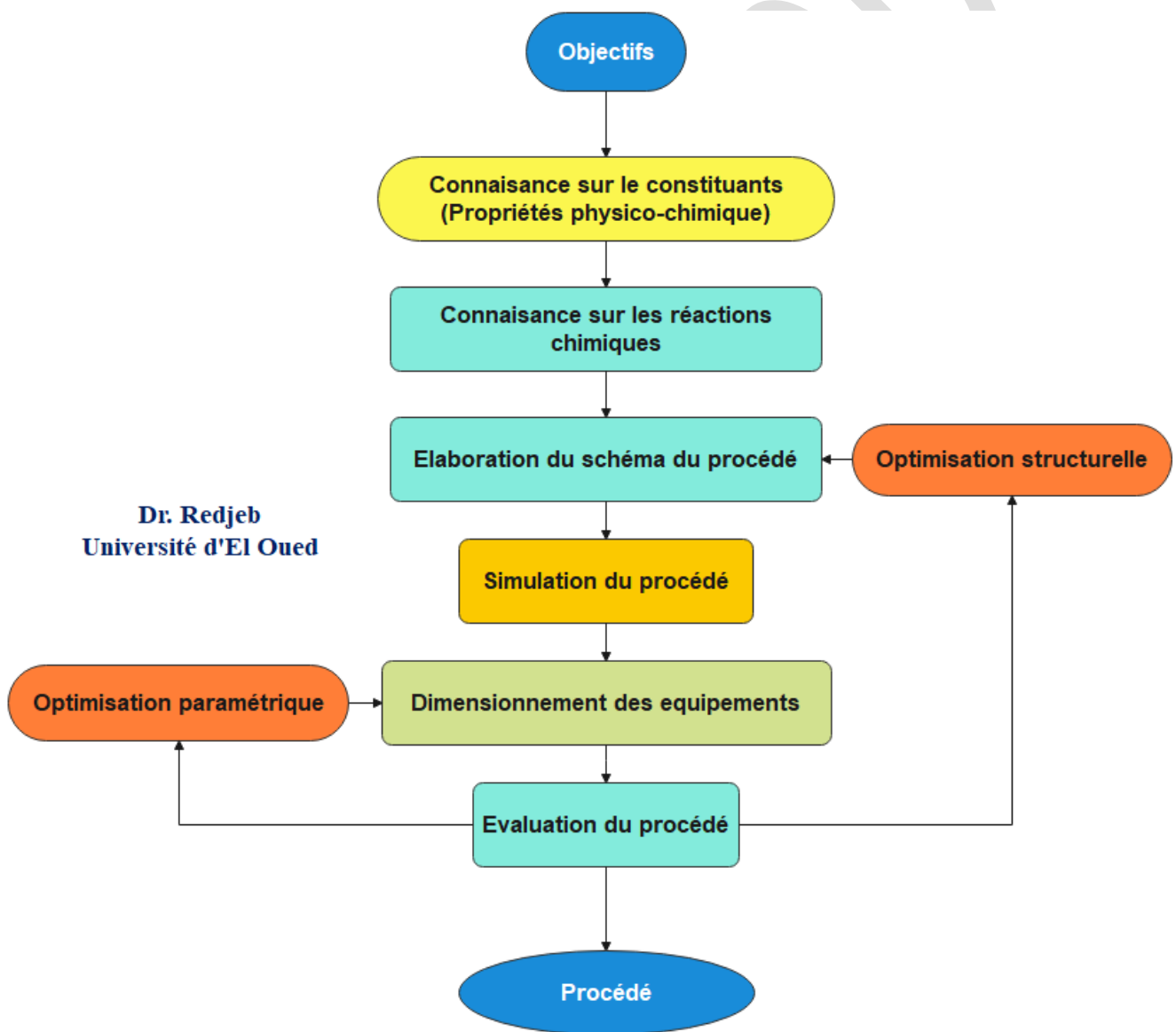
I-7- La simulation dans le génie des procédés

Étant donné que le domaine de le génie des procédés se caractérise par le traitement des procédés, il est nécessaire d'employer les logiciels de simulation afin de simplifier les processus et de faire des pré-tests et également d'apporter des améliorations aux usines existantes, ceci en plus que la simulation donne aux ingénieurs le possibilité d'effectuer l'analyse et la modification nécessaires avant de l'appliquer sur les installations, par conséquent, la simulation est d'une grande importance dans ce domaine également, et le technicien ou l'ingénieur diplômé dans ce domaine doit connaître au moins les connaissances de base.



Cependant, dans les domaines du génie des procédés, il est nécessaire de définir clairement les objectifs à atteindre et de réaliser des études préalables telles que l'acquisition de connaissances sur les constituants (physico- propriétés chimiques, équilibre entre les phases, cinétique de réaction, etc.). Ensuite, le processus de conception d'un procédé ou d'un dispositif comprend 3 étapes principales représentées par : la synthèse, l'analyse, l'optimisation. Dans lequel le processus de conception doit se dérouler en fonction des objectifs souhaités et prédéfinis.

La figure suivante illustre un organigramme typique pour les différentes étapes de la simulation.



Dr. Redjeb
Université d'El Oued



Figure 3. Les différentes étapes de la simulation

I-8- Logiciels de la simulation

Le logiciel de simulation est un outil inestimable pour les ingénieurs de procédés, leur permettant d'exécuter divers modèles et simulations de leurs procédés, de tester différents paramètres et d'optimiser les performances. Le logiciel de simulation peut être utilisé pour une variété de tâches, y compris la conception et l'optimisation des processus, la prévision de la sortie et le dépannage pour une efficacité maximale. Le logiciel de simulation offre un large éventail de fonctionnalités telles que la visualisation 3D, la simulation dynamique, la modélisation analytique, les techniques d'optimisation et les interfaces utilisateur graphiques. Il peut simuler des processus complexes dans différentes industries et peut être utilisé pour suivre les performances de plusieurs composants en même temps. Les logiciels de simulation peuvent également être utilisés pour identifier les problèmes potentiels et suggérer des solutions, permettant aux ingénieurs de processus de prendre des décisions éclairées et de maximiser l'efficacité de leurs processus.

En fait, il existe une grande variété de logiciels dans lesquels ils sont utilisés dans les approches de simulation, mais parmi eux, il existe de nombreux ensembles dans lesquels ils se caractérisent par un objectif spécifique tel que la simulation des processus, ou la conception des dispositifs etc., selon le domaine d'application.

La même chose, en ce qui concerne les logiciels de simulation susceptibles d'être utilisés dans le génie des procédés, il existe une grande variété de ces logiciels, dans lesquels chacun d'eux se caractérise par des spécificités par rapport aux autres, et aussi, ils peuvent être orientés pour des calculs ou des simulations spécifiques, parmi ces logiciels les suivants :

Logiciels commerciaux

- Aspen Hysys
- Aspen Plus
- Chemcad



- Design II
- Ideas
- Indiss
- Prosim



Figure 4. Logiciels commerciaux

Logiciels libres (Open source)

- DWSIM
- COCO
- ASCEND



Figure 5. Logiciels open source

1-8-1- Modes de fonctionnement des simulateurs

En ce qui concerne le mode de fonctionnement, on peut distinguer deux modes différents qui sont :

- **Simulation statique (Steady state)**

D'après son nom, il est clair que ce mode signifie que la simulation d'un système est en équilibre statique ; où ses variables d'état ne changent plus. Ainsi, la simulation statique d'un procédé vise à définir les propriétés des écoulements (débit, température, fraction vaporisée, etc.), ainsi que les bilans matière et énergétique en régime établi, en employant différents blocs représentant les différentes opérations unitaires implémenté dans le simulateur.

- **Simulation dynamique**

La simulation dynamique (ou simulation de système dynamique) est l'utilisation d'un programme informatique pour modéliser le comportement variable dans le temps d'un système dynamique. Les systèmes sont généralement décrits par des équations différentielles ordinaires ou des équations aux dérivées partielles.

Ainsi, ce mode de simulation vise à définir les propriétés des courants en fonction du temps, lors de situations transitoires où le régime n'est pas stable. Autrement dit:



permettre d'évaluer les variables dans le temps à partir de la résolution de systèmes d'équations différentielles.

1-8-2- Approches conceptuelles de la simulation

Selon les approches conceptuelles de la simulation, deux approches différentes peuvent être distinguées : la première se réfère à l'approche "orientée module" (OM) et la seconde est l'approche "orientée équation" (OE).

La première approche "**approche orientée module**" est l'approche la plus largement utilisée et adoptée par la majorité des simulateurs commerciaux tels que Aspen Plus, Aspen HYSYS, Chemcad, Pro/II, ProSimPlus, DW Sim. Dans cette approche, l'élément de base pour construire le modèle de processus est le modèle de fonctionnement unitaire appelé "module". C'est l'agencement d'opérations unitaires dédiées à une fonction spécifique comme la réaction ou la séparation.

D'autre part, pour la deuxième approche "**approche orientée équation**", les simulateurs OE dont Aspen Dynamics, gPROMS et autres, sont spécifiquement dédiés à la simulation dynamique des procédés. Ces simulateurs apparaissent avant tout comme des solveurs de systèmes d'équations algébriques et différentielles.

I-9- Eléments constitutifs d'un simulateur de procédés

Presque tous les simulateurs existants sont composés de plusieurs composants, dont un modèle de processus, un moteur de simulation, un référentiel de données et des éléments d'interface utilisateur.

Le modèle de processus est le « cœur » du simulateur de processus, fournissant une représentation précise du comportement du système. Il est composé d'équations et d'algorithmes qui modélisent la dynamique du système, telles que ses propriétés physiques, ses entrées et sorties, et son comportement dans le temps.

Le moteur de simulation utilise le modèle de processus pour générer un environnement virtuel, où l'utilisateur peut observer le comportement du système et interagir avec lui. Cela se fait à l'aide de mathématiques avancées et d'infographie, permettant à l'utilisateur de modifier les paramètres du système et d'observer les effets.



Le référentiel de données est une bibliothèque de données utilisée par le moteur de simulation pour générer l'environnement virtuel. Il comprend des informations sur les propriétés physiques du système, telles que les propriétés des matériaux et les constantes physiques, ainsi que des informations sur les entrées et les sorties du système.

Les éléments de l'interface utilisateur sont les outils utilisés par l'utilisateur pour interagir avec le système. Ceux-ci incluent des panneaux de contrôle, des dispositifs d'entrée/sortie et des affichages graphiques qui permettent à l'utilisateur de modifier les paramètres du système et d'observer les effets.

Dans notre cas, le logiciel que nous avons adopté dans ce cours est l'Aspen Hysys, en raison de ses hautes performances et caractéristiques et de la possibilité de l'employer dans diverses applications spécifiques en particulier dans ce domaine, telles que la conception et la simulation des dispositifs comme colonnes, échangeurs de chaleur, pompes et autres, ainsi que la construction des différents procédés.

I-10- Présentation du logiciel Aspen Hysys

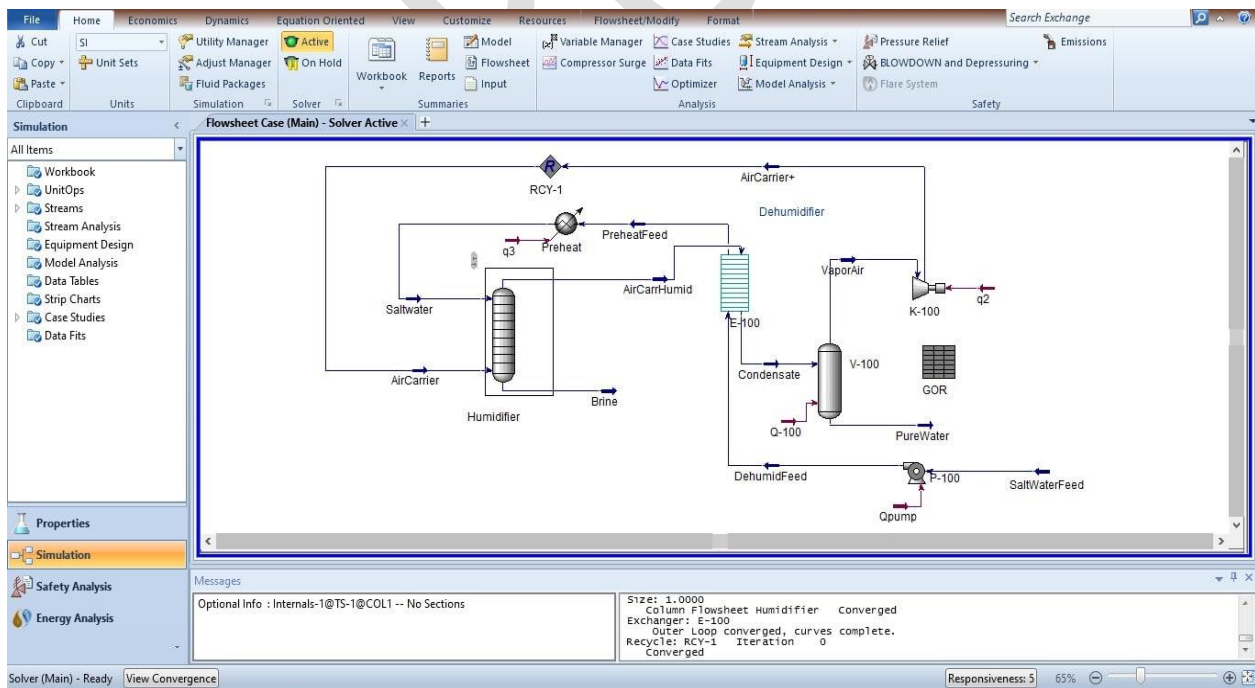


Figure 4. Interface du logiciel Aspen HYSYS



Aspen Hysys est un puissant logiciel de modélisation de processus utilisé pour simuler les performances de systèmes de processus complexes. Il peut être utilisé pour un large éventail d'applications telles que la conception, l'optimisation, la gestion et le contrôle d'usines chimiques et pétrochimiques. Il est également utilisé pour déterminer les paramètres de processus et pour effectuer des simulations de processus.

➤ **Avantages du logiciel Aspen Hysys**

Hysys offre aux utilisateurs une variété d'avantages, dont les suivants :

- Analyse rapide et précise des données de processus
- Facile à apprendre et à utiliser avec une interface conviviale
- Variété d'outils et de fonctionnalités intégrés utiles
- Haut degré de précision dans les simulations de processus
- Capacité à simuler des processus complexes et leurs interactions
- Capacité à optimiser les performances des usines
- Bibliothèque complète de matériaux, composants et propriétés
- Plusieurs options pour la saisie et la sortie de données
- Capacité à optimiser les coûts et les performances des processus

➤ **Caractéristiques du logiciel Aspen Hysys**

Hysys offre aux utilisateurs une grande variété de fonctionnalités qui en font l'un des logiciels de simulation de processus les plus avancés.

- Capacité à simuler des procédés chimiques, pétrochimiques et gaziers
- Comprend des calculs thermodynamiques, cinétiques et réactifs
- Flux formulés automatiquement et avec précision



- Compatibilité totale avec Microsoft et d'autres logiciels
- Base de données de composants avec propriétés et paramètres physiques et chimiques
- Enregistrez et comparez différents modèles pour l'optimisation
- Possibilité d'importer/exporter des résultats dans différents formats de fichiers
- Possibilité de personnaliser le logiciel pour chaque utilisateur
- En savoir plus sur ce texte source.

➤ Applications du logiciel Aspen Hysys

Aspen Hysys est utilisé dans un large éventail d'applications, depuis la conception et l'optimisation des processus jusqu'à leur gestion et leur contrôle. Ceci comprend:

Concevoir et optimiser les opérations de l'usine, des systèmes à petite échelle aux systèmes à grande échelle

- Effectuer des simulations de processus et déterminer les paramètres de processus
- Concevoir et optimiser des unités de séparation et de distillation
- Détermination des propriétés physiques et des paramètres thermodynamiques
- Dépannage et identification des goulots d'étranglement
- Concevoir et contrôler des systèmes de pile à combustible
- Optimisation des performances et des coûts des processus
- Conception et optimisation de stations d'épuration



Références

Patrick BLAIN, CAO et méthodologie de conception, Technique de l'ingénieur, B2810 v1, août 1990.

Alexandre C. Dimian, Costin Sorin Bildea, Chemical Process Design: Computer-Aided Case Studies, John Wiley & Sons, Apr 2008 - 527 pages.

Computer-aided Industrial Process Design: The ASPEN Project: Functional Specifications for ASPEN, Sixth Quarterly Progress Report, Department of Chemical Engineering and Energy Laboratory, Massachusetts Institute of Technology Cambridge.

Juma Haydary, Chemical Process Design and Simulation: Aspen Plus and Aspen Hysys Applications, Willey, ISBN: 978-1-119-08911-7, January 2019, 448 Pages.

Pour les autres chapitres ou plus d'informations, merci d'utiliser le code QR

