



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
وزارة التعليم العالي والبحث
جامعة وهران للعلوم والتكنولوجيا محمد بوضياف

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université des Sciences et de la Technologie d'Oran Mohamed
BOUDIAF Faculté : de Génie Mécanique
Département de Génie Maritime

Polycopié pédagogique

Titre : **Métiers en sciences et en technologie (MST1)**

Présenté par : Dr. Remili Sadia

Cours destiné aux étudiants de :
Première années LMD Génie Maritime

Année Universitaire 2024/ 2025

Avant-propos :

Le présent polycopié s'inscrit dans le cadre du cours Métiers en Sciences et en Technologie (MST1), destiné aux étudiants de première année du parcours LMD en Génie Maritime. Ce cours a pour vocation d'offrir une vision globale et éclairée des multiples domaines scientifiques et techniques qui structurent l'ingénierie moderne, avec un accent particulier sur ceux en lien avec le milieu maritime.

En découvrant les métiers, les compétences, les outils et les technologies qui façonnent le monde industriel et scientifique, les étudiants pourront mieux comprendre les enjeux actuels de leur formation et les perspectives qu'elle ouvre. Le cours leur permet d'explorer les divers débouchés possibles dans les secteurs de la construction navale, de l'automatique, de l'informatique industrielle, du génie des procédés, du génie minier, ou encore des systèmes embarqués et capteurs intelligents.

Il s'agit également d'un outil de réflexion, qui les aidera à faire des choix éclairés pour leur parcours académique, à identifier leurs affinités, et à construire progressivement un projet professionnel cohérent et motivant.

Que ce document puisse accompagner utilement nos étudiants dans cette première étape de leur formation et nourrir leur curiosité pour les métiers passionnants du génie maritime et des technologies associées.

" Au fil des années consacrées à l'enseignement de ce cours, j'ai eu la profonde satisfaction de contribuer, à ma modeste échelle, à orienter les étudiants dans le choix de leur parcours. Je formule l'espoir que mon apport leur a été bénéfique".

Table des matières

Avant-propos

Introduction	1
---------------------------	---

Chapitre I : Métier de l'électronique, électrotechnique, systèmes de communication et nouvelles technologies de capteurs

1. Industrie de l'électronique et l'électrotechnique	2
1.1. Industrie de l'électronique.....	2
1.1.1. Définition.....	2
1.1.2. Rôle des circuits et fonctionnalité.....	2
1.1.3. Principaux composants électroniques	2
1.2. Industrie de l'électrotechnique.. ..	3
1.2.1. Définition.....	3
1.2.2. Principe de l'électrotechnique	4
1.2.3. Traitement	4
1.3. Instrumentation et microsystèmes.	4
1.4. Instrumentation.....	4
1.4.1. Définition.....	4
1.4.2. Domaine d'application.....	5
1.4.3. Chaîne d'instrumentation.....	5
1.4.3.1. Capteurs.....	5
1.4.3.2. Conditionneur	7
1.4.3.3. Exploitation.....	7
2. Microsystèmes	8
2.1.1. Définition.....	8
2.1.2. Exemples des microsystèmes.....	8
3. Avancées technologiques en électronique, télécommunications et technologie des capteurs	9
3.1. Définition.....	9
3.2. Exemples des innovations technologiques.....	10
3.2.1. Domotique.....	10
3.2.2. Téléphonie mobile.....	11
3.2.3. Contrôle non destructif (CND).....	11
3.2.4. Imagerie ultrasonore.....	12
3.2.5. Vidéosurveillance.....	13
3.2.6. Sécurité des transports.....	13

Chapitre II : Métiers de l'automatique et de l'informatique industrielle

1. Historique de l'automatique et de l'informatique industrielle.....	14
2. Applications de l'informatique.....	15
3. Automate programmable industriel.....	16
4. Domaine d'application.....	17

Chapitre III : Domaine Industrielles

1. Génie des procédés

1.1. Définition.....	19
1.2. Historique.....	19
1.3. Activités d'ingénierie des procédés.....	20
1.3.1. Conception de procédés.....	20
1.3.2. Contrôle de processus.....	20
1.3.3. Opérations de processus.....	20
1.3.4. Outils de support.....	20
1.3.5. Process Economics.....	20
1.3.6. Process Data Analytics.....	20
1.4. Etapes d'un procédés industrielle.....	21
1.4.1. Approvisionnement en matières premières.....	21
1.4.2. Réaction ou transformation.....	21
1.4.3. Séparation et purification.....	21
1.4.4. Traitement final.....	21
1.4.5. Gestion des effluents et des déchets.....	21
1.4.6. Stockage et expédition.....	21
1.4.7. Exemple : Fabrication du sucre à partir de la canne à sucre.....	21
1.5. Outil du génie des procédés.....	23
1.5.1. Logiciels de simulation et de modélisation.....	23
1.5.2. Outils de dimensionnement des équipements.....	24
1.5.3. Outils d'analyse et de contrôle des procédés.....	24
1.5.4. Outils de gestion et d'optimisation.....	24
1.6. Rôle du spécialiste des procédés.....	25

2. Génie des miniers

2.1. Définition.....	25
2.2. Historique et évolution des techniques minières.....	26
2.2.1. Antiquité et Moyen Âge.....	26
2.2.2. Révolution industrielle (XVIIIe – XIXe siècle).....	26
2.2.3. XXe siècle : industrialisation et sécurité.....	26
2.2.4. XXIe siècle : automatisation et durabilité.....	26
2.3. Critères de conception des mines.....	26
2.4. Les méthodes d'exploitation minière.....	27
2.4.1. Exploitation à ciel ouvert (ou en surface).....	27
2.4.2. Exploitation souterraine.....	27
2.4.3. Méthodes particulières.....	28
2.5. Rôle de génie des miniers : Autres appellations.....	28
2.6. Environnement et sécurité minière.....	29
2.6.1. Impacts environnementaux de l'exploitation minière.....	29
2.6.2. Mesures de protection de l'environnement.....	29
Sécurité minière.....	29
2.6.3. Réglementation et normes.....	30
2.7. Outil du génie des miniers.....	30
2.7.1. Outils de prospection et d'exploration.....	30
2.7.2. Outils d'extraction.....	31
2.7.3. Outils de ventilation et sécurité.....	31
2.7.4. Outils de traitement du minerai.....	31

2.7.5. Outils numériques et logiciels.....	31
--	----

3. Hydrocarbures et industrie pétrochimiques

3.1. Différents Hydrocarbures : de la production à la commercialisation.....	31
3.1.1. Définition.....	31
3.1.2. Utilisation.....	31
3.2. Sources.....	32
3.2.1. Commercialisation.....	32
3.3. Définition de la pétrochimie ; Différents axes de la pétrochimie et produits de la pétrochimie.....	33
3.3.1. Définition.....	33
3.3.2. Axes de la pétrochimie et produits.....	33
3.3.3. Rôle des spécialistes.....	34
3.4. Outils utilisés dans le secteur des hydrocarbures et de la pétrochimie.....	34
3.4.1. Outils d'exploration et de prospection.....	34
3.4.2. Outils de forage.....	34
3.4.3. Outils de production.....	34
3.4.4. Outils de transport et stockage.....	34
3.4.5. Outils de raffinage et pétrochimie.....	35
3.4.6. Outils de contrôle et sécurité.....	35
3.4.7. Outils de simulation et de gestion.....	35
3.5. Réglementations et normes.....	35
3.5.1. Réglementations nationales.....	35
3.5.2. Normes internationales techniques.....	35
3.5.3. Normes environnementales.....	36
3.5.4. Sécurité, santé et prévention des risques.....	36
3.5.5. Réglementation du transport et du stockage.....	36

4. Hygiène et sécurité

4.1. Introduction.....	36
4.2. Axes et secteurs d'activités.....	37
4.3. Identification des risques professionnels.....	37
4.4. Hygiène en milieu du travail.....	38
4.5. Rôles du spécialiste et formation en HSE.....	39
4.6. Réglementation en matière d'hygiène et sécurité.....	40
4.6.1. Obligations de l'employeur.....	40
4.6.2. Droits et devoirs des travailleurs.....	40
4.6.3. Textes réglementaires clés.....	41
4.6.4. Contrôles et sanctions.....	41
4.7. Outils utilisés dans le secteur hygiène et sécurité.....	41
4.7.1. Outils d'analyse et d'évaluation des risques.....	41
4.7.2. Outils de gestion et de suivi.....	41
4.7.3. Outils de prévention et de communication.....	41
Conclusion.....	42
Références bibliographiques.....	43

Liste des figures :

Figure 1: Diode électroluminescente des différentes couleurs.....	6
Figure2 : Représentation graphique schématique d'items relatifs à l' habitat intelligent (version évoluée de la domotique des années 1970-1980), avec leurs relations entre eux et avec l'usage.....	11
Figure 3 : Exemple de processus de fabrication du sucre.....	22
Figure 4 : Outils du génie des procédés.....	23
Figure 5 : Principaux étapes de purification des mines.....	25
Figure 6 : Les hydrocarbures de la production à la commercialisation.....	32
Figure 7 : Produits pétrolières et pétrochimiques.....	33
Figure 8 : Axes et secteurs d'activités.....	37

Liste des tableaux :

Table 1 : Composantes électroniques passifs et actifs.....	3
Table 2 : Instruments de mesure pour les grandeurs physiques.....	4

Introduction :

Le développement des sciences et des technologies a profondément transformé les sociétés modernes, en introduisant des innovations majeures dans les domaines de la production, du transport, de l'énergie, de la santé, et bien d'autres encore. Comprendre les fondements scientifiques de ces évolutions et les métiers qui en découlent est devenu essentiel pour tout futur ingénieur ou technicien. Les métiers en sciences et en technologies jouent un rôle fondamental dans l'évolution de notre monde moderne. Ils sont au cœur des innovations qui façonnent nos sociétés et répondent aux grands enjeux de ce siècle, qu'ils soient économiques, environnementaux ou sociétaux. Parmi les secteurs les plus dynamiques figurent l'électronique, l'électrotechnique, l'automatique et l'informatique industrielle, qui sont à la base des systèmes intelligents, des réseaux d'énergie, de l'automatisation des procédés et du contrôle des installations industrielles. Ces domaines technologiques avancés permettent d'optimiser la performance, la sécurité et la durabilité des systèmes complexes.

L'impact de ces disciplines se manifeste fortement dans les secteurs industriels stratégiques comme le génie des procédés, la pétrochimie, le génie minier ou encore la sécurité industrielle. Les ingénieurs et techniciens qui y travaillent conçoivent, mettent en œuvre et supervisent des installations critiques, veillant au respect des normes de qualité, de sécurité et d'environnement. Ils sont également chargés de développer des solutions innovantes face aux défis de l'optimisation énergétique, de la gestion des risques industriels ou encore de l'exploitation responsable des ressources naturelles.

Ce polycopié présente un ensemble de savoirs scientifiques et techniques organisés autour de plusieurs grands axes : l'automatique, l'informatique industrielle, la robotique, le génie des procédés, le génie minier, ainsi que les capteurs, microsystemes et technologies intelligentes. Chaque chapitre introduit les concepts clés, décrit les outils et méthodes utilisés dans le domaine concerné, et met en lumière les principales applications industrielles.

L'objectif est de permettre aux lecteurs d'acquérir une culture scientifique transversale, de saisir l'articulation entre théorie et pratique, et de mieux comprendre les dynamiques qui gouvernent l'innovation technologique. Ce contenu vise aussi à favoriser l'esprit critique, la curiosité et la capacité d'analyse face aux défis technologiques contemporains.

Chapitre I : Métier de l'électronique, électrotechnique, systèmes de communication et nouvelles technologies de capteurs:

1. Industrie de l'électronique et l'électrotechnique :

Si on parle de la progression scientifique et technologique, les filières de l'électroniques et l'électrotechnique sont au cœur de toutes ces innovations dans la vie humaine, elles représentent les activités quotidiennes et indispensables tel que la télécommunication, les visuels, les audio...etc. l'électroniques et l'électrotechnique occupent une grande place centrale dans le paysage industrielle et la transformation numérique.

1.1. Industrie de l'électronique :

1.1.1. Définition :

Domaine de la physique appliquée qui exploite les variations des grandeurs électrique (courants, tension) pour capter, transmettre ou analyser des informations (signaux audio d'un récepteur radio, image d'un écran de télévision, données informatiques d'un ordinateur...etc). Le traitement de ces informations est généralement assuré par des circuits électroniques qui utilisent les propriétés de l'électron.

1.1.2. Rôle des circuits et fonctionnalité :

Parmi les rôles circuits électroniques et leurs fonctionnalités on peut cités :

- Amplification des signaux
- Calcule des opérations logiques
- Génération des ondes radio
- Récupération des signaux audio

1.1.3. Principaux composants électroniques :

Les circuits électroniques sont constitués de divers composants élémentaires, qui peuvent se classer en deux catégories :

- Composants passifs qui reçoivent de l'électricité
- Composants actifs qui peuvent fournir de l'électricité.

Le tableau ci-dessous mentionne les éléments passifs et actifs les plus utilisée dans les circuits électroniques :

Table 1 : Composantes électroniques passifs et actifs

Eléments passifs			
Eléments	Rôles / Fonctionnalités	Compositions/Types	Utilisations
Résistance	Transformation d'énergie électrique en chaleur	. Deux fils de connections en carbone et un film métallique	. Contrôle de l'intensité d'un courant électrique
Condensateur	Accumule l'énergie électrique	. Deux plaques métalliques séparées par un matériau isolant	. Produire la coupure du courant lors de la rupture . Absorbe la décharge a haute tension.
inductance	Induction d'un champ magnétique pour modifier l'intensité du courant	. Un fil conducteur enroulé autour d'une bobine	. Récepteur radio
Eléments actifs			
Pile/Batterie	Transformer l'énergie d'une réaction chimique en énergie électrique	. Composantes chimiques en deux solutions avec deux électrodes (+) et (-)	. Production et stockage de l'énergie électrique
Générateur	Transformer l'énergie mécanique en énergie électrique	.Dynamo (courant continue) .Alternateur (courant alternatif)	. Production de l'énergie électrique
Tube à vide	Transformer l'énergie ionique en énergie électrique	.Diode :fil chauffe (-)et plaque(+) .Triode : fil chauffé, plaque et grille (amplificateur)	. Lampe .Oscillateur de redressement en télécommunication
Transistor	Augmente l'intensité du courant	Deux semi conducteurs avec trois connecteurs (N) et (P)	. Télécommunications . Contrôle des systèmes . Système informatiques

1.2. Industrie de l'électrotechnique :

1.2.1. Définition :

L'électromécanique se rapporte aux applications pratiques de l'électricité, à la science étudiant ces applications. On peut citer la production, le transport, la distribution, le traitement, la transformation, la gestion et l'utilisation (consommation).

1.2.2. Principe de l'électrotechnique :

L'électricité peut être employée pour transporter l'énergie d'un point à un autre, on l'utilise comme vecteur énergétique.

On a d'abord une énergie primaire (Potential de pesanteur, nucléaire, thermique, solaire, éolienne) que l'on transforme en énergie mécanique (énergie mécanique de rotation dans une turbine) qui elle-même est transformée dans une centrale électrique à travers d'un générateur électrique celle-ci fonctionne pour la plupart, grâce aux effets du magnétisme.

Ces machines sont théoriquement réversibles permettant de passer de l'énergie électrique à une énergie mécanique.

1.2.3. Traitement :

Le traitement de l'énergie électrique peut se faire à des fins de gestion et de sécurité. Il s'agit de l'appareillage électrique ou de la conversion de l'énergie : machine électrique, transformateur électrique, électronique de puissance, sont les principaux constituants.

Remarque : L'électronique de puissance concerne les dispositifs permettant de changer la forme de l'énergie électrique (convertisseur).

2. Instrumentation et microsystemes :

2.1. Instrumentation :

2.1.1. Définition :

En sciences, l'instrumentation est une technique de mise en œuvre d'instruments de mesure, d'actionneurs, de capteurs, de régulateurs, en vue de créer un système d'acquisition de données ou de commande.

Le tableau ci-dessous indique les principales grandeurs physiques et leurs instruments de mesure :

Table 2 : Instruments de mesure pour les grandeurs physiques

Grandeur	Symbole	Unité	Symbole	Appareil de mesure
Tension	U	Volt	V	Voltmètre
Intensité	I	Ampère	A	Ampèremètre
Puissance	P	Watt	W	Wattmètre
Résistance	R	Ohm	Ω	Ohmmètre
Capacité	C	Farad	F	Capacimètre
Inductance	L	Henry	H	Henry mètre
Période	T	seconde	S	périodemètre
Fréquence	f	Hertz	Hz	fréquencemètre
Température	T	Degrés celsius	$^{\circ}\text{C}$	Thermomètre
Pression	P	Pascal	Pa (ou bar)	Baromètre
Chaleur	Q	Calorie	Cal	Calorimètre
Eclairement	E	Luxe	Lux	luxmètre
Intensité lumineuse	I	Candela	Cd	Candelamètre

2.1.2. Domaine d'application :

L'instrumentation est utilisée dans divers domaines et secteurs d'activités (industrie, recherche et développement, universités, etc.). Elle va par exemple permettre

- d'automatiser ;
- de faire des tests sur des produits (exemple : crash test) ;
- d'observer des phénomènes (travaux pratiques dans l'éducation) ;
- de simuler des vieillissements (tests répétitifs) ;
- de faire des contrôles qualité (sur des chaînes de production) ;
- d'alerter ou de surveiller.

2.1.3. Chaîne d'instrumentation :

La chaîne d'instrumentation se constitue de la manière suivante : **Grandeur physique** → **Capteur** → **Conditionnement et Traitement du signal** → **Exploitation**.

2.1.3.1. Capteurs :

Le capteur va transformer une grandeur physique en signal (le plus souvent électrique) exploitable. On distingue deux grandes familles de capteurs : passifs et actifs. Selon la famille, le conditionnement va être différent.

a. Capteurs passifs :

Ils ont besoin dans la plupart des cas d'apport d'énergie extérieure pour fonctionner (ex. : thermistance, photorésistance, potentiomètre, jauge de contrainte). Ce sont des capteurs modélisables par une impédance. Une variation du phénomène physique étudié (mesuré) engendre une variation de l'impédance. Il faut leur appliquer une tension pour obtenir un signal de sortie.

b. Capteurs actifs :

On parle de capteur actif lorsque le phénomène physique qui est utilisé pour la détermination du mesurande effectue directement la transformation en grandeur électrique. C'est la loi physique elle-même qui relie mesurande et grandeur électrique de sortie.

Un capteur actif fonctionne assez souvent en électromoteur et dans ce cas, la grandeur de sortie est une différence de potentiel.

Les dimensionnements de capteur (petite taille) donne une efficacité lors de l'utilisation puisqu'il est peu encombrant, discret, léger avec une consommation électrique réduite.

On peut citer en parallèle les actionneurs et les régulateurs, ce sont des est dispositifs mécanique qui traduit une sollicitation extérieure en une action physique (ex : force ou déplacement). Par exemple :

- Valve, pompe,
- Commutateur, interrupteur,
- Haut- parleur,
- Résonateur,
- Tête d'imprimante à jet d'encre,

c. Capteur TOR :

La sortie est un état logique que l'on note 1 ou 0. La sortie peut prendre ces deux valeurs. Le signal des capteurs logiques peut être du type :

- courant présent/absent dans un circuit ;
- potentiel, souvent 5 V/0 V ;
- DEL allumée/éteinte ;
- Diode électroluminescente

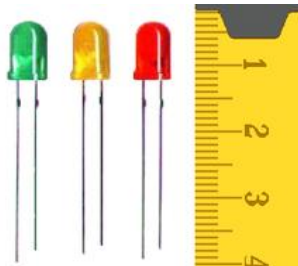


Figure 1: Diode électroluminescente des différentes couleurs

- Symbole de la diode électroluminescente :



Une **diode électroluminescente (DEL**, en anglais : Light-Emitting Diode, **LED**), est un composant opto-électronique capable d'émettre de la lumière lorsqu'il est parcouru par un courant électrique. Une diode électroluminescente ne laisse passer le courant électrique que dans un seul sens (le sens passant, comme une diode classique, l'inverse étant le sens bloquant) et produit un rayonnement monochromatique ou polychromatique non cohérent à partir de la conversion d'énergie électrique lorsqu'un courant la traverse.

Elle compte plusieurs dérivées, principalement, l'OLED, l'AMOLED ou le FOLED (pour flexible oled). Les LED sont considérées, par beaucoup, comme une technologie d'avenir dans le domaine de l'éclairage général. En effet, on estime que d'ici 2020, les LED pourraient représenter 75 % du marché de l'éclairage. Elles sont utilisées aussi dans la construction des écrans de télévision plats : pour le rétroéclairage des écrans à cristaux liquides, comme source d'illumination principale dans les télévisions à LED.

. Quelques capteurs logiques typiques :

- Capteurs de fin de course ;
- Capteurs de rupture d'un faisceau lumineux ;
- Divers capteurs de position.
- Signal pneumatique (pression normale/forte pression)

. Types de détection :

- Détection avec contact (le capteur doit entrer en contact physique avec un phénomène pour détecter).
- Détection sans contact (le capteur détecte le phénomène à proximité de celui-ci).

2.1.3.2. Conditionneur :

Le conditionneur va devoir convertir la grandeur électrique en sortie du capteur en une tension dont l'amplitude ou la fréquence reflète l'évolution temporelle de la grandeur physique. Cependant. Il faudra mettre à niveau et filtrer le signal pour pouvoir l'exploiter. La mise en œuvre du conditionneur fait largement appel à l'électronique analogique.

2.1.3.3. Exploitation :

Enfin, il faut concevoir le système qui va rendre utile le signal. Ce sera souvent un ordinateur avec une carte d'acquisition. On pourra alors créer un instrument virtuel qui pourra afficher la grandeur et l'enregistrer sur le disque. Ce peut être aussi un affichage à DEL ou à aiguille (analogique).

Par ailleurs, il existe également un moyen d'étalonner le capteur via le logiciel de traitement des données par le biais de commandes informatiques envoyées dans le langage de l'instrument de mesure (en général du BASIC, et ce après chaque mesure, garantissant ainsi une précision plus importante).

2.2. Microsystèmes :

2.2.1. Définition :

Un microsysteme est un assemblage de dispositifs de taille micrométrique. Un microsysteme peut contenir un capteur de température, de l'électronique analogique pour la conversion des valeurs du capteur et de l'électronique numérique pour l'interfaçage avec d'autres puces, le tout intégré dans un seul composant électronique.

Quand le microsysteme comprend des parties mobiles, on emploie le terme de microsysteme électromécanique. Quand le microsysteme comprend des éléments optiques et des parties mobiles, on emploie le terme de microsystemes opto-électro-mécaniques.

Les microsystemes ont été développés au début des années 1970 en tant que dérivés de la micro-électronique et leur première commercialisation remonte aux années 1980 avec des capteurs de pression sur silicium qui remplacèrent rapidement les technologies plus anciennes. Une autre utilisation importante au début des microsystemes a été les accéléromètres des coussins gonflables de sécurité pour l'automobile.

2.2.2. Exemples des microsystemes:

Un microsysteme électromécanique est un microsysteme comprenant un ou plusieurs éléments mécaniques, utilisant l'électricité comme source d'énergie, en vue de réaliser une fonction de capteur et/ou d'actionneur, avec au moins une structure présentant des dimensions micrométriques ; la fonction du système étant en partie assurée par la forme de cette structure. Le terme systèmes micro-électromécaniques est la version française de l'acronyme anglais MEMS (microelectromechanical systems). En Europe, le terme MST pour MicroSystem Technology est également d'usage, bien que nettement moins répandu.

Issus de la technologie de la micro-électronique, les MEMS font appel pour leur fabrication aux micro-technologies, qui permettent une production à grande échelle. Ils sont utilisés dans des domaines aussi variés que l'automobile, l'aéronautique, la médecine, la biologie, les télécommunications, ainsi que dans certaines applications de tous les jours telles que certains

vidéoprojecteurs, téléviseurs haute-définition ou coussins gonflables de sécurité pour automobiles (Airbags).

Les microsystèmes opto-électro-mécaniques (ou MOEMS, sigle de l'anglais Micro-Opto-ElectroMechanical Systems) forment un sous-ensemble des systèmes micro-électro-mécaniques (MEMS, Micro-Electro-Mechanical Systems). Les MOEMS sont capables de capter ou de manipuler des signaux optiques à une échelle très petite, utilisant des systèmes mécaniques ou électriques intègres.

La technologie de fabrication des MOEMS par la technologie de micro usinage usuelle en utilisant des matériaux comme silicium, silice (SiO₂), nitrure de silicium et arséniure de gallium (GaAs).

Un interrupteur (dérivé de rupture) est un organe, physique ou virtuel, permettant d'interrompre ou d'autoriser le passage d'un flux. Il ne faut pas confondre l'interrupteur qui permet d'éteindre ou d'allumer un appareil, et le commutateur qui permet de choisir entre plusieurs états actifs d'un appareil.

Par extension, tout système destiné à interrompre quelque chose peut être dénommé interrupteur.

3. Avancées technologiques en électronique, télécommunications et technologie des capteurs :

3.1. Définition :

La révolution technologique est due principalement sur deux facteurs initial : l'invention du composant électronique 'Transistor' (voir tableau 1) et le développement des procédés technologiques de miniaturisation et la fabrication en masse.

Les innovations dans le secteur de la micro-nanoélectronique suivent deux tendances complémentaires :

More-Moore : accroissement de la densité d'intégration des puces qui comportent plusieurs centaines de millions, voire quelques milliards, de transistors ;

More-than-Moore : intégration de fonctions nouvelles, telles que des capteurs (images, puces ADN...), des actionneurs (MEMS/NEMS), des circuits (radio fréquence) RF, des mémoires non volatiles, des empilements 3D de composants... Les composants optoélectroniques entrent dans cette catégorie.

L'impulsion donnée par les micros et nanotechnologies et la convergence des technologies de l'information et de la communication (TIC), entraîne des recherches :

- sur l'intégration des capteurs dans des microsystèmes
- sur l'extension de leur capacité (fiabilité, autonomie.)
- sur leur mise en réseau (clusters de capteurs)
- sur la possibilité de développer des réseaux de capteurs sans-fil et mobiles.

Ils ont donné aux capteurs de nouvelles possibilités : le capteur intelligent, est un système qui dispose d'une capacité de calcul assurée par un circuit programmable du type microcontrôleur ou microprocesseur d'une mémoire et d'une capacité à retransmettre de l'information.

Le couplage dans un même microsystème de la microélectronique et la micromécanique a donné naissance aux MEMS (micro electro mechanical systems).

3.2. Exemples des innovations technologiques :

3.2.1. Domotique :

La domotique est l'ensemble des techniques de l'électronique, de physique du bâtiment, d'automatisme, de l'informatique et des télécommunications utilisées dans les bâtiments, et permettant de centraliser le contrôle des différents systèmes et sous-systèmes de la maison et de l'entreprise (chauffage, volets roulants, porte de garage, portail d'entrée, prises électriques, etc.). La domotique vise à apporter des solutions techniques pour répondre aux besoins de confort (gestion d'énergie, optimisation de l'éclairage et du chauffage), de sécurité (alarme) et de communication (commandes à distance, signaux visuels ou sonores, etc.) que l'on peut retrouver dans les maisons, les hôtels, les lieux publics, etc.

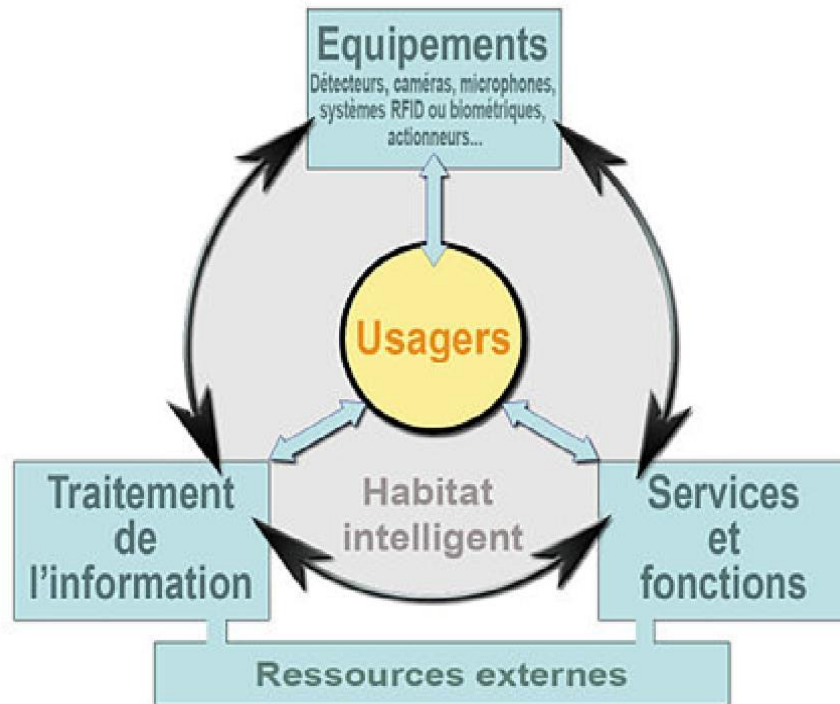


Figure 2 : Représentation graphique schématique d'items relatifs à l'**habitat intelligent** (version évoluée de la domotique des années 1970-1980), avec leurs relations entre eux et avec l'utilisateur.

3.2.2. Téléphonie mobile :

La téléphonie mobile, ou téléphonie cellulaire est un moyen de télécommunications par téléphone sans fil (téléphone mobile). Ce moyen de communication s'est largement répandu à la fin des années 1990. La technologie associée bénéficie des améliorations des composants électroniques, notamment leur simplification, ce qui permet aux téléphones d'acquérir des fonctions jusqu'alors réservées aux ordinateurs.

3.2.2. Contrôle non destructif (CND) :

Le **contrôle non destructif (CND)** est un ensemble de méthodes qui permettent de caractériser l'état d'intégrité de structures ou de matériaux, sans les dégrader, soit au cours de la production, soit en cours d'utilisation, soit dans le cadre de maintenances. On parle aussi d'essais non destructifs (END) ou d'examen non destructifs. Ces méthodes sont utilisées dans l'ensemble des secteurs industriels. On peut citer notamment :

- l'industrie pétrolière (pipelines, tubes, barres, soudures, réservoirs) ;
- l'industrie navale (contrôle des coques) ;
- l'aéronautique (poutres, ailes d'avion, nombreuses pièces moteurs, trains d'atterrissage, etc.) ;
- l'aérospatiale et l'armée ;
- l'industrie automobile (contrôle des blocs moteurs) ;
- la sidérurgie
- la chaudronnerie et la tuyauterie en fabrication
- l'industrie de l'énergie : réacteurs nucléaires, chaudières, tuyauterie, turbines, etc. (maintenance des installations) ;
- le ferroviaire en fabrication et en maintenance notamment pour les organes de sécurité (essieux, roues, bogies);
- l'inspection alimentaire ;
- le Génie Civil et le bâtiment ;

Et en règle générale dans tous les secteurs produisant :

- des pièces à coût de production élevé en quantité faible (nucléaire, pétrochimique, par exemple) ;
- des pièces dont la fiabilité de fonctionnement est critique (BTP, nucléaire, canalisation de gaz, par exemple).

3.2.3. Imagerie ultrasonore :

L'imagerie ultrasonore (ex : échographie) est une technique d'imagerie employant des ultrasons. Elle est utilisée de manière courante en médecine mais peut être employée en recherche, en exploration vétérinaire, en industrie...

L'ultrason est un son, c'est-à-dire une onde mécanique et élastique, diffusée par les gaz, les liquides, les tissus mous (chair, organes) ou les solides (partie métallique comme la sonotrode). La gamme de fréquences des ultrasons se situe entre 16 000 et 10 000 000 Hertz.

Le nom vient du fait que leur fréquence est trop élevée pour être audible pour l'oreille humaine (le son est trop aigu: la gamme de fréquences audibles par l'Homme se situe entre 20

et 20 000 Hertz), de la même façon que les infrasons désignent les sons dont la fréquence est trop faible pour être perceptible par l'oreille humaine.

L'utilisation des ultrasons est très variée et est fonction de leur fréquence: diagnostic médical, nettoyage de pièces (voir Bain à ultrasons), le dégazage de liquide, l'extraction végétale.

3.2.4. Vidéosurveillance :

La **vidéosurveillance** ou **vidéoprotection**, parfois désignée par le sigle anglais CCTV (closed-circuit television), est un système de caméras et de transmission d'images, disposé dans un espace public ou privé pour le surveiller à distance ; il s'agit donc d'un type de télésurveillance. Les images obtenues avec ce système, peuvent être traitées automatiquement et/ou visionnées puis archivées ou détruites. La surveillance a pour but de contrôler les conditions de respect de la sécurité, de la sûreté ou de l'exécution d'une procédure particulière.

3.2.5. Sécurité des transports :

La **sécurité des transports** est une préoccupation importante pour les exploitants de système de transport et pour les autorités nationales et internationales. Le transport, quel que soit le mode, est une activité qui comporte des risques importants d'une part du fait de la vitesse liée au déplacement des parties mobiles (véhicules, cabines, etc.) et d'autre part, pour les transports collectifs par le fait qu'ils peuvent concerner de nombreuses personnes. On peut distinguer les risques internes pour les voyageurs et le personnel, et les risques externes pour les tiers, les riverains des infrastructures et pour le milieu naturel. Cette situation a induit la constitution d'une réglementation touffue, d'abord sur le plan national, puis, avec le développement des transports internationaux, aériens notamment, au niveau international et mondial.

Chapitre II : Métiers de l'automatique et de l'informatique industrielle :

L'**automatique** est une science qui traite de la modélisation, de l'analyse, de l'identification et de la commande des systèmes dynamiques. Elle inclut la cybernétique au sens étymologique du terme, et a pour fondements théoriques les mathématiques, la théorie du signal et l'informatique théorique. L'automatique permet de contrôler un système en respectant un cahier des charges (rapidité, dépassement, stabilité...).

Les objets que l'automatique permet de concevoir pour procéder à l'automatisation d'un système (automates, régulateurs, etc.) s'appellent les automatismes ou les organes de contrôle-commande d'un système piloté.

Un exemple simple d'automatisme est celui du régulateur de vitesse d'une automobile: il permet de maintenir le véhicule à une vitesse constante prédéterminée par le conducteur, indépendamment des perturbations (pente de la route, résistance du vent, etc.).

1. Historique de l'automatique et de l'informatique industrielle :

On peut faire remonter les débuts de l'automatique à l'Antiquité. Par exemple, les Romains régulaient le niveau d'eau des canaux grâce à un système de valves (soupapes). Au XVI^e siècle, Cornelis Drebbel a conçu l'asservissement de température d'un four en combinant des effets thermiques et mécaniques. Puis, au XVII^e siècle, Robert Hooke et Christian Huygens conçurent des régulateurs de vitesse pour les moulins à vent. En 1769 James Watt a conçu son fameux régulateur à boules pour la régulation de vitesse des machines à vapeurs. Parmi d'autres innovateurs de l'automatique, il convient d'évoquer l'astronome Airy (vers 1840), James Clerk Maxwell avec son premier article mathématique sur la théorie du contrôle, Ivan Alexeïevitch Vichnegradski (1876) ; et, bien entendu, les mathématiciens Adolf Hurwitz et Edward Routh (auteurs du critère de stabilité qui porte leur nom, datant de la fin du XIX^e siècle), ainsi que les Français Liénard et Chipart, qui ont amélioré en 1914 le Critère de Routh-Hurwitz. On peut citer aussi Alexandre Liapounov, qui a présenté en 1892 sa thèse fondamentale sur la stabilité des équations différentielles, ainsi que tous les mathématiciens qui ont contribué à la théorie de la stabilité. Ces derniers travaux, qui mènent à une époque assez récente, sont néanmoins à caractère essentiellement mathématique.

C'est lors de la Seconde Guerre mondiale que les premiers essais d'élaboration de machines à traduire automatiquement des messages voient le jour, lorsque l'armée américaine tente de

mettre au point des ordinateurs susceptibles de déchiffrer les messages codés de l'armée japonaise. Ces tentatives se sont poursuivies et développées, principalement aux États-Unis et en Union soviétique, durant la guerre froide.

À des recherches réalistes visant à mettre au point des dictionnaires automatiques bilingues qui simplifieraient le travail de traducteurs humains dans les années 1950-1960, où, grâce notamment au développement des techniques informatiques, plusieurs projets concurrents de T. A. ont vu le jour aux États-Unis et en Europe.

L'histoire de l'automatique proprement dite commence avec les fameux chercheurs des laboratoires Bell (fondés en 1925): Harold Stephen Black et Nathaniel Nichols (**en**), qui ont conçu leur célèbre diagramme, Harry Nyquist qui, le premier sans doute, a compris le problème de stabilité que posent les systèmes bouclés, enfin et surtout Hendrik Wade Bode. Ce dernier est très connu par son diagramme, mais son œuvre maîtresse est son livre *Network Analysis and Feedback Amplifier Designer*, édité juste après la seconde guerre mondiale (et réédité depuis), qui marque la maturité de l'automatique fréquentielle.

Au début des années 1970, les premiers grands systèmes informatiques se composent d'ordinateurs centraux, volumineux et fragiles, auxquels accèdent en temps partagé des terminaux passifs, c'est-à-dire des postes de travail avec clavier et écran mais sans puissance de calcul. Ces systèmes constituent en quelque sorte les premiers réseaux informatiques, mais les communications réalisées demeurent élémentaires.

Au cours des années 1980, l'adoption en masse des micro-ordinateurs et, d'une manière plus générale, la « démocratisation » de la puissance de calcul bouleverse complètement le monde informatique. Les grands systèmes sont alors massivement décentralisés, si bien que l'importance des réseaux informatiques s'en trouve multipliée, de par le nombre de machines connectées, les quantités de données échangées et la diversité de nature des communications. Aujourd'hui, ces réseaux sont d'un usage courant dans notre société, notamment grâce à la popularité du réseau télématique Internet.

2. Applications de l'informatique :

Programme informatique conçu pour aider un utilisateur à réaliser un travail déterminé. Une application diffère d'un système d'exploitation dont le rôle est de gérer le fonctionnement de base de l'ordinateur, d'un utilitaire qui est chargé d'une fonction de maintenance ou à caractère

général, ou d'un langage qui sert à la création de programmes. Selon la fonction pour laquelle elle a été conçue, une application peut opérer sur un texte, des nombres, des images graphiques ou toute combinaison de ces éléments.

Le domaine de la bureautique regroupe de nombreuses applications courantes, comme le traitement de texte, le tableur, le logiciel de dessin ou le logiciel de courrier électronique. D'autres applications spécialisées permettent d'effectuer des retouches photographiques, la mise en page de documents pour la publication assistée par ordinateur (PAO), des calculs ou encore la gestion d'une base de données.

L'informatique a envahi la plupart des domaines de l'activité humaine. Parmi les principaux secteurs d'activités, on peut citer :

- **Le domaine de gestion** : l'informatique intervient dans les banques, les finances, la bourse, les assurances, la comptabilité et dans la gestion des entreprises (facturation des produits, suivi des commandes, gestion des stocks, gestion des clients, etc.).

- **Le domaine industriel** : les ordinateurs peuvent être utilisés pour contrôler un (ou des) robot(s), une chaîne de fabrication, une usine entière. Selon le cas, un seul ordinateur contrôle, un ou plusieurs équipements, ou plusieurs ordinateurs communiquent, par un réseau informatique, pour contrôler ensemble, l'ensemble des équipements industriels.

- **Le domaine scientifique et ingénierie** : l'informatique est souvent utilisée par les scientifiques (physiciens, chimistes, ingénieurs..) pour leurs travaux de recherche.

- **Les domaines de la téléphonie, des communications et des médias** : le passage de la technologie analogique à la technologie numérique a transformé en profondeur ces domaines. En effet, le codage numérique permet la transmission du texte, de la voix, du son, des images fixes et vidéo ainsi que leur traitement par ordinateur.

- **Le domaine d'Internet et de Multimédia** : l'Internet est un outil de communication, de travail, de loisir, d'information et de formation. Le multimédia est un domaine d'application occupant une grande place en informatique.

3. Automate programmable industriel :

Un **automate programmable industriel**, ou **API**, est un dispositif électronique programmable destiné à la commande de processus industriels par un traitement séquentiel. Il

envoi des ordres vers les préactionneurs (partie opérative ou PO côté actionneur) à partir de données d'entrées (capteurs) (partie commande ou PC côté capteur), de consignes et d'un programme informatique.

Lorsqu'un automate programmable remplit une fonction de sécurité, il est alors appelé **automate programmable de sécurité** ou **APS**.

Exemple :

- Un API peut gérer un ou plusieurs ascenseurs.
- Un API doté d'un programme simple peut maintenir un niveau de liquide dans un réservoir entre deux niveaux (un mini et un maxi), en ouvrant et fermant une vanne.
- Un API peut piloter un chariot automatique.

4. Domaine d'application :

Les automates sont largement utilisés dans l'industrie, tant manufacturière (fabrication d'objets finis ou de sous-ensembles) que de processus (élaboration de matières premières). On en trouve aussi beaucoup dans la gestion de bâtiments, la logistique (économie industrielle) et le conditionnement, tel celui des colis de la vente par correspondance. Ils conviennent parfaitement pour tout type d'activité exigeant du réflexe plutôt que des calculs élaborés. Pour des systèmes exigeant une grande sécurité (ferroviaire, machineries d'ascenseur, accès à des machines dangereuses), on utilise des automates de sécurité (APIS) dont l'unité centrale est doublée et les procédures de test renforcées. Pour la gestion des feux de circulation d'un carrefour, ce sont toutefois des automates particuliers et totalement différents, qui sont utilisés et dédiés à cette tâche. Il s'agit de contrôleurs de carrefours, qui doivent respecter des normes de sécurités particulières au domaine.

- Robots industriels et autonomes

Le mythe des robots repose sur l'imagerie du robot androïde, à forme humaine ou capable d'accomplir des tâches spécifiquement humaines. La robotique industrielle couvre très partiellement ce mythe. En revanche, le monde des services en est beaucoup plus proche. De fait, on commence à trouver des robots dans des domaines comme le nettoyage (robot-aspirateur, robot-tondeuse à gazon comme l'Automover d'Husqvarna), l'accueil (robot Asimo de Honda — robot humanoïde qui marche, monte et descend des escaliers ; il peut saluer des

personnes et accomplir des actions comme aller à un point désigné par le signe d'un humain ; il reconnaît également des visages et un jeu limité de phrases), ou encore la gestion de la maison ou domotique (robot PaPeRo de Nec).

Le domaine des jouets n'est pas en reste, avec notamment le plus célèbre des chiens-robots : Aibo, développé par la firme japonaise Sony. Ce chien-robot, équipé de nombreux capteurs sensoriels, est capable de réagir à des sollicitations et semble ainsi doué « d'émotions ».

Le secteur de la santé commence aussi à être touché, avec des robots manipulateurs utilisés en microchirurgie pour assister le praticien (par exemple pour placer des appareillages de manière très précise en chirurgie du cerveau). Le chirurgien conserve la prise de décision et utilise le robot pour accroître sa capacité de perception, augmentant ainsi la précision de l'acte chirurgical.

La robotique n'a pas fini d'envahir notre monde. Les progrès constants des robots sont dus notamment à l'évolution technologique rapide de leurs différents composants. Les progrès les plus lents sont ceux liés à l'énergie (l'autonomie énergétique reste faible), ainsi qu'aux logiciels.

Chapitre III : Domaine Industrielles

1. Génie des procédés :

1.1. Définition :

Le génie des procédés est un domaine d'ingénierie, qui se penche sur l'application de la chimie physique dans l'industrie. Plus généralement, c'est un domaine dont le but principal est de transformer de la matière (par des processus chimiques, voire physiques) dans l'industrie.

Le génie des procédés consiste à concevoir, dimensionner et gérer le fonctionnement d'un procédé à différentes transformations chimiques et physiques.

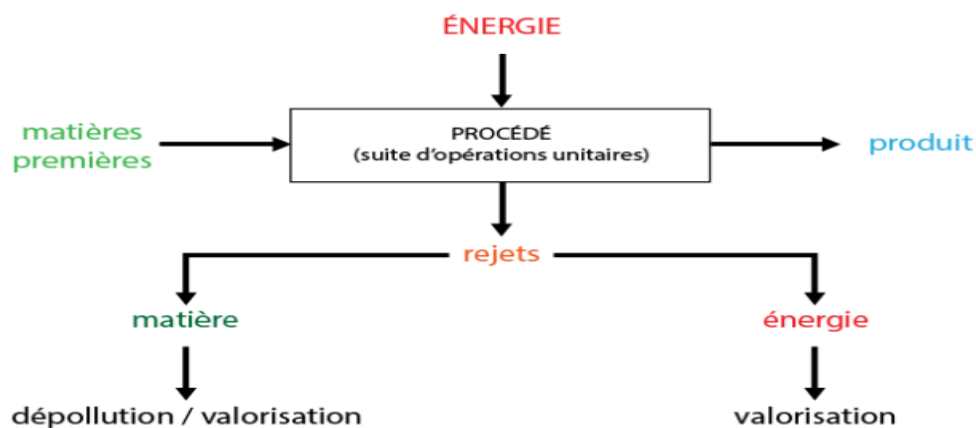


Figure 3 : Principe de transformation en génie des procédés

1.2. Historique :

Diverses techniques chimiques ont été utilisées dans les procédés industriels depuis des temps immémoriaux. Cependant, ce n'est qu'avec l'avènement de la thermodynamique et de la loi de conservation de la masse dans les années 1780 que le génie des procédés a été correctement développé et mis en œuvre en tant que discipline à part entière. Le terme processus, en ce qui concerne l'industrie et la production, remonte au XVIIIe siècle. Au cours de cette période, les demandes de divers produits ont commencé à augmenter considérablement et les ingénieurs de procédés ont dû optimiser le processus de création de ces produits.

En 1980, le concept de génie des procédés a émergé du fait que les techniques et les pratiques du génie chimique étaient utilisées dans une variété d'industries. À cette époque, l'ingénierie

des procédés avait été définie comme "l'ensemble des connaissances nécessaires pour concevoir, analyser, développer, construire et exploiter, de manière optimale, les processus dans lesquels le matériau change". À la fin du 20e siècle, l'ingénierie des procédés s'était étendu des technologies basées sur l'ingénierie chimique à d'autres applications, notamment l'ingénierie métallurgique, l'ingénierie agricole et l'ingénierie des produits.

1.3. Activités d'ingénierie des procédés :

Les activités d'ingénierie des procédés peuvent être divisées en disciplines suivantes :

- 1.3.1. Conception de procédés :** synthèse de réseaux de récupération d'énergie, synthèse de systèmes de distillation (azéotropique), synthèse de réseaux de réacteurs, schémas de décomposition hiérarchique, optimisation des superstructures, conception de centrales discontinues multi-produits, conception des réacteurs de production pour la production de plutonium, conception de sous-marins nucléaires.
- 1.3.2. Contrôle de processus :** contrôle prédictif du modèle, mesures de contrôlabilité, contrôle robuste, contrôle non linéaire, contrôle statistique de processus, surveillance de processus, contrôle basé sur la thermodynamique, désigné par trois éléments essentiels, un ensemble de mesures, une méthode de prise de mesures et un système de contrôle de la mesure souhaitée.
- 1.3.3. Opérations de processus :** ordonnancement des réseaux de processus, planification et optimisation multi-périodes, réconciliation des données, optimisation en temps réel, mesures de flexibilité, diagnostic des pannes.
- 1.3.4. Outils de support :** simulation modulaire séquentielle, simulation de processus basée sur des équations, IA/systèmes experts, programmation non linéaire à grande échelle (PNL), optimisation des équations algébriques différentielles (DAE), programmation non linéaire en nombres entiers mixtes (MINLP), optimisation globale, optimisation sous incertitude et déploiement de la fonction qualité (QFD).
- 1.3.5. Process Economics :** Cela inclut l'utilisation de logiciels de simulation tels qu'ASPEN, Super-Pro pour déterminer le seuil de rentabilité, la valeur actuelle nette, les ventes marginales, le coût marginal, le retour sur investissement de l'installation industrielle après l'analyse de la chaleur et transfert de masse de la plante.
- 1.3.6. Process Data Analytics :** Application des méthodes d'analyse de données et d'apprentissage automatique pour les problèmes de fabrication de processus.

1.4. Etapes d'un procédé industrielle :

Un procédé industriel est une suite organisée d'opérations permettant de transformer une matière première en un produit fini répondant à des spécifications précises. Voici les étapes principales :

1.4.1. Approvisionnement en matières premières :

- Réception, stockage et prétraitement des matières premières (filtration, broyage, chauffage...)
- Importance de la qualité et de la constance des intrants

1.4.2. Réaction ou transformation :

- Cœur du procédé : transformation chimique, biologique ou physique (réacteur, four, fermentation...)
- Contrôle des conditions : température, pression, agitation, pH...

1.4.3. Séparation et purification :

- Séparation des produits formés, des sous-produits et des impuretés
- Techniques utilisées : décantation, filtration, distillation, extraction, cristallisation

1.4.4. Traitement final :

- Ajustement des propriétés du produit : séchage, formulation, conditionnement
- Vérification de la conformité du produit fini aux spécifications

1.4.5. Gestion des effluents et des déchets :

- Traitement des eaux usées, des gaz ou solides rejetés
- Recyclage possible d'une partie des flux (boucles internes)
- Respect des normes environnementales

1.4.6. Stockage et expédition :

- Stockage temporaire du produit fini
- Emballage, étiquetage, expédition vers les clients ou vers une autre unité de transformation.

1.4.7. Exemple : Fabrication du sucre à partir de la canne à sucre

a. Réception et préparation de la matière première :

- La canne à sucre est récoltée, transportée jusqu'à l'usine, puis hachée et broyée pour extraire le jus sucré (appelé vesou).
- Les fibres restantes (appelées bagasse) sont récupérées et souvent utilisées comme source d'énergie dans l'usine.

b. Clarification du jus :

- Le jus brut contient des impuretés solides et colloïdales. On ajoute des produits comme la chaux pour coaguler les impuretés, puis on effectue une décantation.
- Le jus clarifié est ensuite filtré.

c. Concentration :

- Le jus clair est chauffé et envoyé dans des évaporateurs pour éliminer l'eau et obtenir un sirop concentré riche en saccharose.

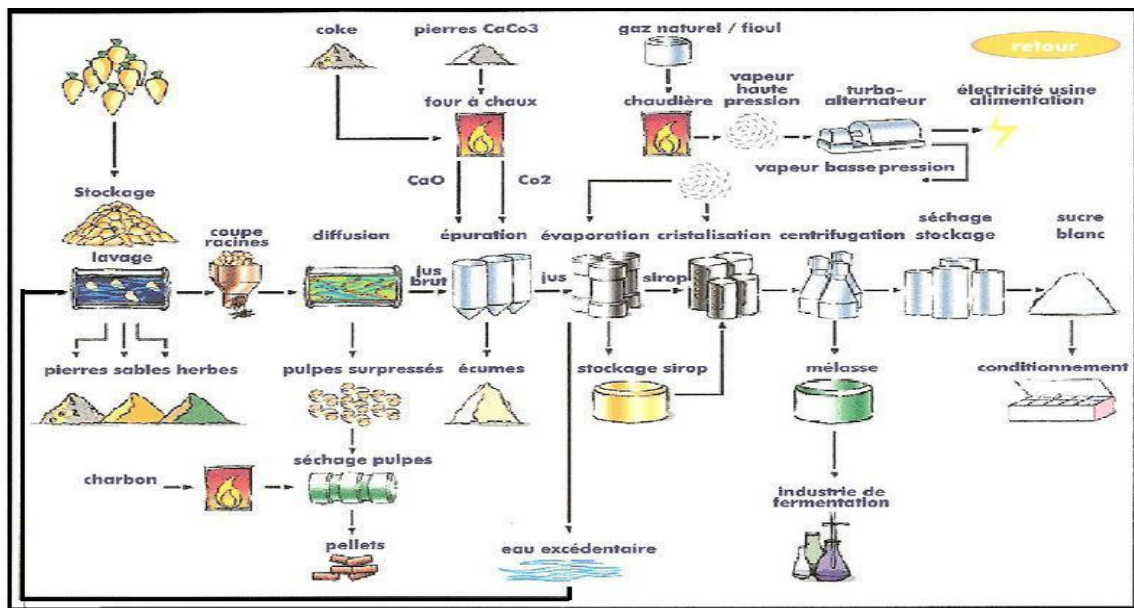


Figure 3 : Exemple de processus de fabrication du sucre.

d. Cristallisation :

- Le sirop est envoyé dans des cuves où il est refroidi etensemencé pour faire cristalliser le sucre.
- On obtient un mélange de cristaux de sucre et de sirop appelé masse cuite.

e. Séparation :

- La masse cuite est envoyée dans des centrifugeuses pour séparer les cristaux de sucre du sirop (mélasse).
- Les cristaux sont ensuite lavés et séchés.

f. Conditionnement :

- Le sucre sec est tamisé, stocké puis emballé pour l'expédition.

g. Valorisation des sous-produits :

- Bagasse : utilisée comme combustible.

- Mélasse : utilisée pour produire de l'alcool ou des levures.
- Eaux usées : traitées avant rejet.

1.5. Outil du génie des procédés :

Les ingénieurs en génie des procédés utilisent un large éventail d'outils pour analyser, simuler, et optimiser les processus industriels. Ces outils permettent de modéliser les phénomènes physiques, de prévoir les comportements des systèmes et d'améliorer l'efficacité des procédés. Voici les principaux outils utilisés :

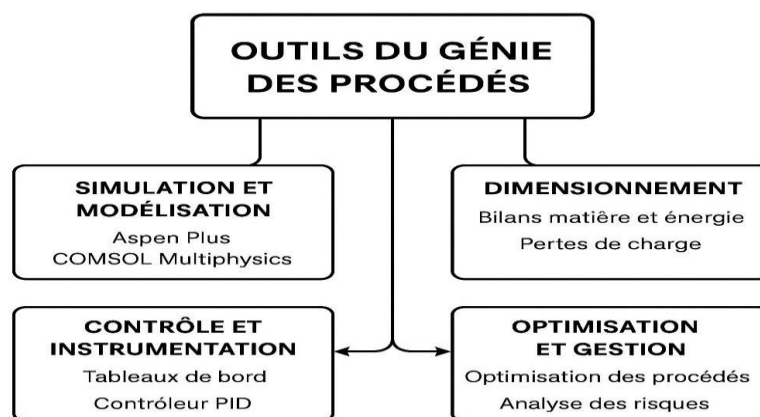


Figure 4 : Outils du génie des procédés

1.5.1. Logiciels de simulation et de modélisation :

- **Aspen Plus / Aspen HYSYS** : Ces logiciels sont largement utilisés pour la modélisation des procédés chimiques. Ils permettent de simuler des systèmes complexes, de réaliser des bilans matière et énergie, et de dimensionner des équipements comme les réacteurs, échangeurs de chaleur, et distillateurs.
- **COMSOL Multiphysics** : Utilisé pour la simulation multiphysique, combinant différentes disciplines comme la thermodynamique, la mécanique des fluides et les phénomènes électromagnétiques, souvent utilisés dans la conception de réacteurs ou d'équipements complexes.
- **CFD (Computational Fluid Dynamics)**, comme Fluent ou OpenFOAM : Ces outils permettent de simuler les écoulements de fluides, les transferts de chaleur et les réactions chimiques dans des systèmes comme des réacteurs, des échangeurs de chaleur, ou des pipelines.

1.5.2. Outils de dimensionnement des équipements:

- Bilans matière et énergie : Les bilans sont utilisés pour calculer les entrées et sorties des procédés afin de dimensionner correctement les équipements et assurer un fonctionnement optimal.
- Diagrammes de phase et courbes de température-enthalpie : Utilisés pour étudier les propriétés thermodynamiques des substances impliquées dans le procédé, et déterminer les conditions de fonctionnement des systèmes.
- Calcul des pertes de charge et des débits dans des systèmes d'échange thermique, des réacteurs ou des pipelines.

1.5.3. Outils d'analyse et de contrôle des procédés :

- **Tableaux de bord (Dashboards)** : Utilisés pour surveiller en temps réel les paramètres du procédé comme la température, la pression, les débits et les concentrations.
- **Contrôleur PID (Proportional-Integral-Derivative)** : Utilisé pour réguler les paramètres du procédé afin de maintenir des conditions optimales de fonctionnement. Par exemple, pour contrôler la température ou la vitesse de réaction.
- **Systèmes de supervision et d'acquisition de données (SCADA)** : Ces outils permettent de collecter des données en temps réel sur l'ensemble des équipements d'un procédé et de les analyser pour améliorer la performance et la sécurité.

1.5.4. Outils de gestion et d'optimisation :

- **Optimisation des procédés** : Des outils comme MATLAB et GAMS peuvent être utilisés pour résoudre des problèmes d'optimisation, comme minimiser la consommation énergétique ou maximiser le rendement de production.
- **Analyse des risques** : Des outils comme HAZOP (Hazard and Operability Study) ou FMEA (Failure Mode and Effect Analysis) sont utilisés pour analyser les risques dans un procédé et assurer sa sécurité.
- **Lean Manufacturing et Six Sigma**: Des méthodologies visant à améliorer l'efficacité des procédés en réduisant les gaspillages, améliorant la qualité et en optimisant coûts.

Ces outils, combinés à une connaissance approfondie des phénomènes physiques et chimiques, permettent aux ingénieurs de concevoir des procédés sûrs, efficaces et économiques. Si tu veux, je peux t'aider à approfondir un outil ou te guider sur un logiciel spécifique.

1.6. Rôle du spécialiste des procédés :

L'ingénieur en génie des procédés est un spécialiste des installations industrielles qui a pour mission :

- Concevoir et de suivre la mise en œuvre d'équipements nouveaux
- Adapter des installations sur la base de procédés de fabrication décrits par les équipes de procédés produits
- Il est associé à la mise en place des installations et à leur validation.
- Il doit prendre en compte, entre autres, l'ensemble des aspects fiabilité, économique, sécurité et ergonomie des systèmes. D'hygiène et d'environnement
- Il travaille aussi bien sur les équipements de fabrication proprement dits que sur les équipements d'automatisation et de contrôle.
- Il utilise des outils de modélisation et de simulation pour passer d'une échelle bureau d'étude à une échelle industrielle.

2. Génie des miniers :

2.1. Définition :

Cette activité se concentre principalement dans l'exploitation – souterraine ou à ciel ouvert – de mines de métaux de base (cuivre, zinc, nickel, plomb), de métaux précieux (or, argent), de fer, de diamants, d'uranium et de divers minéraux industriels (sel, potasse, amiante). À cela s'ajoutent d'importantes exploitations de charbon, de gaz naturel et de pétrole.

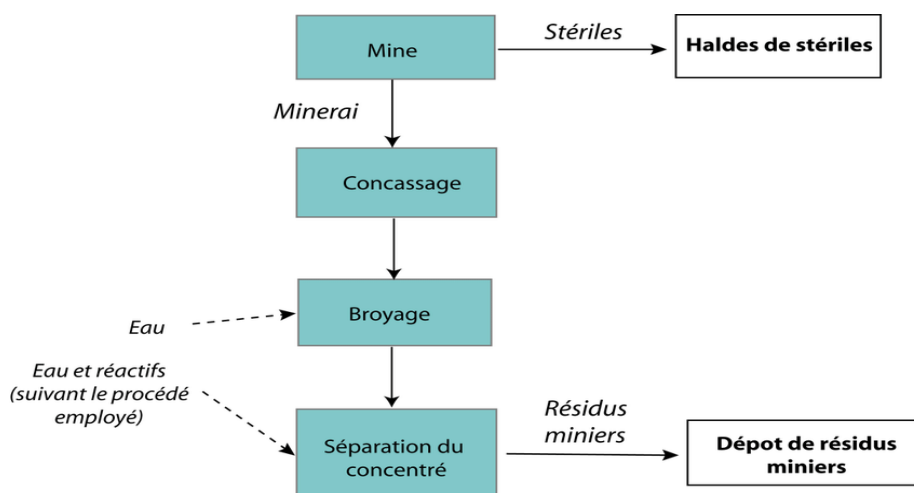


Figure 5 : Principaux étapes de purification des mines

2.2. Historique et évolution des techniques minières :

L'exploitation minière est l'une des plus anciennes activités humaines. Elle a connu une évolution remarquable, passant de techniques rudimentaires à des procédés modernes hautement mécanisés et automatisés.

2.2.1. Antiquité et Moyen Âge :

Dès la Préhistoire, les hommes extrayaient des pierres, de l'ocre, du silex et du sel.

Dans l'Antiquité (Égypte, Grèce, Rome), on exploitait l'or, le cuivre, l'argent et le fer. Les méthodes étaient manuelles : creusement à la main, outils simples (pics, marteaux).

Les Romains ont développé des systèmes ingénieux de drainage, d'adduction d'eau (aqueducs), et des galeries souterraines.

2.2.2. Révolution industrielle (XVIIIe – XIXe siècle) :

Introduction de la poudre noire pour l'abattage des roches.

Développement de la mécanisation : pompes à vapeur pour le drainage, wagonnets sur rails pour le transport.

Apparition des premiers puits profonds, notamment dans les mines de charbon.

2.2.3. XXe siècle : industrialisation et sécurité:

Généralisation de l'usage des explosifs modernes (dynamite).

Utilisation de machines lourdes : foreuses, pelles mécaniques, camions, convoyeurs.

Début de la sécurité minière structurée et de la ventilation souterraine.

Amélioration du traitement des minerais (flottation, séparation magnétique...).

2.2.4. XXIe siècle : automatisation et durabilité:

- Introduction des technologies numériques : drones, capteurs, modélisation 3D, surveillance à distance.

- Utilisation de véhicules autonomes dans les grandes mines à ciel ouvert.

- Mise en place de pratiques écologiques : réduction des déchets, gestion de l'eau, réhabilitation des sites.

- Orientation vers une exploitation responsable, avec des normes environnementales strictes.

2.3. Critères de conception des mines :

- Conception des fosses finales, détermination d'un taux de production optimal et optimisation du puits
- Élaboration de méthodes d'exploitation minière souterraine (avec ou sans remblai)
- Mécanique des roches souterraine et de mine à ciel ouvert
- Aménagement minier stratégique
- Aménagement minier tactique

- Choix du matériel d'exploitation des mines
- Évaluations préliminaires et stratégiques et études de préfaisabilité et de faisabilité
- Conception des améliorations opérationnelles, vérification et optimisation des circuits d'aérage
- Soutien technique aux opérateurs
- Systèmes d'épuration des déchets miniers et de traitement des eaux
- Systèmes de distribution d'air comprimé
- Préparation des calendriers de production et planification du cycle de vie de la mine
- Estimation du capital et des coûts d'exploitation
- Préparation des modèles économiques
- Estimation des réserves
- Conception et mise au point des systèmes de levage et transport du matériel

2.4. Les méthodes d'exploitation minière :

L'exploitation minière regroupe l'ensemble des techniques utilisées pour extraire les minerais de la croûte terrestre. Le choix de la méthode dépend de plusieurs facteurs : profondeur du gisement, nature du minerai, conditions géologiques, environnement et coût.

2.4.1. Exploitation à ciel ouvert (ou en surface)

a. Principe : extraction des minerais en retirant successivement les couches de sol et de roche au-dessus du gisement.

b. Utilisée pour : gisements peu profonds et étendus (cuivre, fer, bauxite, charbon...).

c. Techniques :

- Tranchées ou fosses en gradins (carrières)
- Forage – abattage – chargement – transport

d. Avantages : plus sûre, moins coûteuse, mécanisation facile.

e. Inconvénients : fort impact environnemental (paysage, poussières, eaux de ruissellement).

2.4.2. Exploitation souterraine :

a. Principe : extraction des minerais en creusant des galeries et des puits pour atteindre les gisements profonds.

b. Utilisée pour : gisements étroits ou très profonds (or, zinc, uranium...).

c. Techniques : Chambres et piliers-Foudroyage – Remblayage-Forage et tir

d. Avantages : impact visuel limité, accès à des gisements profonds.

e. Inconvénients : coûts élevés, risques pour la sécurité (effondrements, gaz...), ventilation nécessaire.

2.4.3. Méthodes particulières :

- a. Exploitation hydraulique : utilisation de jets d'eau à haute pression pour désagréger les matériaux (anciennement pour l'or).
- b. Exploitation par dissolution (in situ leaching) : injection de solvants dans le sol pour dissoudre les minerais (soufre, uranium...).
- c. Exploitation offshore : extraction de minéraux sous-marins (nodules polymétalliques) – encore peu développée.

2.5. Rôle de génie des miniers : Autres appellations :

Les ingénieurs miniers et les ingénieures minières réalisent de nombreuses tâches liées à la planification, à la conception, à l'organisation et à la supervision de l'aménagement d'une mine ainsi que des installations minières. Ils conçoivent des plans 3D de galeries, de tunnels ou de fosses, vérifient les installations régulièrement, planifient les séquences de minage et analysent des projets d'optimisation. De façon générale, ils préparent et supervisent l'extraction de minerai, mais ils peuvent développer une expertise dans un domaine précis, tel que la planification minière, le contrôle de terrain ou la mécanique des roches, et exécuter des tâches plus spécialisées.

Chacune des étapes d'un projet minier fait intervenir un grand nombre de personnel ayant chacun ses spécialités :

- Les explorateurs, en amont du projet pour localiser et caractériser le gisement ;
- L'exploitant, lorsque toutes les conditions géologiques, économiques, environnementales et sociétales sont réunies. L'exploitant est en charge d'extraire le minerai en le séparant des roches sans valeur économique (stérile) ;
- Le minéralurgiste, en charge d'extraire les substances utiles du minerai et de fournir un concentré. Les caractéristiques physiques (densité, magnétisme) et chimiques des phases minérales d'intérêt sont exploitées pour appliquer différentes techniques d'extraction et de concentration. Cette étape est généralement réalisée à proximité immédiate du site d'extraction afin de limiter les coûts de transport d'un produit à faible valeur économique ;
- Le métallurgiste, en charge de produire le ou les métaux à partir du concentré. Les procédés classiquement utilisés sont la pyrométallurgie (le concentré est fondu dans des fours) ou l'hydrométallurgie (les métaux présents sont mis en solution et ensuite extraits). Des procédés innovants plus récents font intervenir l'action de bactéries pour attaquer les phases minérales porteuses et libérer les métaux. Cette opération est

rarement réalisée sur place mais plus communément au niveau de pôles métallurgiques vers lesquels sont acheminés les concentrés.

2.6. Environnement et sécurité minière:

L'activité minière peut avoir des impacts environnementaux majeurs et présents des risques élevés pour les travailleurs. C'est pourquoi des mesures strictes sont mises en place pour protéger à la fois l'environnement, les employés et les communautés locales.

2.6.1. Impacts environnementaux de l'exploitation minière :

- Déforestation et destruction des habitats naturels : surtout en exploitation à ciel ouvert.
- Pollution des sols et des eaux : due aux rejets de métaux lourds, acides, hydrocarbures, résidus chimiques.
- Émissions de poussières et de gaz : particules fines, CO₂, méthane...
- Production de déchets miniers : stériles, boues, résidus chimiques souvent stockés en digues ou bassins à risques.
- Modification du paysage : trous, bassins, remblais, montagnes artificielles.

2.6.2. Mesures de protection de l'environnement :

- Études d'impact environnemental (EIE) avant tout projet minier.
- Traitement des eaux usées et des gaz.
- Recyclage et valorisation des déchets miniers.
- Réhabilitation des sites après exploitation : reboisement, comblement, suivi.
- Suivi environnemental continu par des capteurs et audits.

2.6.3. Sécurité minière:

- Risques majeurs : éboulements, explosions, incendies, asphyxie (gaz toxiques), chutes, effondrements de galeries.
- Moyens de prévention :
 - a. Formation continue des travailleurs
 - b. Port obligatoire d'équipements de protection individuelle (EPI) : casque, masque, harnais, lampe, etc.
 - c. Systèmes de ventilation pour mines souterraines
 - d. Capteurs de gaz et alarmes
 - e. Plans d'évacuation et simulations d'urgence.

2.6.4. Réglementation et normes :

- Respect des normes nationales et internationales : ISO 14001 (environnement), OHSAS 18001 / ISO 45001 (sécurité), ICMM, etc.
- Obligations de responsabilité sociétale des entreprises minières (RSE) vis-à-vis des populations locales.

2.7. Outil du génie des miniers :

Le génie minier repose sur une combinaison d'équipements mécaniques, de technologies numériques et de logiciels spécialisés pour assurer l'extraction efficace, sûre et rentable des ressources minérales. Voici les principaux outils utilisés :

Outils du génie minier

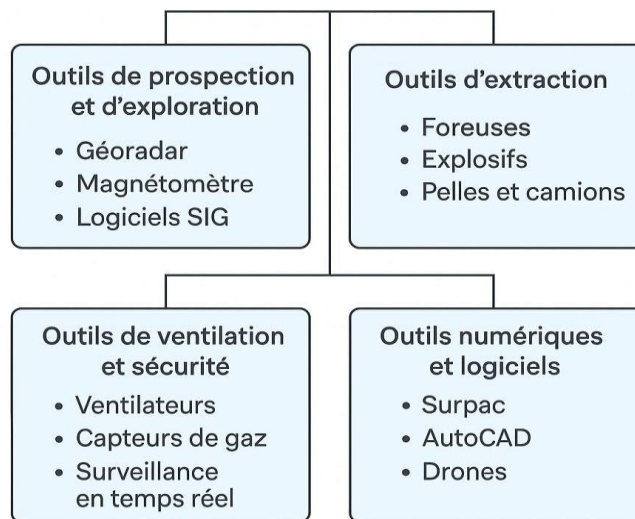


Figure 5: Outil du génie des miniers

2.7.1. Outils de prospection et d'exploration:

- **Géoradar (GPR)** : détecte les structures souterraines.
- **Magnétomètre et gravimètre** : mesurent les anomalies du champ magnétique ou de la gravité pour localiser des gisements.
- **Logiciels SIG (Systèmes d'Information Géographique)** : comme ArcGIS, pour cartographier les données géologiques.
- **Sondes de carottage** : prélèvent des échantillons du sous-sol.

2.7.2. Outils d'extraction :

- Foreuses : pour le forage des trous de mine.
- Explosifs industriels : pour l'abattage des roches.
- Pelles mécaniques et chargeuses : extraction et chargement du minerai.
- Camions bennes géants : transport du minerai.

2.7.3. Outils de ventilation et sécurité :

- Ventilateurs industriels : assurent l'apport d'air frais dans les mines souterraines.
- Capteurs de gaz : détectent les concentrations de gaz dangereux (CH₄, CO, etc.).
- Systèmes de surveillance en temps réel : pour suivre la stabilité des galeries.

2.7.4. Outils de traitement du minerai :

- Concasseurs et broyeurs : réduisent la taille des roches.
- Séparateurs magnétiques ou gravimétriques.
- Tables à secousses, cellules de flottation.

2.7.5. Outils numériques et logiciels :

- Surpac, Datamine, Vulcan : logiciels de modélisation géologique et de planification minière.
- AutoCAD, SolidWorks : pour la conception d'équipements ou d'infrastructures.
- Drones : utilisés pour la cartographie 3D des sites miniers.

3. Hydrocarbures et industrie pétrochimiques :

3.1. Différents Hydrocarbures : de la production à la commercialisation

3.1.1. Définition :

Les hydrocarbures sont des composés organiques uniquement constitués d'atome de carbone et d'hydrogène. Ils possèdent une formule brute de type C_nH_m. Ils peuvent être classés en fonction de la forme de leur structure (linéaires, cycliques) et de leur degré de saturation. Le groupe des hydrocarbures se subdivise donc en deux sous-catégories : Hydrocarbures aliphatiques et hydrocarbures aromatiques polycycliques.

3.1.2. Utilisation :

Les hydrocarbures et leurs dérivés sont les principaux composants des combustibles fossiles, et libèrent de l'énergie par combustion. Au-delà de leurs applications combustibles, les hydrocarbures sont également utilisés dans la synthèse chimique et sont des composants majeurs des huiles lubrifiantes, des graisses, des solvants, des carburants, des cires, des

asphaltes, des cosmétiques et des plastiques. Ces applications non combustibles des hydrocarbures peuvent revêtir une grande importance pour la société et l'économie.

3.1.3. Sources :

La principale source d'hydrocarbures est la distillation fractionnée des combustibles fossiles, notamment à partir des réserves pétrolières. Cependant, les chercheurs étudient des sources alternatives et renouvelables, comme la conversion d'huile de friture usagée (généralement d'origine végétale) en biodiesel, ou la récupération d'huiles usagées issues de processus industriels.

3.1.4. Commercialisation :

Le pétrole brut est traité pour obtenir le maximum de produits légers à forte valorisation. En effet, les produits légers (gaz propane, butane, naphta, essences, kérosène et gazole) se vendent à prix élevé tandis que les fiouls et les résidus sont vendus à bas prix.

Le raffinage consiste, par des opérations de distillation, à séparer le pétrole brut en produits intermédiaires. Les hydrocarbures ont une température d'ébullition variant en fonction de la longueur de leur chaîne carbonée. Il est donc aisé de les séparer par ce processus industriel.

Le pétrole est d'abord chauffé dans la colonne de distillation fermée et munie d'un certain nombre de plateaux (30 à 50) perforés et de clapets, à des températures allant de 343 °C à 400°C. Grâce à la différence de température d'ébullition des composants, la vaporisation des fractions plus ou moins légères conduit à une distillation fractionnée.

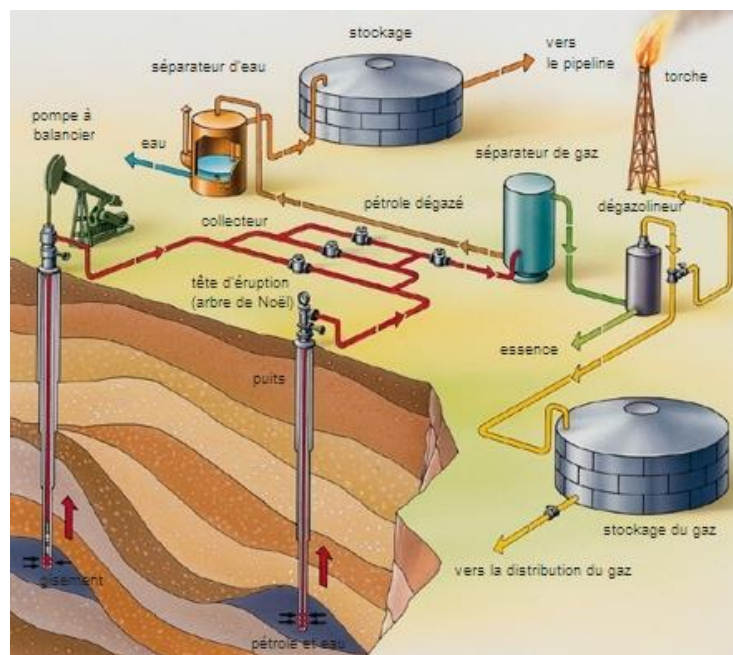


Figure 6 : Les hydrocarbures de la production à la commercialisation

3.2. Définition de la pétrochimie ; Différents axes de la pétrochimie et produits de la pétrochimie :

3.2.1. Définition :

La pétrochimie est l'ensemble des technologies étudiant ou utilisant le pétrole ou le gaz naturel principalement composé de méthane et d'éthane pour fabriquer des composés chimiques synthétiques. Ces techniques reposent sur des réactions chimiques, souvent catalysées. Les distillats naturels et le gaz de schiste sont des matières premières apparentées également employées.

3.2.2. Axes de la pétrochimie et produits :

Outre leur utilisation énergétique dans les moteurs, les hydrocarbures sont une matière première incontournable pour la fabrication d'éléments précieux à usage quotidien tels que les plastiques, vêtements ou médicaments et d'autres objets nécessaires et indispensables dans notre vie quotidienne (produit nettoyants, peinture, matériels sanitaires, cosmétiques...etc).

Le secteur est aussi un maillon indispensable de l'industrie, dans de nombreux domaines d'activité :

- automobile : pour les équipements intérieurs ou les pneumatiques ;
- construction : pour les matériaux isolants ;
- informatique et électroménager : composants d'ordinateurs, de radios, télévisions... ;
- santé : équipements de précision, matériel hospitalier...

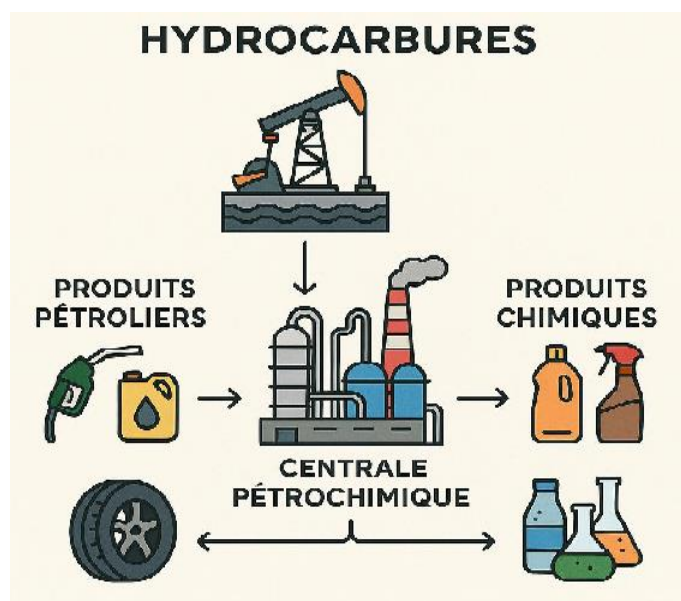


Figure 7 : Produits pétrolières et pétrochimiques

3.2.3. Rôle des spécialistes :

Un spécialiste en pétrochimie peut travailler sur :

- Les différentes étapes du processus en amont.
- la conception des puits et la surveillance des opérations de forage.
- Les tests de performance des réservoirs.
- L'analyser des données géologiques et géophysiques afin d'identifier des prospects d'hydrocarbures et d'estimer les réserves.
- L'élaboration des programmes de forage et choisir l'équipement, les matériaux et les méthodes appropriés pour la construction de puits.

De plus, les spécialistes résolvent les problèmes techniques liés à l'intégrité, à la performance et à l'entretien des puits. Des outils de simulation et de modélisation des réservoirs sont utilisés pour optimiser les stratégies de récupération et prévoir les taux de production. Il est essentiel de travailler avec d'autres spécialistes du pétrole et du gaz, des entrepreneurs et des intervenants pour atteindre les objectifs du projet.

3.3. Outils utilisés dans le secteur des hydrocarbures et de la pétrochimie :

3.3.1. Outils d'exploration et de prospection :

- Sismique 2D / 3D / 4D : pour l'imagerie souterraine
- Magnétomètres et gravimètres : analyse des anomalies géophysiques
- Logiciels de modélisation géologique (ex. Petrel, Kingdom Suite)

3.3.2. Outils de forage :

- Tours de forage (onshore et offshore)
- Tiges et trépan de forage
- Boues de forage et systèmes de circulation
- Systèmes de contrôle de puits (BOP)

3.3.3. Outils de production :

- Têtes de puits (Christmas tree)
- Pompes submersibles ou à piston
- Équipements de séparation (séparateurs gaz/huile/eau)

3.3.4. Outils de transport et stockage :

- Pipelines
- Stations de compression / pompage

- Réservoirs de stockage
- Navires méthaniers et pétroliers

3.3.5. Outils de raffinage et pétrochimie :

- Colonnes de distillation
- Réacteurs chimiques (craquage, reformage, etc.)
- Échangeurs de chaleur
- Systèmes de contrôle (automates, capteurs, SCADA)

3.3.6. Outils de contrôle et sécurité :

- Systèmes d'analyse en ligne (chromatographes, capteurs de gaz)
- Systèmes de détection incendie/explosion
- Équipements de protection individuelle (EPI)
- Logiciels de gestion HSE

3.3.7. Outils de simulation et de gestion :

- Logiciels de simulation de procédés (ex. Aspen HYSYS, PRO/II)
- Systèmes de gestion d'actifs (SAP PM, CMMS)
- Outils SIG (système d'information géographique)

3.4. Réglementations et normes :

3.4.1. Réglementations nationales :

- Codes pétroliers (par pays) : définissent les conditions d'exploration, de production et de commercialisation.
- Autorités de régulation : ex. ALNAFT et ARH en Algérie, DGH en France.
- Permis et concessions : exigences pour l'obtention, la durée, les obligations environnementales.

3.4.2. Normes internationales techniques :

- API (American Petroleum Institute) : normes pour le matériel, les forages, la sécurité (ex. API 650 pour les réservoirs).
- ISO (International Organization for Standardization) :
 - ISO 9001 (qualité)
 - ISO 14001 (environnement)
 - ISO 45001 (sécurité au travail)
- ASME (American Society of Mechanical Engineers) : normes pour les équipements sous pression.

3.4.3. Normes environnementales :

- Directives sur les émissions et rejets (air, eau, sol)
- Études d'impact environnemental (EIE) : obligatoires avant toute exploitation
- Cadre réglementaire sur les déchets dangereux (ex. boues de forage)

3.4.4. Sécurité, santé et prévention des risques :

- HSE (Health, Safety & Environment) : cadre général de sécurité dans l'industrie
- Réglementation ATEX (atmosphères explosives – zones classées)
- Plans d'intervention d'urgence (PIU) : pour fuites, incendies, explosions

3.4.5. Réglementation du transport et du stockage :

- ADR : Accord européen sur le transport des matières dangereuses par route
- IMDG : Code maritime international des marchandises dangereuses
- Normes sur la sécurité des pipelines (tests, inspections périodiques)

4. Hygiène et sécurité :

4.1. Introduction:

Dans les industries à haut risque telles que l'hydrocarbure et la pétrochimie, l'hygiène et la sécurité occupent une place primordiale. La manipulation de substances inflammables, toxiques ou sous pression, ainsi que l'utilisation d'équipements complexes, expose le personnel à de nombreux dangers. Garantir la sécurité des travailleurs et assurer un environnement de travail sain ne sont pas seulement des obligations légales, mais aussi des facteurs essentiels de performance et de durabilité pour l'entreprise. Cette partie présente les principes fondamentaux de l'hygiène et de la sécurité, les méthodes de prévention des risques, les outils de protection, ainsi que les cadres réglementaires qui encadrent ces pratiques dans le secteur industriel. Avant d'aborder les détails, il convient de prendre en considération les définitions fondamentales suivantes :

- **Hygiène :** est l'ensemble des normes de vie, des méthodes et des mesures individuelles et collectives destinées à prévenir la maladie à maintenir l'homme en bon état de santé.
- **Sécurité:** ensemble de méthodes ayant pour objet de supprimer ; ou de minimiser les risques professionnels et de garantir la sécurité des travailleurs et des équipements.

- **Environnement:** le management environnemental, aussi appelé gestion environnementale, ou éco management, désigne les méthodes de gestion d'une entité (entreprise, service...) visant à prendre en compte l'impact environnemental de ses activités ; à évaluer cet impact et à le réduire.

4.2. Axes et secteurs d'activités :

L'ingénieur HSE va travailler conjointement avec d'autres services au sein de son entreprise (ressources humaines, services généraux...) mais aussi extérieurs (pompiers...) afin de proposer des actions de prévention pour les salariés (exercices incendie, vérifications des équipements...), des contrôles (respect des normes de sécurité...), des études et autres dis (évaluer et anticiper les risques...). Sa préoccupation quotidienne est de s'assurer du respect des normes en vigueur en matière de sécurité, d'hygiène et d'environnement. L'ingénieur QSE (Qualité Sécurité Environnement) ou l'ingénieur QHSE (Qualité Hygiène Sécurité Environnement) devra tout faire pour améliorer la qualité au sein de l'établissement. Il maîtrise les outils juridiques, techniques, managériaux et scientifiques afin de proposer des solutions efficaces, dans le cadre de la politique HSE de l'entreprise.

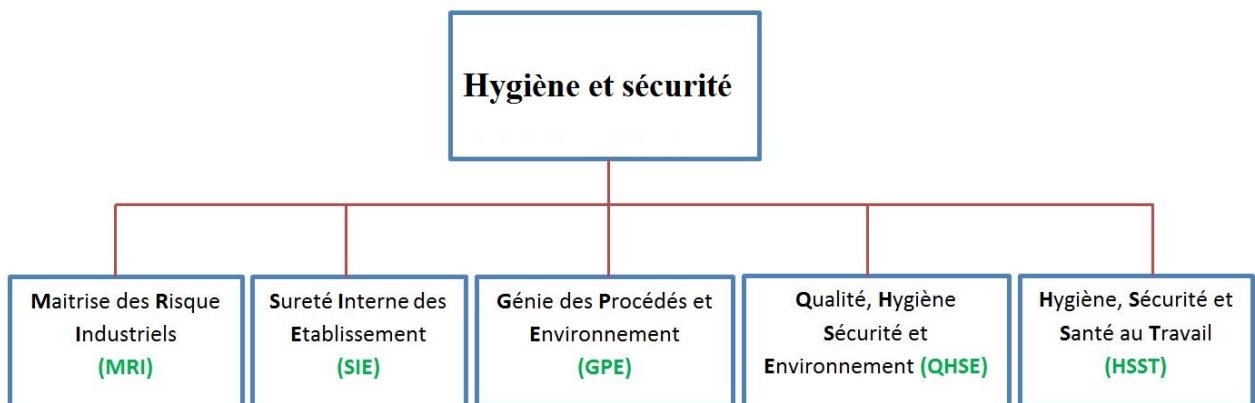


Figure 8 : Axes et secteurs d'activités

4.3. Identification des risques professionnels :

L'identification des risques professionnels est une étape fondamentale dans la mise en place d'une politique de sécurité efficace. Elle permet de recenser les dangers potentiels liés aux

activités, aux équipements, aux produits manipulés et à l'environnement de travail. Dans le secteur pétrochimique, cette analyse est d'autant plus critique en raison de la complexité des procédés et de la nature dangereuse des substances utilisées.

Les principaux types de risques rencontrés sont :

- Risques physiques : bruit, vibrations, rayonnements, températures extrêmes, glissades ou chutes.
- Risques chimiques : exposition à des produits corrosifs, toxiques, inflammables ou explosifs.
- Risques biologiques : contamination par des agents pathogènes dans certains contextes (traitement des eaux, etc.).
- Risques mécaniques : liés à l'utilisation de machines, outils, pièces en mouvement.
- Risques électriques : contacts directs ou indirects, courts-circuits, décharges.
- Risques ergonomiques : postures contraignantes, efforts répétitifs, manutention de charges.
- Risques psychosociaux : stress, surcharge de travail, pression hiérarchique.

L'identification se fait à travers des outils comme les visites de terrain, les audits HSE, les retours d'expérience (REX), et les fiches de données de sécurité (FDS). Une bonne identification des risques permet ensuite leur hiérarchisation et la mise en œuvre de mesures adaptées de prévention et de protection.

4.4. Hygiène en milieu du travail :

L'hygiène industrielle vise à préserver la santé des travailleurs en contrôlant les facteurs environnementaux susceptibles d'altérer leur bien-être. Dans les secteurs sensibles comme la pétrochimie, une hygiène rigoureuse est essentielle pour limiter l'exposition aux agents chimiques, prévenir les infections et garantir des conditions de travail salubres.

Les principales dimensions de l'hygiène en milieu professionnel incluent :

- Qualité de l'air : la ventilation des locaux doit permettre l'évacuation des vapeurs, gaz et poussières. Des systèmes d'extraction et de filtration (ex. : hottes, filtres à charbon actif) sont souvent nécessaires dans les zones à risques.
- Hygiène corporelle : des installations sanitaires propres et suffisantes (douches, lavabos, vestiaires) doivent être mises à disposition du personnel, notamment pour les employés manipulant des substances dangereuses.

- Propreté des locaux : un entretien régulier des zones de travail, des équipements et des surfaces réduit la contamination croisée et améliore la sécurité globale.
- Gestion des déchets industriels : les résidus chimiques, huiles usagées, chiffons contaminés, etc., doivent être collectés dans des contenants adaptés et éliminés selon les normes en vigueur.
- Restauration et zones de pause : les lieux destinés à la consommation d'aliments doivent être séparés physiquement des zones de travail pour éviter toute exposition à des substances nocives.-
- Une bonne hygiène au travail contribue à la réduction des maladies professionnelles, à l'amélioration du confort des employés et à une meilleure productivité. Elle reflète également l'engagement de l'entreprise en matière de responsabilité sociétale et environnementale.

4.5. Rôles du spécialiste et formation en HSE :

Le rôle de l'ingénieur HSE (Hygiène, Sécurité, Environnement) est de veiller au respect des normes et des réglementations d'hygiène, de sécurité et d'environnement de l'entreprise pour laquelle il travaille. Il devra s'assurer de l'application et la diffusion des règles de sécurité de l'entreprise.

L'ingénieur HSE doit identifier et évaluer tous les risques professionnels et mettre en place des programmes pour maîtriser, réduire et éviter ces risques. Au quotidien, il doit:

- veiller aux conditions de travail des salariés ainsi qu'au respect des consignes de sécurité sur les chantiers : port obligatoire du casque, chaussures de sécurité...
- s'assurer de la fiabilité des installations sur les chantiers pour la sécurité des salariés,
- mettre en place une politique de sécurité afin de réduire les accidents de travail, les maladies professionnelles,
- veiller au respect des normes en vigueur, suivre les mises à jour des décrets réglementaires et les mettre en pratique,
- respecter l'environnement en étudiant l'impact environnemental de sa société sur la faune, la flore et la biodiversité,

- analyser les risques en termes d'environnement et de sécurité par l'analyse des sols, des eaux...
- réduire les risques industriels : pollution, incendies, ...
- s'assurer de l'hygiène santé des produits chimiques, le respect de la chaîne du froid ou encore l'analyse du matériel...

Pour devenir ingénieur HSE ou ingénieur QHSE vous devrez être diplômé d'une école d'ingénieurs, habilitée par la CTI. Pour y parvenir, vous trouverez dans des écoles d'ingénieurs en environnement, écoles d'ingénieurs généralistes et parfois dans des écoles d'ingénieurs en génie industriel des formations en qualité-sécurité-environnement. Vous retrouverez, plus généralement cette formation sous l'appellation **prévention des risques** ou **gestion des risques** par exemple.

4.6. Réglementation en matière d'hygiène et sécurité :

L'application des réglementations en hygiène et sécurité vise à protéger la santé des travailleurs et à prévenir les accidents dans les milieux industriels à risque, comme celui des hydrocarbures et de la pétrochimie. Ces réglementations sont généralement encadrées par des lois nationales, des décrets sectoriels et des normes internationales.

4.6.1. Obligations de l'employeur :

L'employeur a la responsabilité légale d'assurer un environnement de travail sûr. Cela inclut :

- L'identification et l'évaluation des risques professionnels,
- La mise en œuvre de mesures de prévention appropriées,
- La fourniture gratuite d'Équipements de Protection Individuelle (EPI),
- La formation du personnel en matière de sécurité,
- La mise à disposition d'installations sanitaires adaptées.

4.6.2. Droits et devoirs des travailleurs :

Les travailleurs ont le droit d'être informés des risques liés à leur poste, de refuser un travail dangereux, et de bénéficier d'un suivi médical régulier. Ils sont aussi tenus de respecter les consignes de sécurité et d'utiliser correctement les équipements mis à leur disposition.

4.6.3. Textes réglementaires clés :

- Code du travail (national) : encadre les obligations générales de sécurité et d'hygiène.
- Normes ISO : comme ISO 45001 pour la sécurité au travail et ISO 14001 pour la gestion environnementale.
- Réglementation ATEX : pour les zones à atmosphères explosives.
- Directives européennes ou internationales : REACH (produits chimiques), SEVESO (installations à risque majeur), etc.

4.6.4. Contrôles et sanctions :

Des inspections régulières sont réalisées par des organismes de contrôle (ex. : inspection du travail, autorités HSE, agences spécialisées). En cas de non-conformité, l'entreprise peut faire l'objet de sanctions administratives, financières ou judiciaires.

4.7. Outil utilisés dans le secteur hygiène et sécurité :

4.7.1. Outils d'analyse et d'évaluation des risques :

- AMDEC (Analyse des Modes de Défaillance, de leurs Effets et de leur Criticité)
- Arbre des causes
- Méthode 5M (Milieu, Matériel, Main-d'œuvre, Méthode, Matière)
- Grille de cotation des risques (gravité, fréquence, probabilité)
- Checklist de sécurité
- SWOT appliqué à la sécurité (Strengths Weaknesses Opportunities Threats)

4.7.2. Outils de gestion et de suivi :

- DUERP (Document Unique d'Évaluation des Risques Professionnels)
- Fiches de données de sécurité (FDS)
- Registres de sécurité (incidents, vérifications, EPI)
- Tableaux de bord HSE (indicateurs, taux d'accidents, etc.)
- Logiciels HSE (ex : Enablon, EcoOnline, Quarks Safety)

4.7.3. Outils de prévention et de communication :

- Signalétique de sécurité (pictogrammes, marquage au sol)
- Affichages obligatoires (consignes, plans d'évacuation, etc.)
- Formations et modules e-learning
- Fiches réflexes ou procédures en cas d'urgence

Conclusion :

Ce polycopié a permis d'explorer différents domaines scientifiques et techniques qui constituent les piliers des métiers d'ingénierie modernes. De l'automatique au génie des procédés, en passant par l'informatique industrielle, les capteurs intelligents ou encore le génie minier, chaque section a mis en lumière les principes fondamentaux, les outils, ainsi que les applications concrètes qui façonnent ces secteurs.

Au-delà de l'acquisition de connaissances, ce document vise à stimuler la réflexion autour des enjeux scientifiques, technologiques et sociétaux qui accompagnent l'évolution des métiers. Dans un contexte en constante mutation, marqué par l'innovation, la digitalisation et la transition écologique, il est essentiel de former des esprits ouverts, capables de s'adapter, d'apprendre continuellement et de contribuer activement aux défis du futur.

Ce parcours à travers les sciences et les technologies n'est qu'une introduction : il appartient maintenant à chaque lecteur d'approfondir, de s'interroger, et de tracer son propre chemin au sein de cet univers riche et en perpétuelle évolution.

Références bibliographiques :

- **AFNOR**. “ISO 45001:2018 – Systèmes de management de la santé et de la sécurité au travail – Exigences et lignes directrices.” AFNOR, 2018.
- **API** (American Petroleum Institute), API Standards Catalog, 2020.
- **AspenTech**, Aspen Plus User Guide. Aspen Technology, Inc, 2020.
- **Astrom, K. J., & Murray, R. M**, Feedback Systems: An Introduction for Scientists and Engineers. Princeton University Press, 2008.
- **Aven, T**. “Risk Analysis.” Wiley, 2015.
- **Beeby,S, Ensell,G, Kraft.M, and White.N**, MEMS Mechanical Sensors, Artech House, 2004.
- **Bétournay, M. C**, Rock Mechanics for Underground Mining. In Underground Mining Methods: Engineering Fundamentals and International Case Studies (2nd ed., pp. 19–28). SME, 2010.
- **Bise, C. J**, Mining Engineering Analysis (2nd ed.). SME, 2003.
- **Boukherouaa, M., & Belkacem, M**.“Management de la sécurité et de l’environnement dans l’industrie pétrochimique.” Revue des Énergies Renouvelables, Vol. 22, 2019.
- **Bourdote.T**, Instrumentation : Capteurs et conditionnement du signal, Dunod, 2013.
- **Boylestad, R. L., & Nashelsky, L**, Electronic Devices and Circuit Theory (11th ed.). Pearson, 2012.
- **CARSAT Rhône-Alpes**.“Document Unique d’Évaluation des Risques Professionnels (DUERP).” Guide pratique, 2020.
- **Chaineau, C. H**.“Gestion des risques industriels.” Éditions Technip, 2010.
- **Chapman, S. J**, Electric Machinery Fundamentals (5th ed.). McGraw-Hill Education, 2011.
- **COMSOL AB**, COMSOL Multiphysics Reference Manual. COMSOL Inc, 2020.
- **Coulson, J.M., Richardson, J.F., Backhurst, J.R., & Harker, J.H**, Coulson and Richardson’s Chemical Engineering Volume 1: Fluid Flow, Heat Transfer and Mass Transfer (6th ed.). Butterworth-Heinemann, 2005.
- **Darling, P. (Ed.)**, SME Mining Engineering Handbook (3rd ed.). Society for Mining, Metallurgy, and Exploration, 2011.
- **Del Toro, V**, Principles of Electrical Engineering (2nd ed.). Pearson Education, 2002.

- **Directive SEVESO III.** Directive 2012/18/UE du Parlement européen et du Conseil du 4 juillet 2012.
- **Doebelin, E. O., & Manik, D. N.**, Measurement Systems: Application and Design (5th ed.). McGraw-Hill, 2011.
- **Dorf, R. C., & Bishop, R. H.**, Modern Control Systems (12th ed.). Prentice Hall, 2011.
- **Fadier, E. & Garrigou, A.**“Ergonomie et prévention des risques professionnels.” Octarès Éditions, 2013.
- **Fraden, J.**, Handbook of Modern Sensors: Physics, Designs, and Applications (5th ed.). Springer, 2016.
- **Fraden, J.**, Handbook of Modern Sensors: Physics, Designs, and Applications, 4th ed. Springer, 2010.
- **Gary, J. H., Handwerk, G. E., & Kaiser, M. J.**, Petroleum Refining: Technology and Economics (5th ed.). CRC Press, 2007.
- **Groover, M. P.**, Automation, Production Systems, and Computer-Integrated Manufacturing (4th ed.). Pearson, 2015.
- **Gibilisco, S.**, Automated Systems for the Smart Home. McGraw-Hill, 2002.
- **Hartman, H. L., & Mutmanský, J. M.**, Introductory Mining Engineering (2nd ed.). Wiley-Interscience, 2002.
- **Himmelblau, D.M., & Riggs, J.B.**, Basic Principles and Calculations in Chemical Engineering (8th ed.). Prentice Hall, 2012.
- **Hollnagel, E.** “Safety-I and Safety-II: The Past and Future of Safety Management.” Ashgate Publishing, 2014.
- **Horowitz, P., & Hill, W.**, The Art of Electronics (3rd ed.). Cambridge University Press, 2015.
- **Huc, A. Y.**, Heavy Crude Oils: From Geology to Upgrading: An Overview. Editions TECHNIP, 2010.
- **INRS (Institut National de Recherche et de Sécurité).** “Hygiène et sécurité au travail : Principes et méthodes.” INRS, 2021.
- **International Energy Agency (IEA)**, World Energy Outlook 2023.
- **ISO (International Organization for Standardization)**, ISO Standards Catalogue for the Petroleum, Petrochemical and Natural Gas Industries, 2022.
- **Karray, F., & Silva, C. A.**, Soft Computing and Intelligent Systems Design: Theory, Tools and Applications. Addison-Wesley, 2004.

- **Kovacs.G.T.A**, Micromachined Transducers Sourcebook, McGraw-Hill, 1998.
- **Kularatna, N**, Electronic Circuit Design: From Concept to Implementation. CRC Press, 2008.
- **Levenspiel, O**, Chemical Reaction Engineering (3rd ed.). Wiley, 1999.
- **Luyben, W.L**, Process Modeling, Simulation and Control for Chemical Engineers (2nd ed.). McGraw-Hill, 2012.
- **Maluf.N and Williams.K**, An Introduction to Microelectromechanical Systems Engineering, 2nd ed., Artech House, 2004.
- **Malvino, A. P., & Bates, D. J**, Electronic Principles (8th ed.). McGraw-Hill Education, 2016.
- **Meyers, R. A. (Ed.)**, Handbook of Petroleum Refining Processes (3rd ed.). McGraw-Hill, 2004.
- **Leffler, W. L**, Petroleum Refining in Nontechnical Language (4th ed.). PennWell Books, 2011.
- **Ogata, K**, Modern Control Engineering (5th ed.). Prentice Hall, 2010.
- **Patranabis.D**, Sensors and Transducers, 2nd ed. PHI Learning Pvt. Ltd., 2003.
- **Perry, R.H., & Green, D.W**, Perry's Chemical Engineers' Handbook (8th ed.). McGraw-Hill, 2007.
- **REACH** (Registration, Evaluation, Authorisation and Restriction of Chemicals). Règlement (CE) n° 1907/2006 du Parlement européen.
- **Seider, W.D., Seader, J.D., & Lewin, D.R**, Product and Process Design Principles: Synthesis, Analysis, and Evaluation (3rd ed.). Wiley, 2010.
- **Siciliano, B., & Khatib, O. (Eds.)**, Springer Handbook of Robotics (2nd ed.). Springer, 2016.
- **Smith, R**, Chemical Process: Design and Integration (2nd ed.). Wiley, 2016.
- **ISO 14001:2015** – Environmental Management Systems – Requirements with Guidance for Use. International Organization for Standardization.
- **Speight, J. G**, The Chemistry and Technology of Petroleum (5th ed.). CRC Press, 2014.
- **Versteeg, H.K., & Malalasekera, W**, An Introduction to Computational Fluid Dynamics: The Finite Volume Method (2nd ed.). Pearson Education, 2007.
- **Webster, J. G. (Ed.)**, Measurement, Instrumentation, and Sensors Handbook. CRC Press, 2004.

- **Wolffenbuttel.R.F**, “MEMS technology in instrumentation: The past, present and future,” J. Micromech. Microeng., vol. 20, no. 1, pp. 012001, 2010.