



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية  
République Algérienne Démocratique et Populaire  
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي  
Ministère de l'Enseignement Supérieure et de la Recherche Scientifique

جامعة وهران 2 محمد بن أحمد  
Université d'Oran 2 Mohamed Ben Ahmed  
-----  
معهد الصيانة والأمن الصناعي  
Institut de Maintenance et de Sécurité Industrielle

**Département de Sécurité Industrielle et Environnement**

## MÉMOIRE

Pour l'obtention du diplôme de Master

**Filière :** Sécurité Industrielle  
**Spécialité :** Intervention, Prévention

### Thème

**La prise en compte de la dimension "ergonomie"  
dans la conception des installations pétrolières et  
gazières**

Présenté et soutenu publiquement par :

Nom : Moknine      Prénom : Taha

Devant le jury composé de :

<b>Nom et Prénom</b>	<b>Grade</b>	<b>Etablissement</b>	<b>Qualité</b>
Dr Benfekir Abderrahim	Maitre de conférences	IMSI, UNIV-ORAN 2	<b>Président</b>
Pr. LOUNIS ZOUBIDA	Professeur	IMSI, UNIV-ORAN 2	<b>Encadreur</b>
Dr Nadji Abdelkader	Médecin	IMSI, UNIV-ORAN 2	<b>Examineur</b>
Mr Matib Miloud	Maitre-assistant	IMSI, UNIV-ORAN 2	<b>Co-encadreur</b>

**Septembre 2017**

# REMERCIEMENT

Nous remercions ALLAH le Tout-Puissant qui nous aide et nous donne la patience et le courage durant ces longues années d'étude.

Nous tenons à saisir cette occasion et adresser nos profonds remerciements et nos profondes reconnaissances à Mme. LOUINIS ,et Mr MATIB Miloud notre encadrant de mémoire de fin d'étude, pour ses précieux conseils et son orientation ficelée tout au long de notre recherche.

Nous remercions les membres du jury pour l'intérêt qu'ils ont portés à cette étude, en commençant par Mr. Dr Benfekir Aberrahim a pour l'honneur qu'il nous a fait de présider ce jury et Mr. Nadji Abedelkader pour être examinateur de notre travail.

Enfin, nous adressons nos plus sincères remerciements à tous les personnes qui, par leur aide, leurs conseils, leur amour ou leur amitié nous ont toujours encouragées au cours de la réalisation de ce mémoire. Merci à tous et à toutes.

# DEDICACE

Avant tout, je remercie ALLAH le Tout-Puissant de  
m'avoir donné le courage et la patience pour  
réaliser ce travail malgré toutes les difficultés rencontrées.

Avec une grande émotion,

Je dédie ce modeste travail de fin d'étude

aux êtres les plus chères :

Mon père et ma mère que Dieu

les garde et les protège qui ont fait de moi

ce qui je suis aujourd'hui et qui ont veillé

de guider mes pas durant toute ma vie

par leurs aides, leur grands émotions et leur sacrifice.

A mes frère, à mes sœurs et à toute ma famille

A tous mes Proches et amis.

## Nomenclature

- EPFH** : Etude Probabiliste de fiabilité humaine
- HCR** : Human Cognitive Reability
- HEART** : Human Error Assessment and Reduction technique
- SHERRA** : Systematic Human Error Reduvtion and Perdition Approach
- SLIM** : Success Likelihood Method
- TESEO** : TechnicaEmpiricaStimaErroriOperatori
- THERP** : Technique for Human Error Rate Perdition
- AFNOR** : Agence Française de Normalisation
- CDCF** : Cahier Fonctionnel du Besoin
- DAO** : Dessin Assisté par l'Ordinateur
- CAO** : Conception Assisté par l'Ordinateur
- TMS** : Troubles Musculo-squelettique
- MCD** : Modèle de Conception Distribuée
- IRAD** : Innovative Risk Assessment Design
- PAG** : Performance Analysis Agent
- GNL** : Gaz Naturel Liquéfié
- DCS** : Système de Contrôle à Distance
- Nm** : Nanomètre
- FC** : Foot Candelpower (bougie de pied)
- Cd** : Candela
- MTPA** : Méga tonne par année
- SPL** : Niveau de Pression Acoustique
- dBA** : Unite Logartmique de Decibels
- In** : Inche
- OSHA** : Occupational Safety and Health Administration
- MSD** : musculoskeletal disorder
- IHM** : Interface Homme Machine
- FEES** : Fédération des Sociétés Européennes d'Ergonomie
- IEA** : International Ergonomic Association
- CREE** : Certification Européenne des Ergonomes
- ERP** : systèmes d'information intégrant théoriquement tous les besoins de l'entreprise
- ISO** : International Standardization Organization

**MTPA** : Mega Tone Par Année

## Liste des figures

- Figure I.1 : La roue de l'ergonomie.....12
- Figure II. 1 : le chemin de fer est un exemple de produit complexe apparu au moment de la révolution industrielle du XXI eme siècle.....14
- Figure II.2 : conception de produits - carrefour des discipline.....18
- Figure II.3 : Les différentes méthodes de conception ..... 19
- Figure II.4 : Interface Homme/Machine ..... 21
- Figure II.5 Modèle d'IRAD pour intégrer la sécurité au plus tôt en phase de conception du produit..... 31
- Figure II.6 : Calcul du niveau de risque auquel est expose un opérateur en fonction de sa trajectoire (à gauche) et son activité (à droite) ..... 32
- Figure III.1 : Chaine d'approvisionnement en gaz du complexe GL3/Z ..... 34
- Figure III.2 : Prise aérienne du complexe GL3/Z ..... 35
- Figure III.3 : Organisation de travail au sein du complexe..... 37
- Figure III.4 : Organigramme du département I GL3/Z..... 39
- Figure III.5 : Vue d'ensemble 3D de l'usine GL3/Z ..... 41
- Figure III.6 : Qualité de l'éclairage - éblouissement..... 50
- Figure III.7 : La direction de vibration par rapport au torse..... 52
- Figure III.8 : Utilisation d'une jauge de force pour mesurer une tache de poussée / tirage.....61
- Figure III.9 : Facteurs de risque qui influencent sur le poids de la charge ..... 62
- Figure IV.1 : Design adapte pour tous les travailleurs..... 65
- Figure IV.2: Design d'une hauteur ajustable. .... 66
- Figure IV.3 : Design d'une plateforme ajustable..... 67
- Figure IV.4 : La taille moyenne pour différentes populations .....68
- Figure IV.5 : Operateur passe entre deux équipements ..... 69
- Figure IV.6 : Espace minimum pour une bonne accessibilité..... 69
- Figure IV.7 : Echelle-escalier installe sur un toit flottant..... 71
- Figure IV.8 : Une vanne difficilement accessible par l'operateur (très bas).....73
- Figure IV.9 : Une plateforme de mauvaise conception..... 73
- Figure IV.10 : Une vanne bloquant le passage de l'operateur

- Figure IV.11 : Une vanne bien orientée pour faciliter son exploitation par l'opérateur ..... 75
- Figure IV.12 : Un baromètre bien positionnée/lisible..... 76
- Figure IV.13 : Une vanne inaccessible..... 77
- Figure IV.14 : Une vanne inaccessible.....77
- Figure IV.15 : Une vanne mal positionnée par rapport l'échèle.....78
- Figure IV.16 : Un baromètre très mal positionne inaccessible à l'opérateur....78
- Figure IV.17 : Une vanne inaccessible .....79
- Figure IV.17 : Un baromètre bien orienté mais très élevée ..... 79
- Figure IV.18 : Une plateforme de bonne conception ..... 80
- Figure IV.20 : Un compresseur mal conçu de point de vue maintenance ... 81
- Figure IV.21 : Carte iso phonique ..... 82
- Figure IV.22 : Modèle de fromage SWISS (JAMES REASON).....84

## Liste des tableaux

Tableau III.1 : L'effectif du complexe GL3/Z.....	37.
Tableau III.2 : Les heures œuvrées au niveau du complexe GL3/Z.....	37.
Tableau III.3 : Exemples de sources de bruit.....	51.
Tableau III.4 : Sources de stress.....	56.

## Table des matières

Introduction générale.....	5
<b>Chapitre I: Définition de l'ergonomie et des facteurs humains</b>	
I.1 Définition et historique de l'ergonomie : .....	2
I.2 La roue de l'ergonomie : .....	3
I.3 L'ergonomie en Europe et dans le Monde : .....	4
I.4 Pratique de l'ergonomie : .....	4
I.5 Terminologie : .....	6
I.5.1 Ergonomie de conception : .....	6
I.5.2 Ergonomie centrée utilisateur : .....	6
I.5.3 Ergonomie de correction ou d'adaptation : .....	6
I.5.4 Ergonomie cognitive : .....	6
I.5.5 L'ergonomie physique : .....	7
I.5.6 L'ergonomie organisationnelle : .....	7
I.5.7 Ergonomie des milieux de travail : .....	7
I.5.8 Analyse du travail : .....	7
I.5.9 Analyse de milieux de travail : .....	7
I.5.10 Anthropométrie : .....	7
I.5.11 Anthropomorphique : .....	7
I.5.12 Biomécanique : .....	8
I.5.13 Programme d'ergonomie : .....	8
I.5.14 Utilisabilité : .....	8
I.5.15 Utilité : .....	8
I.5.16 Facteurs humain : .....	8
I.6 Ergonomie et analyse de travail : .....	8
I.6.1 L'analyse ergonomique de travail : .....	8
I.6.2 Les objectifs d'étude de l'analyse du travail : .....	9

I.6.2.1 L'opérateur :	9
I.6.2.2 La tâche :	9
I.6.2.3 L'activité mise en œuvre pour réaliser sa tâche :	10
I.6.2.4 Le contexte dans lequel l'opérateur et sa tâche vont évoluer :	10
I.7 Facteurs humains :	11
I.7.1 Définition des facteurs humains :	11
I.7.2 Fiabilité humaine :	12
I.7.3 Erreur humaine :	13

## **Chapitre II: Définition de la conception ergonomique**

II.1 Historique de la conception :	15
II.2 Définition du produit, de la conception et de la conception de produit :	16
II.2.1 Produit :	16
II.2.2 Conception:	16
II.2.3 Processus de conception :	17
II.2.3.1 Processus de conception :	19
II.2.3.2 Obligation de concepteur :	19
II.2.3.3 Difficultés de coopération au sein d'équipe de conception :	20
II.2.3.4 Analyse fonctionnelle du besoin :	20
II.3 Interface homme/système :	21
II.4 Les outils numériques de conception :	22
II.4.1 La modélisation géométrique :	22
II.4.2 Dessin assisté par l'ordinateur DAO :	22
II.4.3 Conception assistée par l'ordinateur CAO :	23
II.4.4 Les mannequins numériques comme outils d'aide à une conception centrée sur l'homme :	23
II.5 Conception ergonomique :	24
II.5.1 La démarche de l'ergonomie dans le processus de conception :	24

II.5.1.1	Approche descendante : .....	25
II.5.1.2	L'approche ascendante : .....	25
II.5.1.3	L'approche de simulation : .....	25
II.5.2	L'intervention ergonomique proposée par Fadier : .....	25
II.5.3	La démarche de conception ergonomique proposée par Duchamp et Aaossat : .....	26
II.5.3.1	L'ergonomie de conception : .....	26
II.5.3.2	L'ergonomie de correction : .....	27
II.5.4	Le modèle d'intervention ergonomique participative : .....	27
II.6	Pourquoi une conception ergonomique ? : .....	28
II.6.1	Aspects Sociotechniques : .....	28
II.6.2	Aspects humain-humaino centriques : .....	28
II.6.3	Avantage de la conception ergonomique : .....	29
II.6.4	Inconvénient de la conception non ergonomique : .....	29
II.7	Conception pour la sécurité : .....	29
II.7.1	Démarches : .....	29
II.7.2	Méthodes : .....	30
II.7.3	Moyens : .....	31

### **Chapitre III: Problèmes ergonomiques dans les installations pétrolières et gazières**

Introduction:	.....	33
III.1	Présentation du complexe : .....	33
III.1.1	Présentation du complexe GL3/Z .....	34
III.1.1.1	L'emplacement de l'usine .....	34
III.1.1.2	Organisation de travail au sein du complexe : .....	36
III.1.1.3	L'effectif et les heures œuvrées (Juillet 2017) .....	37
III.1.1.4	Organisation de travail du département sécurité.....	37

III.1.2 Description technique des installations:.....	39
III.1.2.1 But des installations .....	39
III.1.2.2 Les principales installations du complexe :.....	40
III.1.2.3 Capacité de l'usine : .....	41
III.2 Problèmes ergonomiques dans le complexes GNL3Z :.....	42
III.2.1 Température :.....	42
III.2.1.1 Effets de la chaleur sur la performance :.....	43
III.2.1.1.1 Tâches cognitives :.....	43
III.2.1.1.2 Activités physiques: .....	44
III.2.1.2 Effets du froid sur la performance: .....	44
III.2.1.2.1 Tâches cognitives :.....	45
III.2.1.2.2 Activités physiques : .....	45
III.2.1.3 Effets de la chaleur sur la santé : .....	45
III.2.1.3.1 Environnement chaud :.....	45
III.2.1.3.2 Environnement froid .....	47
III.2.2 Illumination : .....	48
III.2.3 Bruit : .....	50
III.2.4 Vibration : .....	51
III.2.4.1 Effets de la vibration sur la performance : .....	53
III.2.4.1.1 Contrôle de motricité :.....	53
III.2.4.1.2 Performance visuelle :.....	53
III.2.4.2 Effets des vibrations sur la santé :.....	54
III.2.5 STRESS :.....	55
III.2.5.1 Sources et causes du stress .....	56
III.2.6 Troubles musculo-squelettiques : .....	58
III.2.7 Manutention manuelle :.....	59
III.2.7.1 Facteurs de risque de manutention manuelle :.....	60

## **Chapitre IV : Investigation sur l’implantation de la conception ergonomique**

IV.1 L’introduction des issues ergonomique dans la conception des nouvelles installations : .....	64
IV.2 Principes de conception ergonomique des lieux de travail :.....	64
IV.2.1 Les lieux de travail doivent être conçus pour convenir tous les utilisateurs :..	65
IV.2.2 Ajustement des lieux et les outils du travail : .....	65
IV.2.3 L’accessibilité physique des équipements : .....	67
IV.2.3.1 Allées et couloirs : .....	67
IV.2.3.2 Distances entre les équipements et les parties adjacentes d'équipement :	68
IV.2.3.3 Échelles, escaliers, rampes, caillebotis, et plateformes : .....	70
IV.2.3.4 Escaliers, échelles, et rampes : .....	70
IV.2.3.5 Passerelles et plates-formes : .....	71
IV.2.3.6 Maintenance et maintenabilité :.....	72
IV.3 Accessibilité physique à l'équipement : .....	72
VI.4 Aspect ergonomique sur la maintenance : .....	80
VI.5 Niveau de bruit au niveau des installations : .....	80
IV.6 Niveau de d'éclairage au niveau de la salle de maintenance : .....	81
IV.7 Les conséquences d'une faible conception ergonomique : .....	81
Conclusion générale .....	85

Bibliographie

### **Introduction générale**

L'analyse ergonomique est très importante et c'est à la responsabilité de chaque entreprise de prévenir contre les accidents pour éviter des conséquences critiques dans et en dehors de son site).

Les deux premiers chapitres sont une partie théorique

Le premier chapitre consiste dans un premier temps en une recherche sur la démarche globale d'analyse Ergonomique. Le début était de définir le cadre ergonomique du présent travail.

Le deuxième chapitre représente le processus de l'intervention ergonomique dans la conception des installations pétrochimiques et leur d'implantation, il est indispensable de commencer systématiquement par informer les utilisateurs et d'organiser le projet de manière à leur permettre d'y participer pleinement

La partie pratique est exposée dans les derniers chapitres, qui consistent à une description de la région d'ARZEW et l'unité de traitement du gaz (GNL3Z).

Pendant notre étude on a conclu, que la méthode ergonomique permet d'obtenir de résultats précis dans l'analyse des risques avec des manipulations simples.

En fin, nous espérons que notre travail a atteint les objectifs planifiés en utilisant les données ergonomiques.

## **Chapitre I: Définition de l'ergonomie et des facteurs humains**

### **I.1 Définition et historique de l'ergonomie :**

On nomme ergonomie « l'étude scientifique de la relation entre l'homme et les moyens, méthodes et milieux de travail », et l'application de ces connaissances à la conception des systèmes « qui puissent être utilisés avec le maximum de confort, de sécurité et d'efficacité par le plus grand nombre ».

Le terme « ergonomie » vient du grec « Ergo » travail et « Nomos » règles. C'est en 1949, lors de la première réunion de l'Ergonomics Research Society, que Murrell l'employa pour la première fois.

Les systèmes concernés par cette discipline peuvent être des espaces physiques de travail (par ex. synoptiques, contrôles-commandes), des processus de gestion de la production, des interfaces professionnelles ou grand public (on parle alors d'interface homme-machine), telles que des logiciels, des sites internet/intranet, ainsi que l'organisation du travail (rotation des horaires, organisation des services) ainsi que des modes de management.

L'ergonomie utilise des connaissances issues de la physiologie du travail, de la psychologie cognitive (mémoire, attention, perception, apprentissage...) et de la psycho-physiologie (vigilance, posture, condition de travail...), de la sociologie des organisations (répartition des fonctions, organisation de la chaîne de commandement, de la chaîne fonctionnelle, de la psychologie sociale, de la linguistique, entre autres : en fait toutes les sciences relatives à l'homme).

Elle est fondée sur des modèles de la situation de travail (en particulier celui de Jacques Christol, Jacques Leplat et Gilbert et Tersac) qui mettent l'accent sur la différence de nature entre la tâche (projet, consigne, du domaine virtuel, du futur) et l'activité (du corps dont le cerveau bien sûr) qui prend les postures et fait des mouvements, actionne des commandes, gère (consciemment ou non) des processus de pensée, communique avec autrui, organise ses actions etc.

Le premier trait dominant de l'analyse de cette activité, c'est que l'opérateur "régule" son activité en fonction de son environnement externe, de son état interne (fatigue par exemple) pour obtenir un maximum de régularité de la performance : accélération du rythme de travail pour rattraper du retard ou faire face à une urgence, modification du mode opératoire face à la mauvaise qualité des résultats obtenus...

Le second trait dominant, c'est la notion de compromis entre les exigences de la performance, (toujours explicitement ou implicitement présentes) et les exigences liées au respect des règles (de sécurité, de gestion, techniques, administratives...). L'observation de l'activité du travail constate toujours que ce compromis existe, et qu'il n'est pas construit comme le voudraient les organisateurs, en privilégiant la règle prescrite avant tout. La réalité est plus complexe, comme dans la vie courante.

Ce "compromis cognitif " pour reprendre le terme de René Amalberti; est aussi affecté par les aspects psychique de l'activité, dans la mesure où les études des aspects psychique de travail, de plus en plus nombreuses, montrent que la réalisation de la production nécessite de plus en plus non seulement de faire des compromis avec la sécurité (ce qui n'est jamais écrit) mais aussi avec sa peur, son stress, ses émotions etc. Ce compromis ne peut être étudié "en chambre", sans aller sur le terrain, auprès des opérateurs en activité, qu'il s'agisse de réaliser une machine, un poste de travail, ou une interface informatique : les normes et les règles ne suffisent jamais.

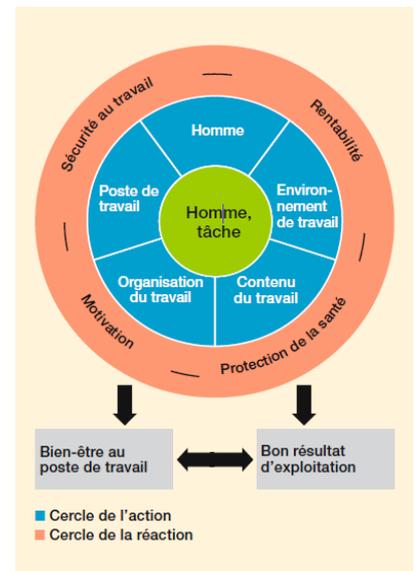
Le spécialiste des facteurs humains / ergonomie est une ressource qui doit être responsable d'élaborer des programmes, former les opérateurs et fournir les connaissances détaillées nécessaires pour mobiliser le personnel de l'usine.

**I.2 La roue de l'ergonomie :**

La fonction de l'ergonomie peut être mise en évidence à l'aide d'une représentation simple.

La roue de l'ergonomie est subdivisée en trois parties: le centre, le cercle de l'action et le cercle de la réaction.

Au centre se trouvent l'homme et la tâche. Il faut adapter le travail aux capacités et aux caractéristiques de l'être humain. Mais l'homme possède aussi une certaine capacité d'adaptation à la tâche à effectuer. Pour cette raison, nous trouvons également l'homme dans le cercle de l'action, qui est le domaine de l'ergonomie, en compagnie des facteurs poste de travail, organisation du travail, environnement de travail et contenu du travail. Tous ces facteurs influent sur les éléments du cercle de la réaction qui doit impérativement être puissant et équilibré si



**Figure I.1 : La roue de l'ergonomie**

on veut obtenir le bien-être au poste de travail et un bon résultat d'exploitation. Ces deux notions sont inséparables dès qu'il s'agit d'assurer un succès durable.

Le cercle de l'action peut être comparé à un film d'huile dans un roulement. Si l'huile est absente à un endroit, il se produit des frottements et de la chaleur. Sans apport de lubrifiant, le roulement se détériore. Les choses se passent de manière analogue dans le monde du travail: l'ergonomie doit lubrifier le roulement et permettre à la roue d'avancer en évitant au mieux les pertes dues aux frottements.

### **I.3 L'ergonomie en Europe et dans le Monde :**

Le développement de l'ergonomie a été assez équivalent dans les autres pays européens, et a donné naissance à tous les grandes sociétés d'ergonomie européenne, puis à l'**IEA** au niveau mondial (fonction en avril 1959, premier congrès 1961).

En 1994, sous l'impulsion des sociétés européennes et avec la reconnaissance de l'**IEA**, la certification européenne des ergonomes vit le jour avec le **CREE**. En 2004, la **FEES** (Fédération des Sociétés européennes d'Ergonomie) est fondée.

Le début du XXI<sup>ème</sup> siècle, avec l'émergence des pays "low cost" et la délocalisation des activités industrielles sur lesquelles s'est en partie construite l'ergonomie (la chimie, la sidérurgie) ont conduit les ergonomes à s'intéresser de plus près aux autres composantes de la vie économique : c'est en effet l'explosion des techniques de l'informatique à distance, l'internet, les **ERP** dans les entreprises (systèmes d'information intégrant théoriquement tous les besoins de l'entreprise, la gestion de la production, des stocks, des affaires, de la formation, le pointage des temps, la comptabilité...). Ces logiciels, très importants pour l'alignement des entreprises sur les conditions concurrentielles actuelles, modifient profondément l'organisation du travail, au-delà même de ce qu'avaient accompli les politiques de qualité (ISO 9000, TQM...). Les ergonomes participent aux spécifications de ces **ERP** en apportant leur connaissance du travail que rencontrent concrètement les opérationnels.

### **I.4 Pratique de l'ergonomie :**

Suivant la définition de l'ANACT, l'ergonomie rassemble des connaissances sur le fonctionnement de l'homme en activité afin de l'appliquer à la conception des tâches, des machines, des outillages, des bâtiments et des systèmes de production.

Après avoir été créé par un collectif de chercheurs (un physiologiste, un psychologue et un ingénieur : Floyd, Murrell et Welford) qui ont été confrontés pendant la guerre aux difficultés de conception des interfaces Homme-Machine, l'ergonomie a été pour longtemps captée par des spécialistes autoproclamés, qu'il s'agisse d'ergonomes d'entreprises ou d'ergonomes de conception. Les principes de l'ergonomie sont la vue globale des conditions de travail, la pluri et l'interdisciplinarité et la participation de tous les acteurs (donc de l'opérateur, c'est-à-dire du salarié qui occupe ce poste de travail) et la productivité du système Homme-Machine, productivité sans laquelle il n'y a pas de travail. La physiologie du travail, la psychologie du travail et l'ingénierie sont à l'origine de l'ergonomie, puis s'y sont rajoutées de la sociologie, de la biomécanique et de l'anthropométrie.

La majeure partie de la formation se fait par apport de connaissances sur le fonctionnement de l'homme et des organisations, par apprentissage de méthodes d'analyse du travail, et par des études de cas qui facilitent la mise en place de la méthodologie : analyse de la demande, recueil de données, premières hypothèses, analyse des tâches et analyse de l'activité par observation et entretien avec les opérateurs, élaboration d'un modèle de fonctionnement de l'opérateur, de l'atelier..., puis propositions d'aménagement (ou de conception), suivi de la réalisation, du démarrage, et enfin évaluation et suivi des conséquences du changement par analyse des indices socio-économiques et opinion des opérateurs. Par exemple pour l'amélioration des postes dans l'industrie : tables élévatrices, chariots manipulateurs, systèmes à ventouse, etc. Ces produits permettent de réduire le risque de troubles musculo-squelettiques.

L'intervention de l'ergonomie peut se situer soit au stade de la conception (de l'objet, du poste de travail ou de l'installation, de l'atelier, du processus...) c'est de l'ergonomie de conception, soit en correction d'un poste suite à un accident ou pathologie ou encore plainte des tenants du poste, ou lorsque les objectifs visés par l'entreprise ne sont pas atteints (qualité ou productivité insuffisante, plaintes des opérateurs...) ou lorsque l'entreprise souhaite se lancer dans une réorganisation, mettre en place un nouveau système informatique...

Les techniques et les outils de simulation (d'interface de système, d'architecture, d'objets...) qui permettent de visualiser en 3D et avant même le moindre début de réalisation la future interface, ou la future salle de contrôle, le futur

poste de travail... ont beaucoup contribué à faire évoluer le métier de l'ergonomie, et le regard que portent sur lui les industriels, qui doivent dans les projets industriels, identifier le plus tôt possible les problèmes liés aux futures situations pour les opérateurs.

### **I.5 Terminologie :**

L'objectif est de proposer des définitions des principaux termes utilisés par les ergonomes pour identifier et décrire leurs objets d'étude.

Parmi les termes de spécialités qu'on rencontre dans le présent mémoire :

#### **I.5.1 Ergonomie de conception :**

L'ergonomie de conception consiste à anticiper et structurer l'aménagement des locaux, des équipements et organisation globale du travail dans le but d'optimiser les conditions liées à l'activité future de travail lors de la construction ou de la transformation d'un établissement.

#### **I.5.2 Ergonomie centrée utilisateur :**

Méthode de conception qui place l'utilisateur final comme pivot du processus de conception. Le cycle de conception centré utilisateur défini par la norme ISO13407 est un cycle itératif(en boucle). La comparaison des caractéristiques du produit aux exigences d'organisation et d'utilisation détermine la fin de la boucle.

#### **I.5.3 Ergonomie de correction ou d'adaptation :**

Méthodes d'ergonomie dont le but est de détecter puis de corriger le dysfonctionnement.

#### **I.5.4 Ergonomie cognitive :**

L'ergonomie cognitive se base sur les connaissances concernant le fonctionnement psychologique humain pour y adapter notre environnement.

Sont prises en compte les problématiques de perception, de langage, de mémoire et de raisonnement.

**I.5.5 L'ergonomie physique :**

Qui étudie l'activité physique de l'utilisateur (avec p.ex. comme thèmes d'étude les postures de travail, les mouvements répétitif, l'aménagement des espaces de travail,...).

**I.5.6 L'ergonomie organisationnelle :**

Qui étudie l'utilisateur évoluant dans une structure organisationnelle (avec p.ex. comme thèmes d'étude le travail coopératif, le télétravail, l'aménagement du temps de travail, le travail en équipe,...).

**I.5.7 Ergonomie des milieux de travail :**

Précise les exigences et les lignes directives visant l'application systématique des principes d'ergonomie à l'élaboration, à la conception, à la gestion et à l'amélioration des systèmes de travail.

**I.5.8 Analyse du travail :**

Technique en ergonomie, qui consiste à étudier précisément le travail d'un utilisateur. Effectuer une analyse du travail qui permet de vérifier, ou faire en sorte, que l'environnement de travail soit bien adapté aux utilisateurs. Dans le domaine de la conception, elle permet de développer des produits en accord avec les situations de travail des utilisateurs.

**I.5.9 Analyse de milieux de travail :**

Examen de santé et de sécurité portant sur les troubles musculo-squelettiques liés au travail. Façon structurée de cerner les emplois et les postes de travail qui peuvent présenter des dangers, et les causes des facteurs de risque. L'analyse du milieu de travail fait partie du programme d'ergonomie.

**I.5.10 Anthropométrie :**

Reposant sur les mensurations du corps humain. Les données anthropométriques sont utiles pour la conception des objets comme un fauteuil que doit utiliser une personne.

**I.5.11 Anthropomorphique :**

Sert à décrire des objets présentant des caractéristiques humaines.

**I.5.12 Biomécanique :**

Etude qui utilise les lois de la physique et les principes d'ingénierie pour décrire les mouvements des parties du corps et les forces qui agissent sur elles pendant des activités quotidiennes normales.

**I.5.13 Programme d'ergonomie :**

Méthode systématique (semblable à un programme de prévention des accidents ou d'amélioration de la qualité) servant à évaluer, à prévenir et à surveiller les troubles musculo-squelettiques liés au travail. Les quatre éléments d'un programme d'ergonomie typique sont : analyse du milieu de travail, prévention et surveillance des dangers, gestion médicale, et formation et éducation.

**I.5.14 Utilisabilité :**

Recouvre plusieurs critères : facilite d'utilisation, facilite d'apprentissage, utilisation efficace, utilisation sans erreurs et satisfaction de l'utilisateur.

**I.5.15 Utilité :**

L'application doit satisfaire un besoin, permettre la réalisation des tâches ou des sous-tâches, la question de l'utilité d'une application est souvent liée à celle des fonctionnalités, mais concerne aussi la pertinence des éléments de l'interface.

**I.5.16 Facteurs humain :**

Capacités et limites humaines à considérer lors du design d'un système efficace et sécuritaire. Traditionnellement, en ingénierie et en design industrielle, dans le but d'améliorer les performances de systèmes complexes comme ceux liés au domaine de l'aviation.

**I.6 Ergonomie et analyse de travail :****I.6.1 L'analyse ergonomique de travail :**

L'ergonomie n'est pas «l'application aveugle de recettes toutes faites» mais une analyse pratique «adaptée aux problèmes spécifiques du terrain». D'une manière générale, l'analyse du travail est une démarche utilisée en ergonomie, mais également en psychologie du travail et en sociologie, pour étudier le fonctionnement réel des situations de travail. Dans le cadre par exemple des interfaces Homme-Machine

(IHM). La démarche d'analyse du travail a pour but d'étudier, sous l'angle ergonomique, les différents aspects de l'interaction entre l'homme et la machine, afin d'organiser les activités futures probables des utilisateurs.

### **I.6.2 Les objectifs d'étude de l'analyse du travail :**

La démarche d'analyse du travail permet, grâce à un panel de techniques de recueil de données, d'appréhender une situation de travail dans son ensemble en s'intéressant aux quatre objets d'étude qui sont l'opérateur désigné par la personne qui effectue la tâche, la tâche prescrite et réelle, l'activité mise en œuvre par l'opérateur pour effectuer sa tâche et le contexte dans lequel l'opérateur et sa tâche vont évoluer.

#### **I.6.2.1 L'opérateur :**

Pour effectuer sa tâche, l'utilisateur déploie une activité déterminée par ses propres caractères. Ces caractéristiques peuvent être d'ordre physiologique c'est-à-dire tenant compte de l'âge, du sexe, de l'état de fatigue. Elles peuvent être d'ordre psychologique c'est-à-dire en fonction de l'expérience de l'application, de l'expérience de la tâche, de la motivation à utiliser l'outil, du savoir-faire dans le domaine informatique, du caractère occasionnel ou permanent de l'utilisation;

Mais aussi d'origine psychosociologique en liaison avec les motivations, le statut. Les utilisateurs n'ayant pas tous les mêmes caractéristiques, on comprend la nécessité de développer des applications adaptables à leurs différents profils et à l'évaluation de leurs capacités d'expertise.

#### **I.6.2.2 La tâche :**

L'ergonomie établit une distinction entre la tâche prescrite, ce que l'opérateur doit faire et qui est défini par l'organisation, et la tâche réelle, ce que l'opérateur fait réellement. Plus précisément, la tâche prescrite ou travail prescrit recouvre tout ce qui organise le travail et la définit, par écrit ou non, pour chaque membre d'une structure donnée. Autrement dit, c'est la manière officielle de faire les choses. On trouve dans cette tâche prescrite des éléments tels que les objectifs à atteindre en échange du salaire, la manière de les atteindre, les consignes et les procédures à suivre, les moyens techniques mis à disposition, la répartition des tâches entre les différents opérateurs, les conditions sociales comme les qualifications et le salaire, l'environnement physique de travail. La tâche réelle ou travail réel correspond au

travail réel de l'opérateur. Plus précisément, la tâche réelle correspond à la manière dont l'opérateur pense qu'il agit. La manière dont il agit réellement, c'est son activité.

### **I.6.2.3 L'activité mise en œuvre pour réaliser sa tâche :**

L'activité est la conduite mise en œuvre par l'opérateur pour effectuer sa tâche. L'activité est déterminée par les conditions de travail, la tâche prescrite, la tâche réelle, les caractéristiques de l'opérateur. Ainsi, deux opérateurs à qui on demande de réaliser une tâche prescrite, c'est-à-dire deux opérateurs à qui on assigne un même objectif, ne déploieront pas la même activité pour réaliser cette tâche et atteindre cet objectif. Analyser l'activité d'un opérateur doit permettre de comprendre comment cet opérateur atteint l'objectif fixe, donc la tâche prescrite, et s'il n'y parvient pas, pour quelles raisons. On remarque que l'analyse de l'activité est une étape délicate dans la mesure où l'ergonomie vient sur le «territoire» des opérateurs et dégage leurs pratiques réelles qui peuvent parfois être interdites mais toutefois tolérées. Il doit aussi, avant de diffuser l'information relative aux pratiques réelles et plus particulièrement aux pratiques non autorisées, demander impérativement l'accord des personnes observées. Il doit essayer de comprendre et d'expliquer ces pratiques réelles afin de pouvoir supprimer celles qui sont inutiles ou inadaptées, en gardant celles qui sont pertinentes.

### **I.6.2.4 Le contexte dans lequel l'opérateur et sa tâche vont évoluer :**

Par contexte, on entend environnement de travail, c'est-à-dire un ensemble de composants que sont les objectifs de travail de l'opérateur définis par l'organisation correspondant la tâche prescrite, le temps c'est-à-dire les horaires, l'organisation du travail et l'environnement physique.

En théorie, il est souhaitable d'obtenir le maximum d'informations sur la situation de travail. Mais dans la pratique, l'ergonomie travaille sous la contrainte du temps imparti pour l'intervention, disponibilités des opérateurs, budget, etc. la difficulté pour l'ergonome est donc de trouver le bon équilibre entre le niveau de détail des informations recueillies et l'utilité de ces informations.

En effet, il existe un grand nombre de techniques permettant d'analyser la situation de travail. Dans l'absolu, il n'y a pas de techniques plus valables que d'autres. Ce n'est que relativement à la situation étudiée que l'ergonomie peut faire un choix

pertinent, en prenant notamment en compte la faisabilité. Ces techniques ne sont pas exclusives et peuvent se compléter.

## **I.7 Facteurs humains :**

### **I.7.1 Définition des facteurs humains :**

Le terme «facteur humain» est défini par« le corps des faits scientifiques concernant la diversité et la variabilité humaine, recouvrant les aspects biomédicaux, cognitifs, environnementaux, physiologiques, psychologiques et psychosociaux. Les facteurs humains incluent les principes et les applications dans les domaines de l'ergonomie, de la sélection du personnel, de la performance à l'emploi et de l'évaluation de la performance humaine». Selon la norme FD Z 68-002 [AFNOR 93] le terme facteur humain désigne «les connaissances scientifiques applicables à une situation de travail et leur mise en œuvre afin de modifier la situation vers un objectif donné».

En conception, les méthodes associées au courant « Human Factors » font appel à l'expérimentation sur un nombre restreint de variables contrôlées, alors que l'ergonomie s'attache davantage à l'analyse de situations de références réelles. Selon le projet de norme Pr. EN 50126 [CENE 94a], les facteurs humains concernent« les aspects des caractéristiques humaines qui ont un effet sur l'obtention des objectifs d'un système. Ils ont trait aux aspects anatomiques, physiologiques et psychologiques de l'être humain et à son comportement, dans la mesure où ces aspects et ce comportement ont un effet sur le système concerné». Ce terme est également défini par Amalberti [Amalberti et Mosneron Dupin 97] comme « l'ensemble de connaissances sur l'opérateur humain et de méthodes visant l'adéquation entre l'opérateur humain et son travail»).

Le « facteur humain » est l'expression par laquelle les spécialistes de la sécurité des personnes et de la sûreté des installations désignent le comportement des hommes au travail. Il est fréquemment invoqué dans l'analyse des catastrophes industrielles, des accidents du travail, et dans les procès ou les commissions d'enquête. On lui associe l'idée de faute. Paradoxalement, cette conception négative de l'intervention humaine repose sur une confiance sans faille dans la technique, et sur une méconnaissance des sciences humaines.

**I.7.2 Fiabilité humaine :**

La fiabilité humaine est « la probabilité pour qu'un individu, une équipe, une organisation humaine, accomplisse une mission dans des conditions données, à l'intérieur de limites acceptables, pendant une certaine durée » [Nicolet et al. 89]. La fiabilité humaine est une technologie (de mise en œuvre de connaissances sur l'homme au travail) dont l'objet est l'aménagement du couplage entre les composantes humaines et techniques d'un système, afin que celui-ci réponde plus efficacement à sa tâche ou à sa mission [Leplat et De Terssac, 90]. La Norme CEI 300-3-9 [CEI 95] donne quelques précisions sur l'appréciation de la fiabilité humaine (HRA). La HRA traite de l'impact des opérateurs humains et des agents de maintenance sur la performance du système et peut être utilisée pour évaluer les influences des erreurs humaines sur la sécurité et la productivité. La HRA est une discipline qui rassemble plusieurs domaines tels que les techniques de fiabilité, la psychologie ou l'ergonomie

Elle identifie les possibilités de récupération d'erreurs (actions qui peuvent remédier à des erreurs précédentes). Selon cette norme, la HRA comporte trois étapes.

- La première étape concerne l'analyse de l'interface homme-machine qui a pour but de caractériser la tâche à analyser pour identifier l'erreur humaine et évaluer l'IHM.
- La deuxième étape consiste à identifier l'erreur humaine. Cette étape permet de cerner les actions erronées lors de l'exécution d'une tâche ainsi que les causes d'actions erronées, de suggérer des mesures pour réduire la probabilité d'erreurs humaines, d'améliorer les possibilités de récupération, de réduire les conséquences d'actions erronées et enfin de fournir des données d'entrée pour la gestion du risque.
- La troisième étape, dont l'objectif est la quantification de la fiabilité humaine, permet d'estimer la probabilité d'exécution correcte d'une tâche ainsi que la probabilité des actions erronées.

Différentes méthodes et approches ont été élaborées en matière de fiabilité humaine :

- Approche de Reason;
- Classification des erreurs de Norman;

- Typologie des erreurs de Nicolet;
- EPFH, étude probabiliste de fiabilité humaine;
- HCR, Human Cognitive Reability Correlation;
- HEART, Human Error Assessment and Reduction Technique;
- SHERPA, Systematic HUMAN Error Reduction and Prediction Approach;
- SLIM, Success Likelihood Method;
- TESEO, TechnicaEmpiricaStimaErroriOperatori;
- THERP, Technique for Human Error Rate Prediction;
- Modèle de Rasmussen;
- Analyse du travail;
- Méthode MAFERGO;

### **I.7.3 Erreur humaine :**

Le terme «erreur humaine» a un sens générique, qui couvre tous les cas où une séquence planifiée d'activités mentales ou physiques ne parvient pas à ses fins désirées, et quand ces échecs ne peuvent être attribués à l'intervention du hasard [Reason 90]. Selon A. Villemeur [Villemeur 88], l'erreur humaine est définie comme une déviation par rapport à une action, à une séquence d'actions ou à une stratégie supposées optimales et servant de référence. Elle résulte de dysfonctionnements au niveau des activités sensorielles, mentales ou physiques de l'opérateur humain. Reason a introduit une typologie des erreurs qui distingue deux types d'actions [Reason 90] : les actions non voulues (l'intention d'agir correctement était présente) qui comportent les rates liées à l'exécution des actions et les lapsus ou échecs du stockage de l'information ainsi que les déficiences du jugement qui concernent notamment les fautes et les échecs de la planification. Selon R. Amalberti et F. Mosneron- Dupin [Amalberti et Mosneron- Dupin 97], l'erreur est l'écart par rapport à une action, une séquence d'actions ou une stratégie servant de référence. Une erreur est susceptible de conduire à une défaillance. Une défaillance est un événement survenant lorsque le comportement du système s'écarte de la fonction attendue.

Les erreurs humaines sont souvent dépendantes [Villemeur, 88] : une erreur peut en entraîner une autre. Il s'agit d'un écart entre le comportement de l'opérateur et ce qu'il aurait dû être. Il existe plusieurs causes de la défaillance humaine : erreur humaine, incapacité humaine d'origine interne (maladie.. .), incapacité humaine

d'origine externe (perturbation des conditions de travail, formation insuffisante.. .), etc. Dans la littérature, on distingue différents types d'erreurs : erreur opératoire, erreur de représentation et erreur de conception.

- L'erreur opératoire est une action incorrecte ou non réalisée en temps voulu lors de la conception des systèmes, il faut être conscient que l'opérateur humain dispose bien souvent de très peu de temps pour réagir ;
- L'erreur de représentation résulte généralement d'une mauvaise interprétation de l'opérateur humain au travers de sa propre image mentale du système ;
- Enfin l'erreur de conception est définie comme l'inadéquation des systèmes aux besoins de l'opérateur.

Il existe plusieurs facteurs favorisant l'occurrence d'erreurs [Swain et Guttman 83] : facteurs externes (situation de travail, équipement), facteurs internes (formation, condition physique) et facteurs de stress (d'origine physiologique ou psychologique).

## Chapitre II: Définition de la conception ergonomique

### II.1 Historique de la conception :

Si on considère que concevoir, c'est avant tout imaginer et construire, cette activité accompagne l'Homme depuis longtemps. Ainsi, sa compréhension et sa maîtrise le préoccupent depuis plusieurs millénaires puisque les premières tentatives de formalisation de la conception datent du premier siècle avant Jésus Christ. Il s'agit d'un traité réalisé par l'architecte romain Vitruve.

Jusqu'à la fin du XIX<sup>ème</sup> siècle, la conception s'apparentait à une activité artisanale: on reproduisait un savoir-faire transmis de génération en génération. Cependant, dès le début de ce XIX<sup>ème</sup> siècle, le premier embryon d'une véritable structuration de l'activité de conception apparaît à travers la création de « recettes de conception ». L'allemand Ferdinand REDTENBACHER en fut le principal instigateur. En fait, celles-ci permettent d'adapter les caractéristiques techniques d'un objet donné aux besoins d'un client à travers un paramétrage rudimentaire. Ce premier travail permet d'asseoir un savoir-faire et de réduire le temps et le coût de conception, mais il présente l'inconvénient de ne pas faire évoluer l'objet...

Il faut ensuite attendre le XIX<sup>ème</sup> siècle et sa révolution industrielle pour voir un nouvel effort de structuration de l'activité de conception. En effet, les mécanismes produits à cette époque sont de plus en plus complexes et de plus en plus coûteux à l'image des machines à vapeur et plus précisément du chemin de fer (voir figure 1). Par conséquent, ils ne peuvent plus être l'œuvre d'une seule personne, mais ils deviennent des réalisations collégiales.



Figure II.1 : le chemin de fer est un exemple de produit complexe apparu au moment de la révolution industrielle du XIX<sup>ème</sup> siècle

**II.2 Définition du produit, de la conception et de la conception de produit :****II.2.1 Produit :**

Le «produit» est défini comme un «bien fabriqué par l'entreprise ; résultat d'une activité créative s'exerçant sur les matières (note : commercialement, ce résultat ne devient un produit que s'il répond à un besoin, ce qui le rend susceptible d'être vendu sous un nom qu'en individualise l'état et parfois même la qualité)» [office de la langue française 2002]. De façon générale, tous les produits sont classés comme biens de consommation destinés au consommateur final, biens d'équipement ou biens intermédiaires destinés à produire d'autres biens. Par conséquent, on estime que le concept de «produit» recouvre tous les biens et services qui visent à satisfaire des besoins physiologiques, psychologiques ou sociaux du consommateur. [Lim 2003]

**II.2.2 Conception:**

"La conception est un processus qui permet de transformer des besoins en un produit en s'appuyant sur des métiers essentiels". Les besoins peuvent être exprimés par le client ou par la propre entreprise. Il s'agit de définir des fonctions qui vont satisfaire le besoin, de déterminer des composants qui répondent aux fonctions et de « construire » le système proposé avec les composantes déterminées et les métiers identifiés. Le concepteur doit élargir son champ de réflexion quant à la prise en compte des aspects santé, sécurité, et ergonomie au meilleur moment.

Selon le dictionnaire de l'académie française, la conception est une activité de l'esprit en vue de la compréhension ou de l'élaboration de quelque chose. C'est une action de former le concept d'un objet et, d'appréhender un objet par la pensée ; c'est une action de former dans son esprit, d'imaginer, d'inventer. C'est aussi une idée qui guide la création d'une œuvre et assure son unité. La conception est ce que l'esprit crée, produit.

La conception est à la fois l'action d'élaborer quelque chose dans son esprit ou de le concevoir et le résultat de cette action [Simon 1969]. La conception d'un produit va consister plus précisément en l'élaboration de l'aspect fonctionnel, esthétique et socio-culturel et l'aspect économique de la réalisation [Maurel 1992, Vitrac1984, Lim2003].

Dans le cadre de notre recherche, nous nous intéressons à la conception de produits en tant que passage d'un état immatériel (idée, concept, fonction) à un état matériel du produit (plan, maquette, prototype), disponible sur le marché [Suh 2001].

Ce passage d'un état immatériel à un état matériel peut se faire suivant différents processus. Par conception, nous entendons conception de produit ou de service. Celle-ci, dans ses premières phases a pour mission de concrétiser de manière progressive une idée en produit industrialisé, en milieu industrielle, la conception est bien une activité collective. Plusieurs acteurs de divers services travaillent ensemble pour mener à bien le projet de conception. Ainsi, la confrontation des points de vue de plusieurs acteurs, souvent complémentaires, permet d'arriver à des compromis pour concevoir le produit-usine industrielle. Toutefois, si la conception est collective, il ne faut pas oublier la complémentarité que les activités individuelles apportent aux activités collectives et vice versa.

### **II.2.3 Processus de conception :**

Basé sur une approche systématique constituée de quatre phases :

- définition du problème : cette étape s'intéresse à la définition du contexte économique, l'expression et la validation du besoin client, la traduction de ce besoin en termes de spécifications fonctionnelles synthétisées dans un cahier des charges fonctionnel ;
- innovation/recherche de solutions possibles (conceptual design) : après avoir mené une étude d'analyse fonctionnelle interne (conduisant à l'architecture fonctionnelle du produit), cette phase s'attache à ouvrir le plus largement possible l'espace des solutions possibles par la recherche de principes constructifs a priori envisageables (séances de créativité, brainstorming, recherche de principes innovants etc.). Une analyse de faisabilité permet de choisir la meilleure solution au regard des critères coût/qualité/délai ;
- conception préliminaire (embodiment design) : les principes constructifs choisis permettent de définir l'architecture technique du produit. Cette architecture permet d'initier le travail collaboratif ;
- conception détaillée (detail design) : cette phase a pour objectif de définir complètement le produit et vérifier qu'il satisfait aux spécifications fonctionnelles.

Plusieurs allers et retours entre ces phases peuvent être nécessaires avant d'arriver à une solution acceptable et optimale : on parle alors de boucle de conception. Les principales décisions de conception sont prises durant les phases dites amont (avant la phase de conception détaillée) : elles ont un impact fort sur l'ensemble des autres phases du cycle de vie du produit.

Il existe trois types de disciplines qui participent au processus de conception. Il s'agit des disciplines classiques – propres à l'ingénieur (la chimie, la mécanique, les sciences des matériaux, l'informatique, l'électronique,...), des disciplines nouvelles (sécurité, qualité, fiabilité,...) et des disciplines carrefours (les sciences du comportement, la psychologie, les psychosociologies, le marketing, la design, la créativité, l'ergonomie...). Ces dernières traversent les autres disciplines appartenant au processus de conception, permettant ainsi aux différents acteurs de se croiser et de confronter les contraintes spécifiques à leurs métiers.

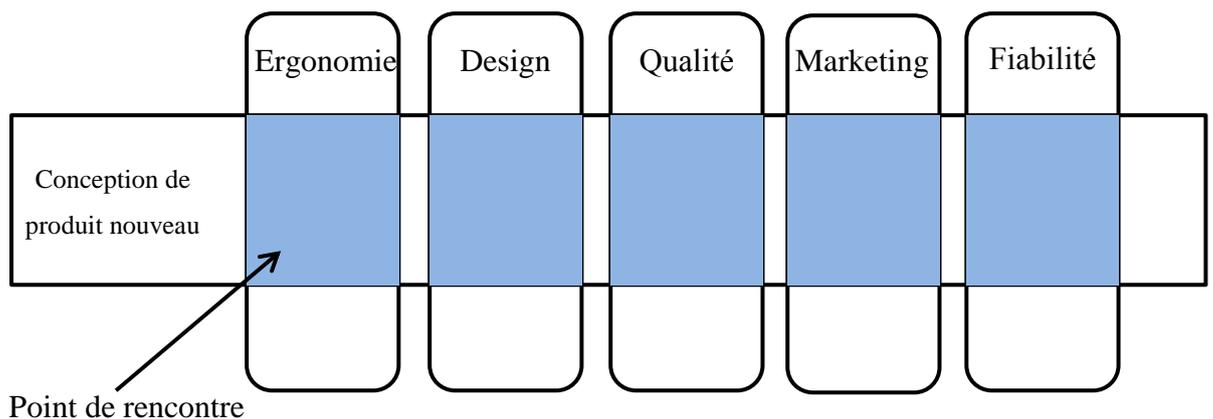


Figure II.2 : conception de produits - carrefour des disciplines

Et ces confrontations dénommées "points de rencontres" ne sont pas toujours faciles. En effet, le processus de conception est considéré comme " un lieu de tension entre un objectif commun et une grande hétérogénéité d'objectifs, de compétences, de statuts, de positions hiérarchiques, d'intérêts, de valeurs. D'origines multiples, les acteurs de la conception ont souvent du mal à faire converger leur travail.

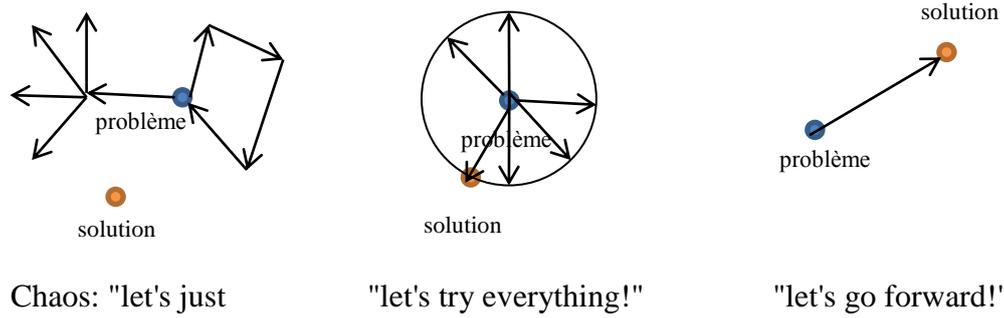


Figure II.2 : Les différentes méthodes de conception

**II.2.3.1 Processus de conception :**

- Définition d'un besoin socio-économique ;
- Formation d'une équipe de conception ;
- Formulation des problèmes ;
- Etablissement d'un cahier de charge ;
- Etablissement des critères de propriétés ;
- Recherche de solution et leur évaluation ;
- Choix de solution optimale ;
- Etablissement de la documentation (projet) ;
- Réalisation (modélé, prototype).

**II.2.3.2 Obligation de concepteur :**

- Identifier les capacités et les compétences d'opérateurs ;
- S'assurer que les tâches sont définies comme unités de travail ;
- S'assurer qu'elles représentent une contribution significative ;
- Prévoir le recours à une variété de compétences ;
- Prévoir un degré approprié de liberté pour l'opérateur ;
- Prévoir un retour d'information sur l'exécution des tâches ;
- Fournir les moyens permet de développer les compétences ;
- Eviter toute surcharge et sous-charge de travail ;
- Eviter les actes répétitifs (monotonie) ;
- Eviter le travail solitaire.

**II.2.3.3 Difficultés de coopération au sein d'équipe de conception :**

- Manque de temps ;
- Réticence à partager son savoir-faire ;
- Terminologie et langage spécialisés incompréhensibles ;
- Différences de niveaux de connaissances ;
- Tendance à sous-évaluer les connaissances de partenaire ;
- Sous-évaluation de besoins informatifs de partenaires ;
- Réticence d'empiéter sur terrain des autres.

**II.2.3.4 Analyse fonctionnelle du besoin :**

Créée à la fin des années 40 par la société General Electric, l'analyse fonctionnelle a vite été utilisée par les industriels ayant à faire face à des défis économiques et stratégiques importants. Elle franchit l'Atlantique et le Pacifique dans les années 60.

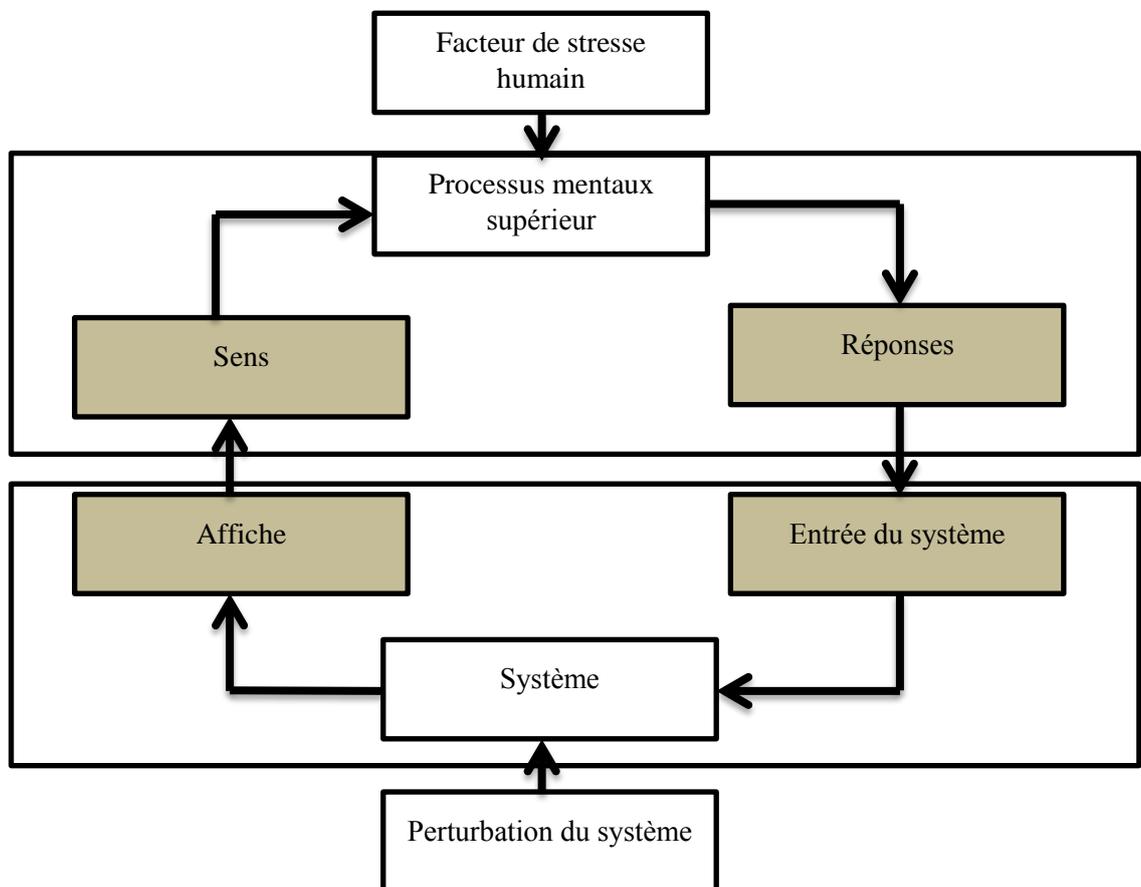
D'après la norme AFNOR NF X 50-151 : 1991, l'analyse fonctionnelle est une démarche qui amène à s'interroger sur les réelles attentes des utilisateurs par rapport à un produit ou à un service. Elle comporte généralement les étapes suivantes :

- la recherche de l'information nécessaire pour identifier les différentes phases du cycle de vie de produit depuis son stockage jusqu'à son retrait de service, en passant par son utilisation "pure". Pour chaque situation, il est recommandé de lister les éléments, personnes, matériels, matières qui constituent l'environnement du produit ;
- l'ordonnancement et la qualification des fonctions précédemment identifiées (arbre fonctionnel) ;
- la définition des critères qui permettront d'effectuer le choix d'une solution technique ;
- la hiérarchisation des fonctions soit en associant directement un coefficient à chaque fonction, soit en composant chaque fonction à toutes les autres en jugeant si elle est "plus important" ou "moins important".

C'est une démarche pluridisciplinaire qui doit être menée au sein d'un groupe de travail réunissant les différents acteurs de la conception. Les résultats de l'analyse fonctionnelle sont formalisés dans le Cahier Fonctionnel du besoin (CDCF).

### II.3 Interface homme/système :

D'une façon générale dont les opérateurs interagissent avec l'équipement de l'installation est de surveiller les écrans d'instruments et de manipuler le processus via des commandes ou des commutateurs sur des panneaux de commande ou un clavier. Par conséquent, une bonne conception des écrans qui fournissent des informations à l'opérateur au sujet de l'état du processus et des dispositifs de contrôle qui sont disponibles pour l'opérateur pour manipuler le processus peut réduire le risque d'erreur. L'interaction de l'opérateur avec les commandes et les affichages est représentée par les parties ombrées de l'interface du homme/système illustrées dans la figure II.5.



**Figure II.5 :** Interface Homme/Machine

Cette partie explique comment les affichages et les contrôles doivent être conçus ergonomiquement pour minimiser les risques d'erreur humaine.

**II.4 Les outils numériques de conception :**

Les outils numériques sont aujourd'hui des outils incontournables de l'activité de conception. Ils constituent une aide indispensable pour analyser, dimensionner, représenter et évaluer ou optimiser un produit de manière fiable et rapide. Ceci étant dit, leurs puissants atouts sont souvent accompagnés d'importantes contraintes. Celles-ci sont intrinsèquement liées à leur technologie et aux concepts sur lesquels ils reposent.

**II.4.1 La modélisation géométrique :**

La modélisation géométrique est apparue au cours des années soixante dans le cadre du développement des premières machines d'usinage à commande numérique et de l'informatique. Elle était portée par de grandes entreprises de l'industrie automobile, aéronautique et spatiale.

**II.4.2 Dessin assisté par l'ordinateur DAO :**

Le dessin assisté par ordinateur (DAO) est une discipline permettant de produire des dessins techniques avec un logiciel informatique. On le distingue de la synthèse d'image dans la mesure où il ne s'agit pas du calcul rendu d'un modèle numérique mais de l'exécution de commandes graphiques (traits, formes diverses...). De ce fait, en DAO, la souris et le clavier remplacent le crayon et les autres instruments du dessinateur.

Les dessins produits sont le plus souvent réalisés en mode vectoriel (traits cohérents), alors que l'image de synthèse est une association de pixels. En d'autres termes, les logiciels de DAO attribuent des coordonnées (X, Y pour les plans 2D et X, Y, Z pour les modèles 3D). Chaque élément d'un dessin est appelé entité et chaque entité contient donc des propriétés de couleur, d'épaisseur, de calque, de type de ligne, etc.

L'intérêt de la DAO, est d'abord celui de l'informatique, c'est-à-dire essentiellement un apport de praticabilité dans la gestion des documents, facilitant l'édition de modifications, l'archivage, la reproduction, le transfert de données, etc.

Il existe autant de logiciels de DAO que de métiers utilisant le dessin. Le mécanicien, l'architecte, mais aussi l'électricien et le géomètre disposent aujourd'hui d'outils facilitant la création d'un plan, d'un schéma, avec des commandes orientées

métiers, des bases de données adaptées, et aussi des catalogues de composants fournis par les constructeurs.

#### **II.4.3 Conception assistée par l'ordinateur CAO :**

la CAO car aujourd'hui celle-ci désigne un ensemble très variable d'outils (modélisation géométrique, simulation numérique, gestion de données...). Ainsi, dans le cadre de ce paragraphe nous en limitons le périmètre aux seuls logiciels permettant de modéliser la géométrie d'une pièce ou d'un mécanisme. Par conséquent, ceux-ci permettent de générer deux types de modèles :

- le modèle géométrique tridimensionnel ;
- la mise en plan.

Elle s'appuie sur les recherches préalables de concepts et sur le dimensionnement des architectures qui en découlent. Il est important de souligner que non seulement elle permet de décrire le produit afin de pouvoir le fabriquer, mais en plus elle génère les données sur lesquelles s'appuieront les outils d'évaluation et d'optimisation numériques. Elle occupe donc une place de tout premier ordre dans l'activité de conception. Par conséquent, son utilisation doit être parfaitement maîtrisée.

#### **II.4.4 Les mannequins numériques comme outils d'aide à une conception centrée sur l'homme :**

Grace au progrès informatique, il existe aujourd'hui de nombreux outils de type mannequins numériques capables de reproduire les dimensions anthropométriques de l'humain et, de plus en plus, leurs comportements physiques (gestes et postures) d'utilisation d'un produit.

En plus de leurs capacités de simulation, certains d'eux offrent, à travers les méthodes d'évaluation ergonomiques qu'ils intègrent, la possibilité d'évaluer également ces comportements humains reproduits.

Il s'agit d'évaluations qui tiennent compte de normes et critères ergonomiques liés à l'encombrement, à l'accessibilité, au volume d'atteinte, à la visibilité, aux contraintes biomécaniques (postures, efforts, répétitivité, durée d'activité,...) de l'humain.

Il est important de définir ici «le critère ergonomique» qui est considéré comme "une relation entre la description objective d'une situation constituant une

contrainte pour l'Homme et l'expression de l'astreinte qui en résulte pour l'Homme". Il fait donc ressortir le but des évaluations ergonomiques à l'aide de l'humain, donc des problèmes d'usage/d'exploitation posés par un produit à son utilisateur/opérateur.

Par rapport à la conception de produits, ces mannequins numériques semblent prendre une place de plus en plus importante. Ils tendent à intégrer progressivement le processus et les résultats se montrent satisfaisants. En effet, la plupart de ces mannequins numériques sont utilisés aujourd'hui dans la conception de produit uniquement pour évaluer les pre-concepts, maquettes numériques déjà proposées pour le futur produit.

### **II.5 Conception ergonomique :**

L'objectif de cette partie de ce chapitre est de représenter l'intervention de l'ergonomie dans les projets de conception de systèmes industriels ainsi que ses contributions tant du point de vue de l'efficacité, que des conditions de la construction de la santé des opérateurs.

Deux fils conducteurs sont proposés.

- Un premier qui concerne la compréhension des situations « d'usage » des installations qui sont ou vont être conçues, dans les deux modes de fonctionnement qui soit en mode nominal ou bien en modes dégradés.
- Le deuxième fil conducteur porte sur les modalités de prise en compte de ces conditions d'usage par les différents acteurs du processus de conception.

#### **II.5.1 La démarche de l'ergonomie dans le processus de conception :**

Il apparaît évident, comme pour toute autre intervention conditionnée par son milieu d'action, que l'intervention ergonomique dans la conception de produits dépend toujours du "monde de la conception" de l'entreprise, du réseau d'acteurs, des objets à concevoir, des outils et moyens disponibles, etc. de ce fait, malgré les diverses et nombreuses recherches évoquées, il est impossible à ce jour de définir un modèle universel standard d'intervention ergonomique applicable à la conception de tout produit. C'est pour cela qu'il existe aujourd'hui une variété de " méthodologies de conception de produits" dans lesquelles l'ergonomie intervient de façon différente.

Ainsi dans leurs travaux relevant notamment de la conception des produits industriels, Danellou et Garrigo ont développé une approche "centrée sur les

opérateurs". Celle-ci nécessite de rassembler les concepteurs et les opérateurs dans des groupes de travail et de faire favoriser la confrontation de leurs représentations de travail. Ce modèle permet ainsi de définir de nouvelles situations de travail intégrant certaines des caractéristiques fonctionnelles des opérateurs.

Le modèle a évolué depuis, permettant la proposition d'une démarche d'intervention ergonomique qui s'articule aujourd'hui autour de trois approches: descendante, ascendante et par simulation.

#### **II.5.1.1 Approche descendante :**

Considère que l'ergonomie interagit avec les acteurs du processus de conception et notamment avec les représentants de la maîtrise de l'ouvrage pour contribuer à l'enrichissement du Cahier des Charges Fonctionnel, document que nous déjà évoqué. En plus des données techniques et économiques qu'il contient pour le futur produit, ce dernier intègre ainsi les recommandations ergonomiques.

#### **II.5.1.2 L'approche ascendante :**

A pour but d'instruire des retours d'expérience issus de situations de référence. Elle permet d'élaboration de scénarios futurs qui alimentent l'approche par simulation cette dernière a pour objectif de faire de pronostics sur les situations futures.

#### **II.5.1.3 L'approche de simulation :**

Cette démarche présente un intérêt pour la conception, car, par l'intermédiaire de ces approches, elle définit des liens mais également des différences entre les situations passées, actuelles et futures, qui vont enrichir le processus. Elle permet ainsi la préparation des opérateurs aux activités futures de travail. De plus, elle agit sur les relations entre les représentants de la maîtrise d'ouvrage et de la maîtrise d'œuvre, entre les différents acteurs de conception, permettant d'aboutir à de nouveaux choix techniques.

#### **II.5.2 L'intervention ergonomique proposée par Fadier :**

Selon les travaux de Fadier [Fadier, 1998], l'intervention de l'ergonomie peut se faire à deux niveaux:

- \* analyse de l'activité de conception;
- \* participation à la conception.

Le premier niveau considère l'ergonomie comme observateur, car il s'intéresse aux activités des concepteurs, d'un point de vue individuel, mais également collectif. Ces analyses touchent deux dimensions : cognitive et sociale. L'ergonomie se propose ainsi d'identifier et de décrire les activités des concepteurs et les processus cognitifs.

Le deuxième niveau considère l'ergonomie comme un acteur au sein du processus de conception de produits/ le rôle de l'ergonomie est comme déjà évoqué, celui de concepteur. Par rapport au premier niveau, où il reste à l'écart l'ergonomie accompagne ici le processus de conception. Sur la base des analyses ergonomiques qu'il réalise, il fournit des connaissances et des recommandations aux concepteurs. Il s'agit notamment d'éléments qui touchent au facteur humain et à ses interactions avec le futur produit. D'un commun accord avec les concepteurs, ils retiennent par la suite, à travers des réunions de travail, les données qui leur semblent pertinentes pour la conception du futur produit.

### **II.5.3 La démarche de conception ergonomique proposée par Duchamp et**

**Aoussat :**

Une autre démarche est proposée par Duchamp et Aoussat [Duchamp, 1990], avec pour cible une "humanisation de l'innovation et de la conception". Son point de départ est "le besoin exprime" et l'ergonomie est sollicité à ce moment pour analyser des situations existantes. L'intervention ergonomique se fait ainsi dès le début du projet de conception. Il s'agit dans ce cas d'une ergonomie de conception.

En effet, selon le moment de son intervention dans la transformation ou la conception de produits il existe deux approches : ergonomie de conception et ergonomie de correction.

#### **II.5.3.1 L'ergonomie de conception :**

Permet une intervention depuis le début et tout au long du processus de conception. Cette approche s'appuie sur l'analyse des "situations supposées" avec pour but de définir des recommandations pour le futur produit en cours de conception. Il est évident que ces recommandations sont souhaitables en amont du processus de conception quand les modifications du produit sont faciles et possibles.

**II.5.3.2 L'ergonomie de correction :**

Consiste dans l'analyse d'un produit existant, avec pour objectif de vérifier la concordance entre ses caractéristiques et les spécifications prévues dans les normes ergonomiques.

La mise en œuvre des recommandations issues de cette analyse visant l'amélioration du produit étudié implique des coûts supplémentaires et parfois elle reste impossible.

Il est alors, à travers ses définitions, que l'ergonomie de conception occupe une position prioritaire par rapport à l'ergonomie de correction, notamment par l'aide qu'elle peut apporter aux entreprises dont l'objectif est de concevoir du premier coup des produits adaptés aux futurs utilisateurs/opérateurs.

Et selon la classification adoptée pour les produits en "produits de grande diffusion" et "produits industriels", nous distinguons alors deux concepts de l'ergonomie : l'ergonomie du produit qui s'intéresse aux interactions "utilisateur-produit" et l'ergonomie des systèmes de travail qui se préoccupe des relations "Opérateur-Poste de travail".

**II.5.4 Le modèle d'intervention ergonomique participative :**

L'intervention ergonomique devient aujourd'hui de plus en plus "participative". En effet, depuis un certain nombre d'années, la littérature met en évidence de nombreuses études qui portent sur "l'ergonomie participative". Cela ne représente pas forcément une nouvelle approche, mais plutôt une évolution de plusieurs aspects : la société, les organisations, l'ergonomie et son rôle. Elle s'inspire à la fois du courant anglo-saxon des facteurs humains et de celui francophone de l'analyse de l'activité.

L'ergonomie de facteurs humains (Humans Factors) ou l'ergonomie normative avec une dominante américaine et britannique (l'ergonomie anglo-saxonne), d'intéresse au composant humain, plus précisément aux caractéristiques humaines (anthropométriques, physiologiques, cognitives,...) visant leur prise en compte à la re-conception ou conception des produits. Pour ce faire, elle dispose de normes et standards ergonomiques. Sa particularité provient du fait qu'elle s'appuie principalement sur le concept d'expérimentations au laboratoire.

Apparue en France et en Belgique dans les années '50-'60, l'ergonomie de l'analyse de l'activité ou ergonomie francophone est centrée sur l'activité humaine,

qu'elle soit d'usage ou de travail. Sa particularité par rapport à l'ergonomie anglo-saxonne consiste dans l'analyse réelle de l'activité humaine, qui s'appuie sur un travail de terrain. Les résultats de cette analyse ont pour même but de contribuer à la reconception à la conception des produits.

Sur la base de ces deux courants, l'ergonomie participative, selon St. Vincent, repose aujourd'hui sur la mise en commun et la confrontation des savoirs des ergonomes, d'opérateurs et de spécialistes techniques. Ainsi, dans ses recherches, l'auteur aborde la problématique de réduction de TMS à travers une démarche qui s'appuie sur la construction de nouvelles compétences et sur la mise en commun des savoirs de travailleurs et des concepteurs. Avant toute action, les personnes impliquées dans cette démarche doivent suivre une formation visant à s'approprier le transfert de connaissances et les méthodes d'analyses ergonomiques.

## **II.6 Pourquoi une conception ergonomique ? :**

Conception égale à la prise de décision, lorsque le niveau d'incertitude est grand et les conséquences d'erreurs graves. La conception ergonomique présente les éléments suivants :

### **II.6.1 Aspects Sociotechniques :**

- Compatibilité entre l'objectif initiale et finale ;
- Liberté maximale de modes opératoires ;
- Polyvalence ;
- Limites précises des cellules organisationnelles ;
- Transmission d'informations utiles;
- Règlementation compatibles avec des objectifs ;
- Valeurs humaines -humaino centriques ;
- Adaptabilité aux changements.

### **II.6.2 Aspects humain-humaino centriques :**

- L'homme est une personne et non seulement un organisme ;
- L'homme peut coexister avec les autres ;
- L'homme est auto conscient ;
- L'homme dispose du choix ;
- L'homme est intentionnel.

**II.6.3 Avantage de la conception ergonomique :**

La conception ergonomique présente les avantages suivants :

- Plus d'efficacité, sécurité, et confort ;
- Meilleure qualité ;
- Meilleure productivité ;
- Moins d'incidents et d'accidents ;
- Diminution du taux d'erreurs ;
- Moins d'accidents et d'incidents.

**II.6.4 Inconvénient de la conception non ergonomique :**

La conception non ergonomique présente les inconvénients suivants :

- \* Pertes économiques directes ;
  - Faible productivité ;
  - Mauvaise qualité.
- \* Pertes économiques indirectes ;
  - Perte de santé ;
  - Turn-over ;
  - Manque de soins dans le travail.
- \* Pertes morales.

**II.7 Conception pour la sécurité :**

Parmi les constituants du processus de conception détaillés dans la partie précédente, le domaine « Design for X » introduit par (Meerkamm, 1994) décrit des éléments de conception permettant d'optimiser l'activité de conception autour d'un critère cible pouvant être la protection de l'environnement (Kriwet et al. 1995), le coût (Monreal et al. 2014) ou encore la sécurité et la santé des opérateurs (Sadeghi et al. 2015; Sadeghi et al. 2016). Ce dernier est appelé Design for Safety.

**II.7.1 Démarches :**

Le contexte du Design for Safety recommande l'amélioration du partage des connaissances entre les différents corps de métiers avec une implication forte de l'expert en santé-sécurité. Certains travaux proposent pour cela de se baser sur des théories de la conception comme c'est le cas pour Le Modèle de Conception

Distribuée (MCD), le Knowledge Based Management System et l'ingénierie concurrente. Dans le cas du MCD, cette démarche propose d'organiser en réseau et en module les équipes de conception. Chaque module dispose d'un objectif propre et peut communiquer avec les autres modules dans le but de paralléliser les tâches. L'intérêt de ce modèle est qu'il permet d'intégrer les acteurs de la sécurité dans le processus de conception au même titre que ceux en charge des aspects structurel, fonctionnel, etc.

Ces démarches se concentrent cependant sur les périodes durant lesquelles de multiples acteurs peuvent être impliqués et sur une externalisation, vis-à-vis du concepteur, des compétences liées à la prévention. En conséquence, lorsque ce dernier travaille de manière autonome, il ne dispose plus de ces compétences et ne peut donc plus prendre en considération de manière efficace les exigences de sécurité, brisant ainsi la continuité de la prévention.

### **II.7.2 Méthodes :**

De nombreuses méthodes sont proposées dans la littérature pour assister les concepteurs vis-à-vis de certains objectifs liés à la prévention intégrée tels que l'estimation des risques (Cacciabue, 2004; Kjellén, 2007); l'analyse des risques globale (A. Hale et al., 2007; Mentès & Ozen, 2015) ou restreinte au non-respect des principes ergonomiques (Didelot, 2001) ou encore l'intégration d'éléments liés à la sécurité des opérateurs dès les premières phases de conception (Ghemraoui, 2009; Sadeghi, 2014).

Ainsi, la méthodologie MAFERGO (Didelot, 2001) propose une méthode en cinq étapes pour améliorer la fiabilité et la sécurité des systèmes homme-machine durant le processus de conception. Cette méthodologie s'intègre dans l'organisation du processus de conception en ajoutant de nouvelles tâches aux acteurs pour identifier les dysfonctionnements des systèmes homme-machine.

La méthode IRAD (Innovative Risk Assessment Design) illustrée par la figure 9. Propose de traiter simultanément les fonctions techniques et les fonctions de sécurité tout au long du processus de conception (Ghemraoui, 2009; Sadeghi, 2014). Cette méthode a pour objectif d'obtenir une meilleure intégration des solutions techniques et des décisions liées à la prévention des risques. Cette méthode est inductive, dynamique, intégrée et générique vis-à-vis des machines et des énergies.

Elle s'applique cependant plus au processus de réduction des risques (spécifications de fonctions de sécurité, recherche de principes et solutions techniques). Elle n'apporte donc pas d'éléments supplémentaires vis-à-vis de l'identification des Phénomènes dangereux.

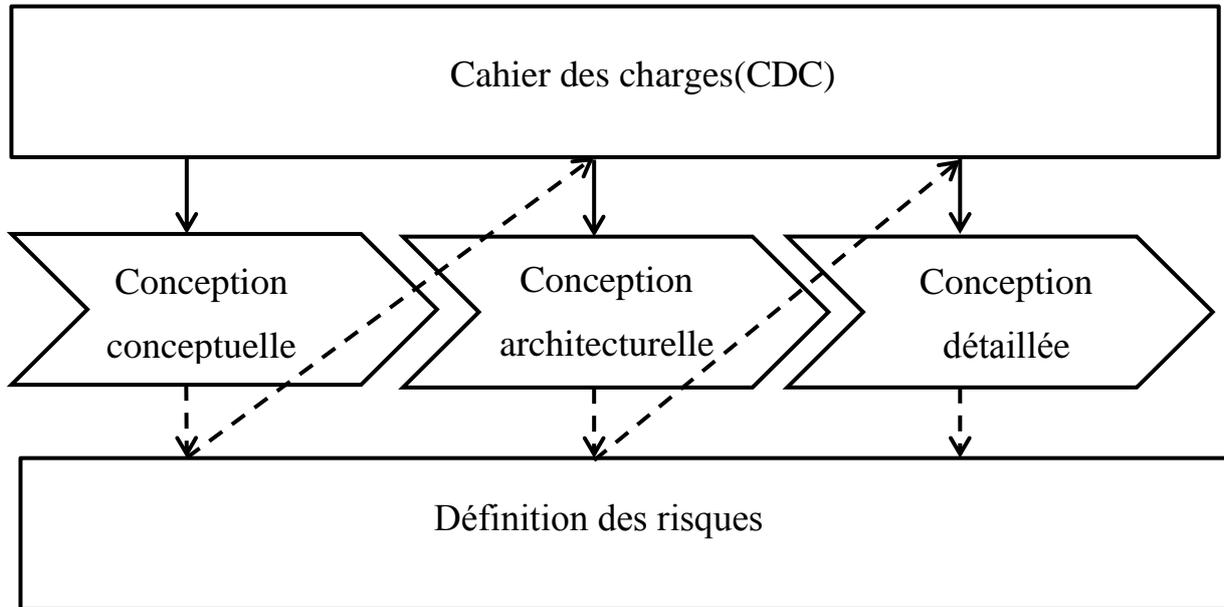


Figure III.5 Modèle d'IRAD pour intégrer la sécurité au plus tôt en phase de conception du produit

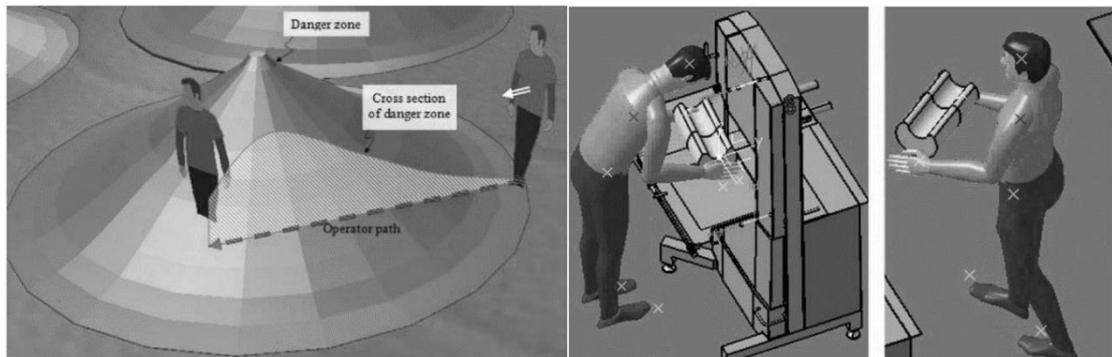
Deux méthodes intégrant la prévention en conception de plateformes pétrolières (conception centrée humain et le concept de barrière pour les énergies) ont également été comparées par (Kjellén, 2007). Il en ressort que celles-ci mettent systématiquement en jeu des experts en sécurité, mais également l'exploitation des données issues de plateformes existantes (ex. : retour d'expériences). Les autres acteurs de la prévention tels que les opérateurs sont également mis à contribution lors de revues de projet centrées sur les objets intermédiaires de la plateforme à concevoir.

**II.7.3 Moyens :**

De nombreux outils assistent la conception dans différents domaines comme la construction (Benjaoran & Bhokha, 2010; Zhou et al. 2012), les processus chimiques (Schupp et al. 2006), l'organisation de locaux (Gardeux & Marsot, 2014). Ils

permettent de mettre en œuvre les principes du Design for Safety en améliorant ou en complétant ceux déjà utilisés par les concepteurs.

Ainsi, le PAG (Performance Analysis Agent) proposé par (Shahrokhi & Bernard, 2005 ; Shahrokhi & Bernard, 2009) est un système expert d'analyse de performance, en particulier de la sûreté des situations de travail d'un système de production. Comme montré sur la figure II.7, Il se base sur l'utilisation d'un mannequin numérique qui intègre cinq agents de modélisation (morphologique, biomécanique, cinématique, physiologique et psychologique) et quatre agents d'analyse (facteurs humains, risques, économique et performance industrielle). Ce système est donc a priori générique vis-à-vis des phénomènes dangereux. Il est également intégré dans les outils de conception et propose un raisonnement basé sur l'utilisation des paramètres de conception d'une situation de travail. Cependant, le PAG nécessite d'être suffisamment avancé dans le processus de conception car il repose sur une simulation numérique détaillée. Il est donc difficilement applicable en début de projet lors de la définition de l'architecture du futur équipement de travail.



**Figure II.7** : Calcul du niveau de risque auquel est exposé un opérateur en fonction de sa trajectoire (à gauche) et son activité (à droite)

## **Chapitre III: Problèmes ergonomiques dans les installations pétrolières et gazières**

### **Introduction:**

Ce chapitre traite les problèmes qui peuvent affecter les personnes de trois façons:

- (1) la santé ;
- (2) la performance ;
- (3) le confort.

Les effets de ces trois aspects sont habituellement combinés. Par exemple, une mauvaise santé peut entraîner à la fois une mauvaise performance et un confort réduit, ce qui réduit la satisfaction au travail. Les facteurs de stress, résultant de l'éclairage, de la température, du bruit, des vibrations ou de tout autre caractéristiques de l'environnement, peuvent nuire aux personnes lorsqu'ils atteignent un certain niveau, même si l'effet ne peut pas apparaître ni pour la personne touchée, ni pour l'observateur.

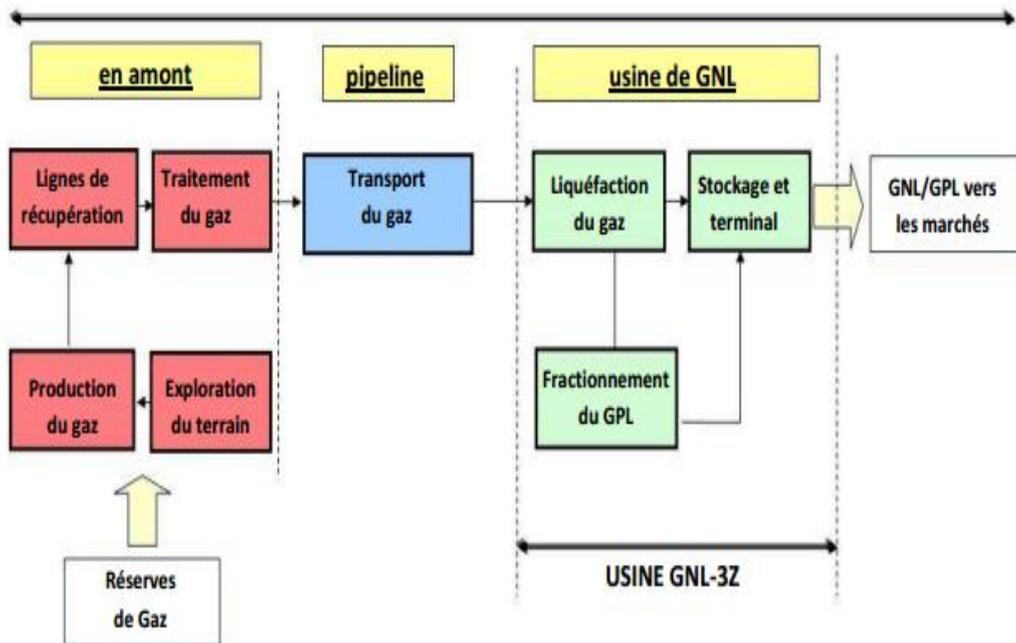
La gamme idéale pour la performance et le confort est étroite. Par conséquent, essayer de s'adapter à des conditions situées à l'extérieur de la gamme idéale peut faire en sorte que les gens utilisent plus d'efforts, ce qui peut entraîner une réduction des performances et du confort; Par exemple, une personne essayant de voir de beaux détails lorsque les niveaux d'éclairage sont trop bas ou trop élevés.

### **III.1 Présentation du complexe :**

Le projet du gaz intégré est en train d'être développé par la SOCIETE (SONATRACH) en Algérie et implique les réserves de gaz sur le terrain dans le Bassin de Berkine (Centre Est de l'Algérie).

La base de ce projet est une usine entièrement nouvelle de production de GNL (GNL-3Z Project) qui est une installation composée d'un train du GNL et toutes les infrastructures nécessaires y compris les utilités, les stockages et les chargements des navires.

Le gaz naturel liquéfié produit dans l'usine du GNL est exporté vers les marchés internationaux.



**Figure III.3 :** Chaîne d’approvisionnement en gaz du complexe GL3/Z

### III.1.1 Présentation du complexe GL3/Z

#### III.1.1.1 L’emplacement de l’usine

Le complexe de liquéfaction du gaz naturel GL3/Z s’étend sur une superficie de 54.6 Hectares, il se situe sur le long de la côte méditerranéenne à Bèthioua à l’est d’Arzew willaya d’Oran, dans la zone du port industriel d’Arzew el Djedid.

- A l’est du site se trouve l’usine GPL (GP1/Z) ;
- A l’ouest, l’installation de dessalement KAHRAMA et l’usine GL2/Z ;
- La mer méditerranée borde le site au nord ;
- Au sud se trouve la route principale de la zone.



Figure III.4 : Prise aérienne du complexe GL3/Z

III.1.1.2 Organisation de travail au sein du complexe :

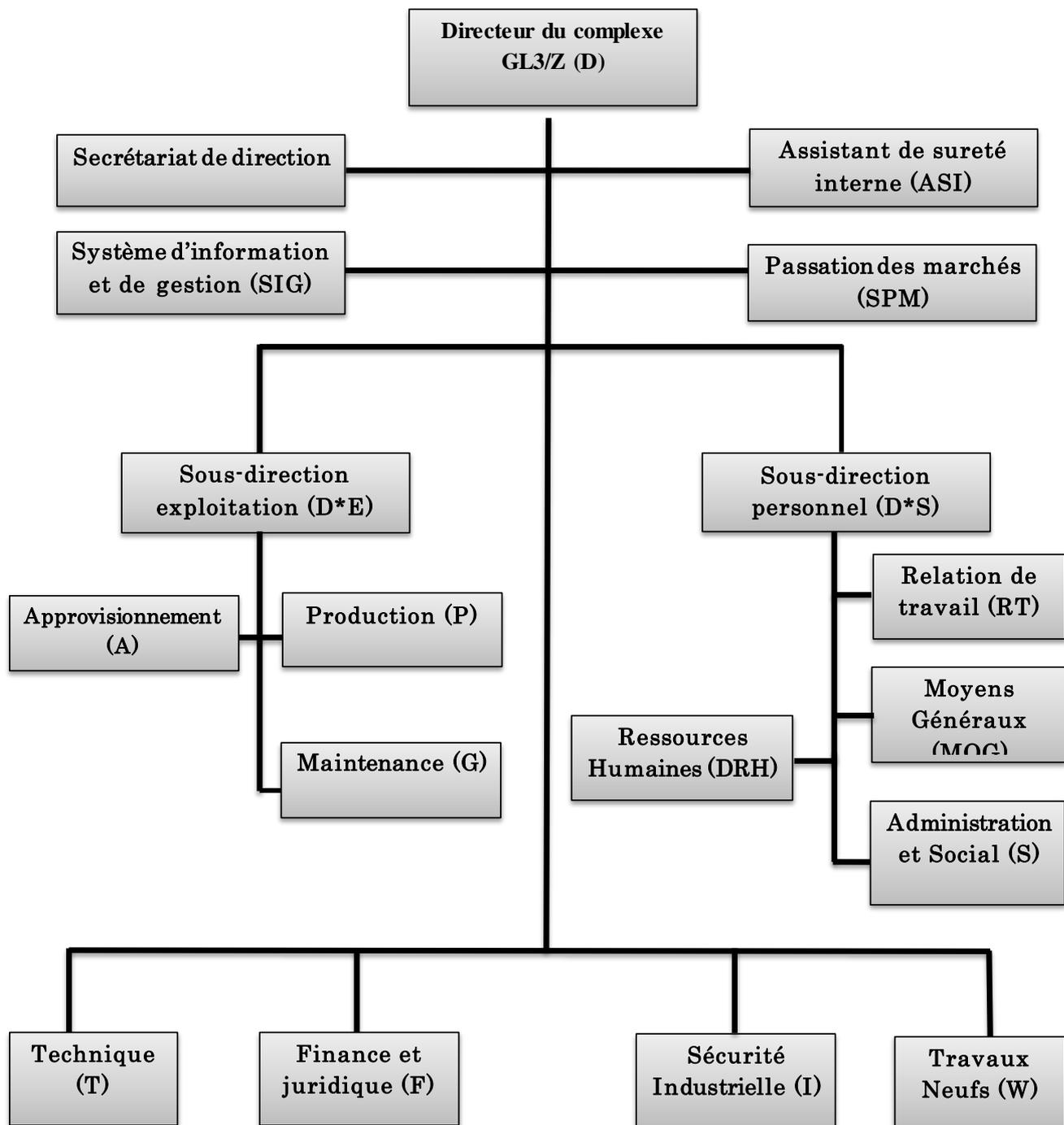


Figure III.5 : Organisation de travail au sein du complexe

### III.1.1.3 L'effectif et les heures œuvrées (Juillet 2017)

Tableau III.1 : L'effectif du complexe GL3/Z

Personnel		Nombre
Effectif permanent en poste		439
Effectif temporaire en poste		34
Effectif des sous-traitants	SOMIZ	75
	SOMIK	01
	BEST AL CATERING	25
	EURL AMMICHE	25
	ETS BEZTOUT	05
<b>Total</b>		<b>579</b>

Tableau III.2 : Les heures œuvrées au niveau du complexe GL3/Z

Personnel	Heures œuvrées
Permanent	61304 heures
Temporaire	5596 heures
<b>Totale des heures œuvrées (permanent+ temporaire)</b>	<b>66900 heures</b>

### III.1.1.4 Organisation de travail du département sécurité

Le département Sécurité est chargé de veiller et de préserver la santé et la sécurité des salariés dans l'entreprise. Il s'agit d'une obligation légale. Mais la maîtrise des risques permet aussi d'accroître le bien-être des travailleurs et les performances de l'entreprise. Ainsi, un employeur qui s'engage dans des actions de prévention investit pour le bien de ses salariés, mais aussi de sa société, de sa productivité et de son image. Pour effectuer cette tâche ce département se compose de deux services :

- **Service Prévention**

Ce service met en œuvre les moyens dont il dispose afin de fournir les meilleures conditions de travail et de sécuriser toutes les interventions.

Ce service compte deux sections et un ingénieur en environnement :

- **Section contrôle et suivi des travaux**

Cette section a pour rôle l'inspection et le contrôle afin de sécuriser tous les travaux d'intervention sur les équipements.

Tous les travaux de réparation ou bien de maintenance doivent être autorisés par un inspecteur de prévention, en élaborant un permis de travail (ex : permis de travail à chaud, à froid, permis de pénétration...).

#### ➤ **Section Etude des Risques industriels**

Sa mission est la mise en œuvre de la politique du complexe en matière d'environnement, comme l'établissement de rapport concernant les rejets liquides, rejet atmosphérique, déchets de toutes sortes et nuisance sonores et autres.

#### ➤ **Ingénieur en environnement**

Sa mission est de faire respecter la réglementation en vigueur ainsi que prévoir et limiter l'impact de l'activité industrielle sur l'environnement.

- **Service Intervention**

Ce service est composé de deux sections :

#### ➤ **Section Intervention**

Cette section intervient en cas d'urgence et à tout moment. A cet effet elle est dotée d'un système de télésurveillance video comprenant des caméras fixes et mobiles, d'un système de communication comprenant des téléphones, des radios VHF et Genephone, et d'un système de contrôle à distance (DCS), tous sont reliés à une salle de contrôle à distance.

En cas d'incident ou d'accident, ce service dispose d'un matériel d'intervention considérable fixe ou mobile :

- ✓ **Les camions d'intervention, les ambulances, les extincteurs, les skids, le système de déluge ;**
- ✓ **Cette section peut demander assistance aux unités avoisinantes grasse au PAM (protocole d'assistance mutuelle) ;**
- ✓ **Cette section s'occupe aussi de la maintenance des équipements de la sécurité.**

#### ➤ **Section Equipement**

Cette section s'occupe de tout ce qui est matériel de sécurité, assurer son entretien et sa disponibilité pour toute intervention.

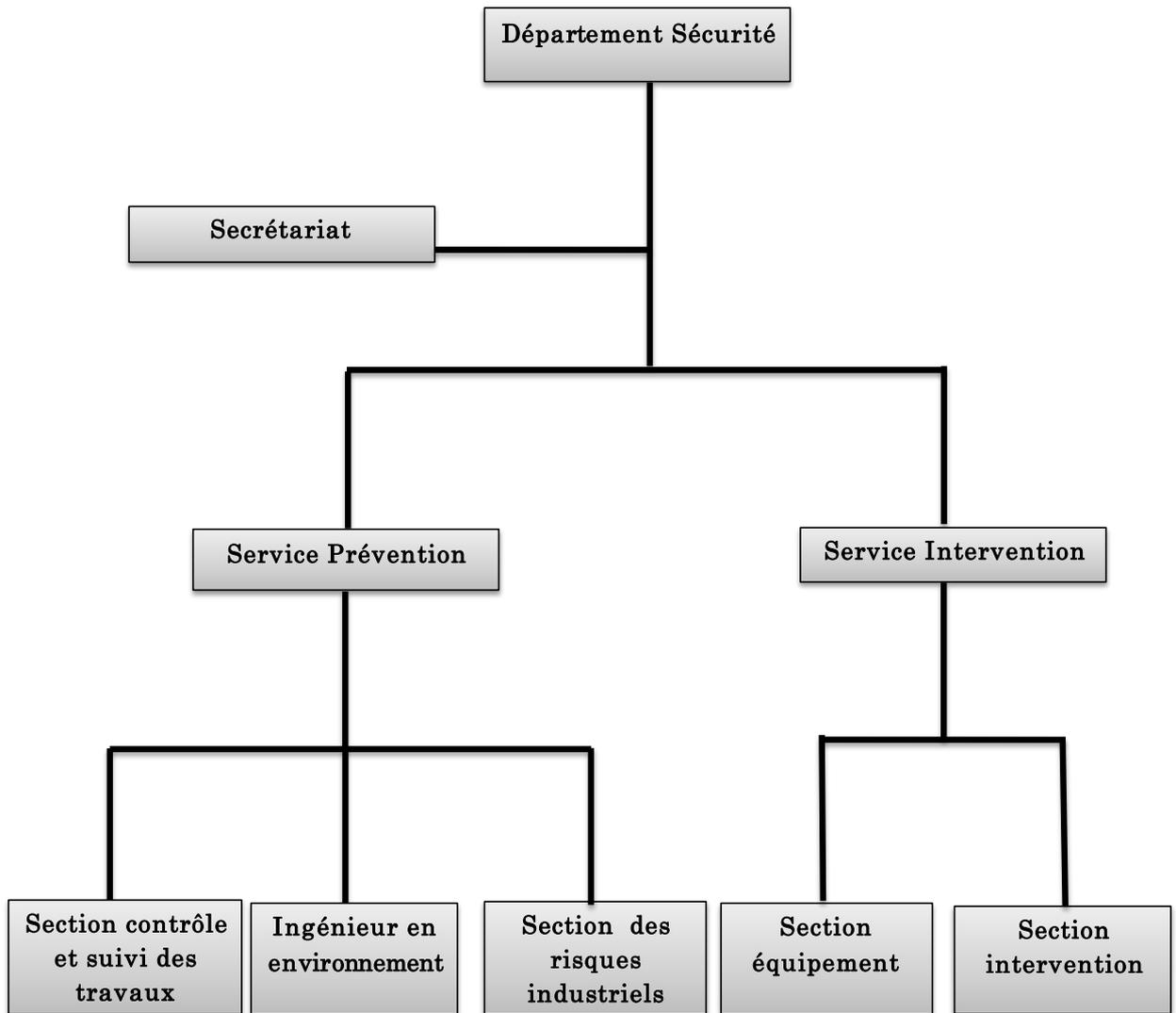


Figure III.6 : Organigramme du département I GL3/Z

### **III.1.2 Description technique des installations:**

#### **III.1.2.1 But des installations**

L'installation du GNL est une usine de base avec tous les supports off-sites et les utilités à l'exception de l'eau de service et de l'azote liquide qui sont disponibles pendant le fonctionnement de l'usine de Kahrama adjacent.

L'usine GNL est conçue d'un unique train de GNL.

Les trois compositions du gaz d'alimentation sont considérées:

- Cas du gaz de base, qui est le cas conçu (température ambiante de 21°C), pour l'usine qui doit produire au-dessus de 4.7 MMTPA

- Cas du gaz riche qui est utilisé principalement pour dimensionner le fractionnement et les unités de récupération du GPL dans l'usine
- Cas du gaz pauvre, qui est utilisé principalement pour dimensionner les parties associées à l'end-flash. L'usine est conçue pour produire 4 MMTPA dans les cas du gaz pauvre aussi bien que riche.

Le procédé APCI avec un mixte réfrigérant et du propane pré-réfrigérant a été choisi pour la liquéfaction, en utilisant le MCHE à deux bundle.

Le refroidissement par l'air est le moyen principal d'enlèvement de la chaleur finale.

La spécification du produit final du GNL est complétée par la fin de l'éclairage dans la colonne d'élimination de l'azote.

L'élimination du gaz acide est effectuée en utilisant un procédé basé sur l'amine sous licence par BASF.

Le GNL est stocké dans deux réservoirs à rétention totale chacun d'une capacité de 160,000 m<sup>3</sup> et les produits du GPL sont stockés dans des réservoirs de rétention totale séparés respectivement de 56000 m<sup>3</sup> pour C3 et 12000 m<sup>3</sup> pour C4. La gazoline produite est stabilisée et stockée dans une sphère avec une capacité de 1800 m<sup>3</sup>.

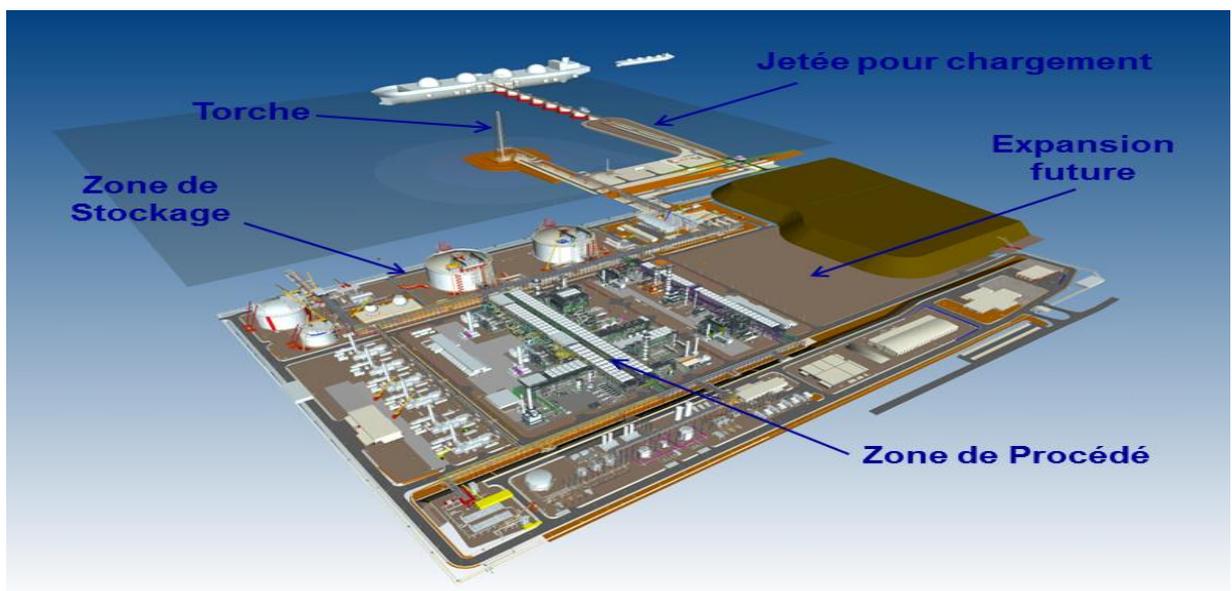
Le GNL est exporté par une nouvelle jetée, conçue à M7 et les jetées existantes par la roue du GPL M6 et D1.

La structure de la torche est située 'offshore', accessible par une route sur digue, qui doit être construite.

#### **III.1.2.2 Les principales installations du complexe :**

- Un train de liquéfaction GNL et de fractionnement ;
- Des compresseurs des cycles de réfrigération entraînés par des turbines à gaz ;
- Génération d'énergie électrique par les GTG's et un four de procédé ;
- Deux bacs de stockage de GNL à intégrité totale d'une capacité de stockage de 160.000m<sup>3</sup> chacun ;
- Un bac de stockage de Propane à intégrité totale de 56.000m<sup>3</sup>, et un autre Butane de 12.000m<sup>3</sup> ;
- Une sphère de stockage de la Gazoline d'une capacité utile de 1 800 m<sup>3</sup> ;
- Une sphère de stockage de propane réfrigérant de 3 000 m<sup>3</sup> et Un réservoir d'Ethane réfrigéré de 600 m<sup>3</sup> ;

- Toutes les utilités pour les besoins propres du train de GNL ainsi que les connexions pour L'azote, l'eau potable et éventuellement l'eau distillée seront fournies à partir des réseaux et usines existantes ;
- Les bâtiments nécessaires à l'exploitation et au fonctionnement de l'ouvrage. (bâtiments administratifs, salle de contrôle, laboratoires...etc.) ;
- Un système de torches on/off-shore, ainsi qu'une fosse de brûlage (burningpit) ;
- Des installations d'expédition des produits finis par voie maritime (jetée, brise-lame, installations de chargement...etc.).



**Figure III.7 :** Vue d'ensemble 3D de l'usine GL3/Z

### III.1.2.3 Capacité de l'usine :

L'usine a été conçue pour transformer une production annuelle de 4,7 millions de tonnes par an de GNL.

Le procédé tout entier est effectué dans les unités opérationnelles suivantes :

- Unité 01 Installations d'entrée ;
- Unité 02 Stockage du solvant de l'amine ;
- Unité 08 Stockage de l'huile chaude ;
- Unité 10 Commune/ Général ;
- Unité 11 Conditionnement du gaz d'alimentation ;
- Unité 12 Elimination du gaz acide ;
- Unité 13 Déshydratation du gaz ;

- Unité 14 Système du gaz combustible (Train 1) ;
- Unité 15 Liquéfaction ;
- Unité 16 Réfrigération ;
- Unité 17 Récupération et fractionnement du GNL ;
- Unité 18 Système de l'huile chaude ;
- Unité 19 Système d'Eau de refroidissement ;
- Unité 51 Génération de l'énergie électrique ;
- Unité 53 Système du générateur diesel de Secours ;
- Unité 55 Système gaz combustible commun ;
- Unité 56 Système de l'air instrument et usine ;
- Unité 57 Système de l'azote ;
- Unité 58 Circuit de l'eau potable ;
- Unité 59 Système de l'eau de service et déminéralisée ;
- Unité 64 Traitement des eaux usées et Effluents ;
- Unité 71 Produit de stockage et chargement du GNL ;
- Unité 72 Produit de stockage et chargement du GPL ;
- Unité 75 Système de la torche ;
- Unité 76 Système de stockage de gazoline ;
- Unité 80 Infrastructure – Commun /Générale.

### **III.2 Problèmes ergonomiques dans le complexes GNL3Z :**

#### **III.2.1 Température :**

Le système de régulation thermique du corps humain tente de maintenir une température interne (noyau) relativement stable entre 36,1 et 37,2 ° C. La température de base doit rester dans une gamme étroite pour éviter de graves dommages à la santé et à la performance. Lorsque le travail physique est effectué, une chaleur corporelle supplémentaire est générée. Si nous ajoutons une humidité relativement élevée à la température ambiante, la condition résultante peut entraîner une fatigue et des risques potentiels pour la santé.

Le corps humain maintient l'équilibre thermique en augmentant la circulation sanguine sur la peau; Par conséquent, nous transpirons les jours chauds. Quand il fait froid, le corps réduit la circulation sanguine sur la peau et nous tremblons pour garder

les extrémités au chaud. Le corps génère de la chaleur à travers le métabolisme et le travail physique. Pour maintenir l'équilibre thermique interne, le corps échange la chaleur (gain ou perte) avec l'environnement de quatre façons:

- **Convection :**

Ce processus dépend de la différence entre les températures de l'air et de la peau. Si la température de l'air est plus élevée que la peau, la peau absorbe la chaleur de l'air, ce qui devient un gain de chaleur sur le corps. Si la température de l'air est plus froide que la peau, le corps perd de la chaleur.

- **Conduction :**

Ce processus concerne la différence entre la température de la peau et la surface contactée directement. Par exemple, en touchant un poêle chaud, la peau gagne de la chaleur et peut brûler.

- **Évaporation :**

Ce processus dépend de la différence entre la pression de vapeur d'eau de la peau et la vapeur d'eau dans l'environnement (ou l'humidité relative).

- **Radiation :**

Ce processus se réfère à la différence entre la température de la peau et les surfaces dans l'environnement. Par exemple, debout à la lumière du soleil, nous recevons des rayonnements du soleil.

### **III.2.1.1 Effets de la chaleur sur la performance :**

#### **III.2.1.1.1 Tâches cognitives :**

L'effet de la chaleur sur l'activité cognitive (fonction mentale supérieure) dépend du type de tâches à accomplir. Par exemple, les tâches cognitives simples, telles que le temps de réaction visuel ou auditif, la résolution de problèmes mathématiques et les tâches de mémoire à court terme, répondent différemment à l'exposition à la chaleur que les tâches cognitives complexes qui traitent les opérateurs de contrôle, comme la surveillance des écrans DCS pour les conditions hors limites.

Dans les tâches cognitives simples, la chaleur n'affecte pas négativement les performances. En fait, une amélioration de la performance a été obtenue lorsque ces tâches cognitives simples ont été réalisées lors d'une brève exposition à la chaleur. D'autre part, dans les tâches cognitives complexes, la chaleur affecte négativement les performances, commençant entre 30 et 33 ° C.

### III.2.1.1.2 Activités physiques:

Les activités physiques, en particulier les activités lourdes, effectuées dans des conditions chaudes et humides peuvent provoquer la fatigue et l'épuisement beaucoup plus tôt que dans des conditions plus modérées. Par exemple, assis au repos, les hommes peuvent tolérer 38 ° C pendant 3 heures ou plus. Cependant, la tolérance est réduite à 30 minutes, si elle fonctionne modérément à 4,67 kilocalories par minute (kcal / min). (Kilocalories est la chaleur requise pour augmenter la température de 1 kg d'eau de 15 à 16 ° C). Dans une autre étude sur les hommes en train de pelleter les roches, le niveau de productivité a été maintenu jusqu'à ce que la température dépasse 28 ° C. À environ 30 ° C, la productivité a chuté à 90% et à 50% lorsque la température a atteint 34 ° C. Il convient d'ajouter ici qu'une augmentation de la température peut affecter le comportement sécuritaire des personnes. Une grande étude observant le comportement de plus de 17 000 personnes au travail a révélé que l'incidence du comportement dangereux augmentait lorsque les conditions climatiques étaient inférieures de 17 à 23 ° C.

### III.2.1.2 Effets du froid sur la performance:

Comme une augmentation de la température corporelle centrale peut entraîner un stress thermique (hyperthermie), une faible diminution de la température corporelle peut provoquer un stress au froid (hypothermie). Cependant, le corps humain est mieux capable de tolérer une chaleur accrue que de compenser la perte de chaleur. Des exemples d'emplois où les gens travaillent dans un environnement froid sont l'extraction de pétrole et de gaz, la réparation de lignes électriques, la réparation de conduites de gaz, l'assainissement, le camionnage, l'entreposage (surtout le stockage à froid). Comme les effets de la chaleur sur la performance, les études des effets du froid sur l'exécution de différentes fonctions ne sont pas bien comprises et ne conduisent donc à aucune conclusion ferme. Les raisons peuvent être liées aux facteurs d'interaction suivants:

- Différences dans le flux d'air, la température et l'humidité ;
- Différences dans la durée de l'exposition ;
- La différence de niveau d'exposition aux différentes parties du corps ;
- Différences individuelles (biologiquement et physiologiquement).<sup>1</sup>

---

<sup>1</sup> Ergonomics Solutions for Processes Industries

### **III.2.1.2.1 Tâches cognitives :**

L'effet du froid sur les tâches cognitives a été détecté dans les études sur le temps de réaction et les activités mentales complexes. Cependant, l'effet dépend de la gravité de la température, de la tâche exécutée, de l'habileté et de l'expérience du sujet avec la tâche et de l'exécution dans le froid. Voici un résumé des résultats:

- La performance mentale diminue lorsque vous effectuez des tâches complexes et exigeantes nécessitant des niveaux de concentration élevés et une utilisation significative de la mémoire à court terme ;
- Le froid n'affecte pas l'efficacité cognitive de sujets bien motivés ;
- Le froid agit comme un distracteur qui intervient avec certains types de tâches de performance mentale.

### **III.2.1.2.2 Activités physiques :**

Le froid affecte de manière significative le travail physique. La réduction de la température des membres ou du corps réduit la capacité physique. Par exemple, la réduction de la température des membres (c'est-à-dire le bras et la main) affecte la capacité motrice, cause une perte de sensibilité cutanée (tactile), affecte le contrôle musculaire du membre et réduit la dextérité, la force musculaire et les capacités d'endurance. La réduction de la température totale du corps réduit le taux de métabolisme dans les muscles des extrémités et, à son tour, la performance due au frisson. En effet, Lockhart (1968) a suggéré qu'une partie de la performance diminue dans les tâches impliquant des activités de dextérité peut être due à des frissons.

En pratique, les gants et les lourdes chaussures et vêtements thermiques peuvent protéger les opérateurs par temps froid. Dans des températures extrêmement froides, les vêtements et les gants peuvent affecter la capacité des opérateurs à exécuter des tâches nécessitant une force ou une dextérité en limitant le mouvement du corps.

### **III.2.1.3 Effets de la chaleur sur la santé :**

#### **III.2.1.3.1 Environnement chaud :**

L'exposition à des niveaux élevés de chaleur peut affecter la santé d'une personne de deux façons. Tout d'abord, une température accrue sur la peau peut entraîner des dommages causés par les tissus par combustion (par exemple, plus de

45°C). Cette situation est habituellement gérable car elle est observable et les gens y réagissent en s'éloignant de la chaleur. La chaleur de la deuxième voie peut affecter la santé est plus grave et dangereuse. Il s'agit d'une augmentation de la température corporelle centrale à environ 42 ° C, où se produit un coup de chaleur (hyperthermie). Cette élévation de la température corporelle du corps entraîne une augmentation du métabolisme qui, à son tour, produit de la chaleur qui doit être dissipée. Si le cycle est autorisé à continuer, la mort peut s'ensuivre. Ce cycle est appelé effet Q10 (pour chaque augmentation de 1 ° C de la température du corps profond, le métabolisme augmente de 10%). Il existe deux raisons possibles pour lesquelles la chaleur générée ne quitte pas le corps: le corps est exposé à la chaleur et à l'humidité qui réduit l'évaporation de la sueur; Et certains vêtements de protection servent d'isolant.

L'exposition continue aux conditions environnementales chaudes et le stress thermique qu'il génère peuvent conduire à plusieurs formes de maladies thermiques, le coup de chaleur étant le plus grave:

- Éruption cutanée, également connu sous le nom de chaleur épineuse: Où la peau fait irruption avec des boutons rouges avec des démangeaisons et des picotements intenses causés par une inflammation autour des gaines des glandes sudoripares ;
- Crampes de chaleur : Les spasmes des muscles résultent de la perte de sel ;
- Épuisement par la chaleur : Résulte de la déshydratation, avec un sentiment général de mal de tête, perte de performance par faiblesse musculaire, vertiges, vomissements possibles ;
- Coup de chaleur : Une augmentation significative et alarmante de la température du corps et de l'incapacité du corps pour perdre la chaleur. Les symptômes généraux sont les maux de tête, les étourdissements, les vomissements, l'essoufflement, les comportements étranges et éventuellement la perte de conscience et la mort.

L'accident de la chaleur est causé principalement par un travail physique intense ou l'exercice dans des conditions chaudes, la durée de l'exposition à des sources de chaleur extrêmes et des personnes hautement motivées et compétitives (par exemple, les sportifs).

En outre, l'exposition et la tolérance au stress thermique dépendent des différences individuelles :

- Le genre: Généralement, les femmes sont moins tolérantes aux conditions environnementales chaudes et, par conséquent, plus vulnérables aux maladies thermiques que les hommes ;
- Âge: Les personnes âgées sont plus vulnérables aux maladies de la chaleur que les personnes plus jeunes ;
- Forme physique: Plus la personne est en forme physique, plus la tolérance aux conditions environnementales chaudes est longue, jusqu'à un certain point ;
- Graisse corporelle: La graisse corporelle agit comme une couche isolante bloquant la libération de chaleur. Il agit également comme un poids supplémentaire pour se déplacer, ce qui augmente le niveau d'activité physique entraînant une augmentation de la chaleur corporelle et des dépenses énergétiques.

### **III.2.1.3.2 Environnement froid**

L'exposition au froid peut conduire à une baisse de la température corporelle profonde, susceptible de créer un risque pour la santé. Lorsque la température du corps de base descend en dessous de 35 ° C, l'état est appelé hypothermie ou contrainte froide. Avec une température corporelle centrale inférieure à 35 ° C, le risque de désorientation, d'hallucination et d'inconscience augmente, entraînant une arythmie cardiaque lorsque la température de base baisse encore plus loin et la mort subséquente d'un arrêt cardiaque.

Comme le corps est exposé au froid et que la température du corps commence à tomber, le corps utilise automatiquement et rapidement son système de régulation et produit deux réactions physiologiques au stress froid :

- Le frisson: le frisson est caractérisé par une augmentation des activités musculaires et des contractions pour produire rapidement de la chaleur; Plus il est froid et plus la température du corps augmente, plus vite et plus intensément, les frissons deviennent épuisés, jusqu'à ce que la température du corps atteigne 30-33 ° C, où le tremblement progressif est remplacé par le muscle rigidité ;
- Constriction des vaisseaux sanguins, également appelée vasoconstriction : La vasoconstriction est caractérisée par une augmentation de la constriction des vaisseaux sanguins périphériques (peau et extrémités) et un éventuel arrêt du flux sanguin dans ces régions à mesure que la température corporelle descend plus loin, entraînant une augmentation de la pression artérielle. Ce processus a deux

objectifs principaux: d'abord, le sang chaud est détourné de la peau froide, comme les mains, les doigts et le visage, et distribué aux organes internes, donc moins de chaleur corporelle est perdue. Deuxièmement, la capacité d'isolation de la peau augmente jusqu'à six fois en coupant le flux de sang. À mesure que la constriction des vaisseaux sanguins augmente et que le débit sanguin est coupé, la température de toutes les zones exposées (les mains, les doigts, les orteils, le visage, le nez) approche rapidement la température de l'air, provoquant la congélation des tissus corporels (blessures par le rhume) ou des gelures ;

De plus, l'exposition et la tolérance à l'exposition au froid sont fonction des différences individuelles :

- La composition corporelle: quantité de graisse sous-cutanée (sous la peau) autour du corps, qui agit comme un matériau isolant. C'est surtout Important lorsque les vaisseaux sanguins se contraignent en réponse au froid et au sang est détourné de la surface du corps vers les organes internes pour survivre ;
- Taille individuelle et poids: Puisque le degré de perte de chaleur est proportionnel à la surface du corps, plus un individu n'est grand en termes de taille et de poids, plus la quantité de chaleur pouvant être générée par les frissons est grande. Il faut noter que la chaleur générée par les frissons dépend de la masse des tissus musculaires actifs dans le corps ;
- Forme physique: Plus l'aptitude physique est bonne, plus la production de chaleur est efficace grâce au tremblement et plus elle est prolongée avec un épuisement physique retardé.

### **III.2.2 Illumination :**

Le stimulus lumineux se caractérise par son intensité et sa longueur d'onde. L'intensité de la lumière est exprimée en fonction de la quantité de flux lumineux (énergie) qu'elle génère. Le flux est mesuré en candlepower (bougie) (cd) ou lumen, où 1 bougie (ou candela) est égale à 1 lumen. La longueur d'onde de la lumière est mesurée en nanomètre (nm). Un nanomètre est un milliardième de mètre ( $10^{-9}$ ). Par exemple, l'œil distingue entre différentes longueurs d'onde dans la plage de 380 et 780 nm par la sensation de couleur.

Dans notre environnement quotidien, la quantité d'éclairage (également appelée éclairement) qui tombe sur une surface (par exemple, le bureau) dépend de

l'énergie de la source lumineuse, de sa distance à la surface et de l'angle de la surface à la source lumineuse.

La plupart des lumières tombent sur une surface perpendiculaire à la lumière. L'illumination est décrite en fonction de la vitesse de flux (lumens) produite par la source et de la surface sur laquelle elle se propage. Une lumière par mètre carré est définie comme 1 lux et une lumière par pied carré est définie comme une bougie de pied (FC). Les indicateurs d'illumination sont habituellement étalonnés dans les deux mesures. Une bougie de pied est d'environ 10,76 lux (il y a 10,76 pieds carrés en mètre carré).

La lumière peut tomber sur une surface à partir de sources multiples ou, par exemple, comme des reflets des murs, des plafonds et d'autres objets dans l'environnement immédiat. Ces réflexions peuvent être considérées comme des sources lumineuses individuelles, et l'efficacité de chacun dépend de l'angle auquel elle reflète la lumière sur la surface. En résumé, la quantité de lumière tombant sur une surface dépend de:

1. Source lumineuse et son intensité lumineuse ;
2. Distance entre la source lumineuse et la surface ;
3. Angle de la source de lumière sur la surface ;
4. Nombre de sources lumineuses et sources réfléchies dans l'environnement immédiat.

Nous ne voyons pas la lumière tomber sur une surface mais nous voyons la lumière réfléchiée par une surface. La luminance est une mesure de la lumière réfléchiée par la surface et associée à la sensation subjective de luminosité. Et en fonction de leurs caractéristiques de surface, différents corps absorbent et reflètent différentes quantités et qualités de lumière. La luminance est exprimée en candela par mètre carré (cd / m<sup>2</sup>).

La sensation subjective de luminosité (c'est-à-dire les qualités de luminance d'un objet) est perçue après que la lumière a stimulé les cellules rétinienne de l'œil et les informations transmises au cortex optique dans le cerveau. Ensuite, la personne signale l'intensité de la luminosité de l'objet. Par conséquent, l'intensité est déterminée par la luminance de l'objet, la quantité de lumière passant par les yeux et le cerveau et les expériences subjectives de l'observateur. À leur tour, les expériences subjectives dépendent des expériences passées de l'observateur et de la luminosité des autres

corps dans le champ visuel. Ce processus est illustré à la figure III.6, Cette section traite de la façon dont l'éclairage affecte les performances en termes de quantité et de qualité d'éclairage et fournit des directives sur l'amélioration de l'éclairage sur le lieu de travail.

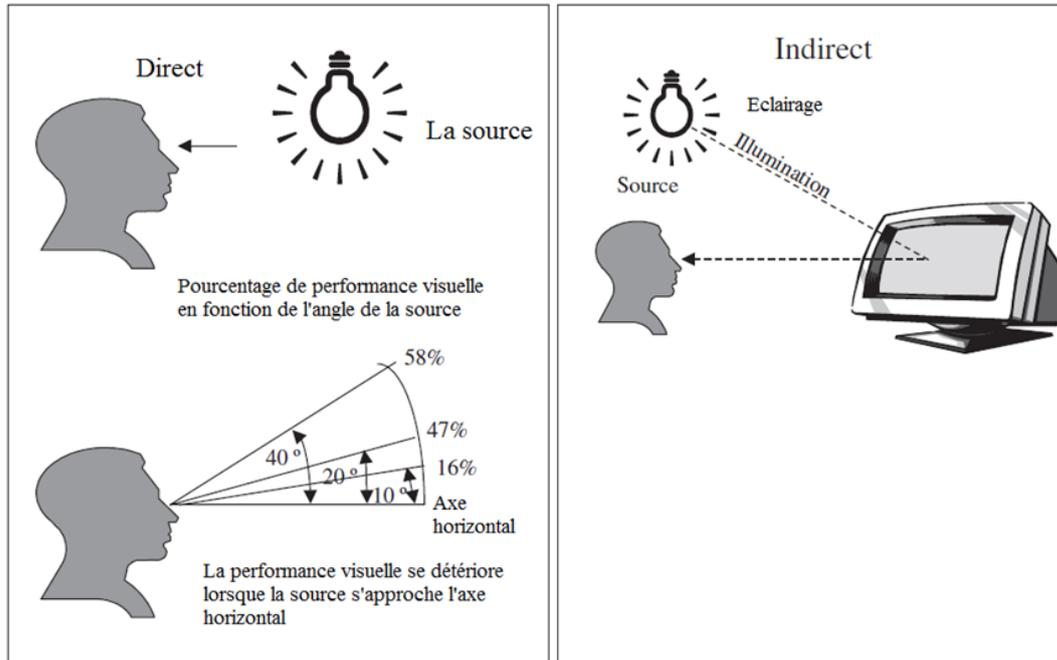


Figure III.8 : Qualité de l'éclairage - éblouissement

### III.2.3 Bruit :

Le bruit est un aspect de notre travail et de notre environnement de vie quotidien produit par des équipements, des machines et des outils. Le bruit est communément appelé le son indésirable. Burrows (1960) définit clairement le bruit comme «un stimulus auditif n'ayant aucune relation d'information avec la présence ou l'achèvement de la tâche immédiate». Cependant, cela dépend de la réaction subjective de l'individu, qu'il s'agisse de considérer ou non une source sonore comme un bruit. En outre, le bruit étiqueté du son à une occasion peut ne pas être du bruit dans une autre occasion ou un environnement différent.

Le son est défini en fonction de deux paramètres, de la fréquence et de l'intensité, car un son est une stimulation vibratoire qui se manifeste par l'air. La fréquence est une énergie acoustique reflétant le nombre de vibrations par seconde, exprimé en Hertz (Hz). Un Hertz est égal à 1 cycle par seconde.

La gamme de fréquence comprise entre 2 et 20 000 Hz définit les limites de fréquence de l'oreille. Les personnes perçoivent subjectivement la fréquence comme

un pas. L'intensité est liée à la variation de pression sonore provoquée par la source sonore. Les personnes perçoivent subjectivement l'intensité comme une sonorité. L'intensité est spécifiée en termes de niveau de pression acoustique (SPL) et exprimée dans les unités logarithmiques de décibels (dBA). Étant logarithmique, une augmentation de puissance de 10 fois (intensité) se produit à chaque augmentation de 10 dBm. Par exemple, 60dBA sur l'échelle de décibels n'est pas deux fois plus intense que 30dBA mais 1000 fois plus intense que 30 dBA. **Le tableau 3** présente quelques exemples de sources de bruit. Cette section traite de la façon dont le bruit affecte les performances et la santé. Il fournit également des directives sur la façon de réduire et de contrôler le bruit dans les environnements de vie et de travail.

Tableau III.3 : Exemples de sources de bruit

bruit	Niveau dBA	Augmentation de puissance sonore
Concert Rock à 30 m des haut-parleurs	120	1,000,000,000,000 ( $10^{12}$ )
Marteau pneumatique	100	10,000,000,000 ( $10^{10}$ )
circulation moyen (véhicules)	80	100,000,000 ( $10^8$ )
Aspirateur (10 pied)	70	10,000,000 ( $10^7$ )
Discours conversationnel	60	1,000,000 ( $10^6$ )
Bureau calme	40	10,000 ( $10^4$ )
Chambre à la nuit	30	1000 ( $10^3$ )
Respiration normale	10	10 ( $10^1$ )

#### III.2.4 Vibration :

La vibration est un mouvement régulier ou irrégulier d'un corps sur sa position fixe. Des vibrations régulières (telles que celles expérimentées dans des machines comme les pompes, les compresseurs ou les scies électriques) sont connues pour avoir une forme d'onde prévisible qui se répète à intervalles réguliers. La vibration aléatoire est irrégulière, imprévisible est le type le plus courant rencontré dans le monde réel; Par exemple, des vibrations dans les camions, les tracteurs, les trains et les avions.

La vibration se caractérise par sa direction et sa quantité (fréquence et accélération).

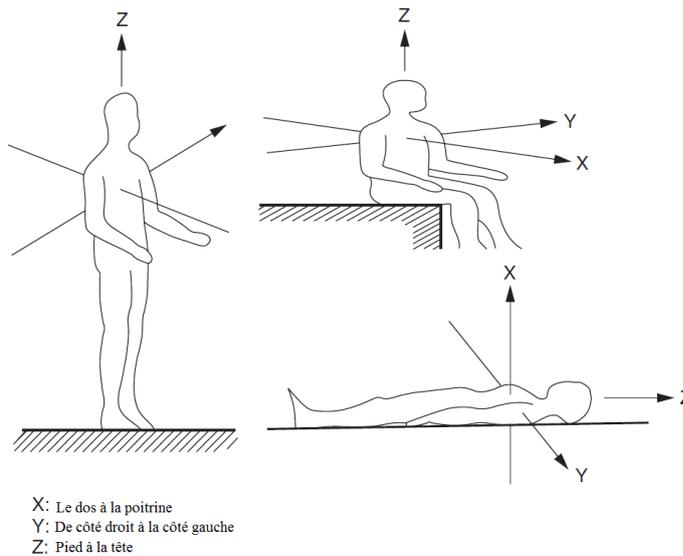
Le corps peut vibrer et se déplacer dans une ou plusieurs directions. La direction du mouvement est décrite en trois composantes orthogonales: X, Y et Z, où X direction est de dos à la poitrine.

La direction Y est du côté droit du côté gauche.

Z direction est le pied à la tête.

Par exemple, en regardant la figure III.7, si la personne est debout ou assis sur une plate-forme vibrante haute et basse, la vibration est dans la direction Z. Si la personne est allongée sur son dos, la vibration est dans la direction X.

La fréquence de mouvement exprime la vitesse de vibration. La fréquence est mesurée en Hertz (Hz), où 1 Hz = 1 cycle par seconde. Par exemple, 1 cycle est le mouvement du corps de son point de référence fixe à son point le plus élevé, jusqu'à son point le plus bas, à son point de référence. Par conséquent, plus la vitesse est élevée et plus vite le corps vibre, plus il y a de cycles par seconde.



**Figure III.9** : La direction de vibration par rapport au torse

L'intensité des vibrations s'exprime en termes de quantité maximale (amplitude ou déplacement), le corps se déplace de son point de référence fixe, mesuré en pouces ou en mètres. L'intensité peut également être spécifiée en termes d'accélération.

L'accélération peut être exprimée en pouces par seconde carré ( $\text{in.} / \text{s}^2$ ) ou par mètre par seconde carré ( $\text{m} / \text{s}^2$ ). L'accélération peut également être exprimée en

termes de gravité (g) où 1 g est la quantité d'accélération nécessaire pour soulever le corps de la surface de la terre.

### **III.2.4.1 Effets de la vibration sur la performance :**

Les principaux effets de la vibration sur les performances sont la réduction de la motricité (c'est-à-dire la stabilité de la main) et le contrôle visuel (c'est-à-dire la fixation des yeux). Il n'existe aucune preuve forte pour suggérer que les vibrations affectent le traitement de l'information, le temps de réaction, la reconnaissance des formes, ou toute tâche intellectuelle (cognitive).

#### **III.2.4.1.1 Contrôle de motricité :**

Une recherche considérable a constamment démontré les effets de la vibration sur la performance de la motricité (Hornick, 1973; Levison, 1976; Lewis et Griffin, 1978, 1979a).

Un résumé des résultats suit:

- Les vibrations ont des effets résiduels pouvant durer jusqu'à une demi-heure après l'exposition ;
- À de faibles fréquences de vibration (moins d'environ 15 Hz), la réduction de performance est liée à la quantité de vibrations rencontrée par le membre de contrôle ;
- Au fur et à mesure que l'intensité de vibration transmise au membre associé augmente, la performance de suivi diminue ;
- La dégradation des performances manuelles dépend principalement de l'intensité de la vibration ;
- La dégradation de la performance manuelle se produit lorsque la tâche exige un mouvement dans l'axe dans lequel l'individu est en vibration. Par exemple, l'exécution du suivi vertical est plus affectée par la vibration dans l'axe Z que l'axe Y ou X.

#### **III.2.4.1.2 Performance visuelle :**

Des exemples d'effets de vibration sur les performances visuelles sont observés dans des situations de travail telles que conduire des camions ou des tracteurs. Les problèmes les plus fréquemment rapportés associés à ces situations sont des images floues dans le champ visuel et une diminution de l'acuité visuelle

(possibilité de voir des détails fins). Est probablement dû à l'instabilité de l'image sur la rétine. Une revue sommaire des résultats (Griffin, 1976; Meddick et Griffin, 1976; Barnes, Benson et Prior, 1978; Griffin et Lewis, 1978; Lewis et Griffin, 1979b, Moseley et Griffin, 1986) démontre que :

- Lorsque l'objet et la personne vibrent, les deux peuvent vibrer à différentes fréquences et intensités :
  - ✓ Peut ou peut ne pas être en phase.
  - ✓ Peut ou peut ne pas se déplacer dans le même axe ;
- Les effets des vibrations sur la performance visuelle dépendent de la taille de l'objet observé et de sa distance par rapport à l'observateur ;
- La dégradation de la performance visuelle est déterminée principalement par la fréquence des vibrations. Par exemple, une altération de la performance visuelle se produit dans la gamme de fréquences 10-25 Hz ;
- La vibration à basse fréquence affecte la capacité de l'œil à suivre les cibles et à maintenir une image stable sur la rétine (par exemple, en lisant un livre en train) ;
- La vibration haute fréquence crée des images floues.

#### **III.2.4.2 Effets des vibrations sur la santé :**

L'exposition aux vibrations, en particulier à long terme, cause essentiellement deux problèmes de santé: les dommages aux organes du corps en raison de la vibration du corps entier, qui est liée à la vibration de haute intensité; Et les dommages aux vaisseaux sanguins, aux tissus du corps au système nerveux aux doigts, aux mains et aux bras en raison de vibrations segmentaires, cela est liée à la vibration à haute fréquence. La majorité des études dans la littérature se concentrent sur les conducteurs de tracteurs, les camionneurs et les travailleurs utilisant des outils électriques (Rosseger et Rosseger, 1960; Ramsey, 1975; Abrams and Suggs, 1977; Whitham et Griffin, 1978; Seidel et Heide, 1986; Grandjean, 1988, Sanders et McCormick, 1993).

La vibration du corps entier est principalement le produit de la vibration verticale (axe Z), lorsqu'il est debout ou assis (Figure III.7), absorbé par les pieds en position debout et les fesses et les pieds en position assise. Les situations les plus courantes où les individus sont exposés à des vibrations à long terme, à forte intensité et à corps entier conduisent des camions, des bus, des tracteurs et des constructions et

des équipements lourds. Les effets physiologiques les plus communs et les plaintes concernant les vibrations corporelles sont

- Douleurs stomacales ou abdominales et troubles de la colonne vertébrale dans les régions du bas du dos et du cou. En outre, des traces de sang dans l'urine peuvent être trouvées, probablement en raison de dommages aux reins ;
- La douleur thoracique et abdominale se manifeste dans la gamme de fréquence de 4 à 10 Hz ;
- Douleurs au dos et au cou dans la gamme 8-12 Hz ;
- Maux de tête, tension musculaire et irritation dans les intestins et la vessie dans la gamme 10-20 Hz.

La vibration segmentaire est principalement le produit d'une longue exposition aux objets vibrants haute fréquence absorbés par les doigts, les mains et les bras. Les situations les plus courantes où les individus sont exposés à des vibrations segmentaires à haute fréquence à haute fréquence proviennent d'exemples d'utilisation d'outils électriques portatifs tels que les broyeurs, les scies à chaîne et les marteaux pneumatiques, ou les machines à polir. En outre, la conception, la taille et le poids de l'outil électrique affectent également son niveau de vibration (Abrams et Suggs, 1977). Les effets physiologiques les plus fréquents et les plaintes de vibrations segmentaires sont :

- Dommages structurels aux vaisseaux sanguins et aux nerfs, principalement dans les doigts et les mains, avec des fréquences de vibration comprises entre 40 et 500 Hz. Les bras pourraient être également affectés au fil du temps ;
- Dommages aux os, aux articulations, aux tendons et aux muscles des mains et des bras avec des fréquences de vibration inférieures à 40 Hz ;
- Les symptômes associés à ces situations sont appelés, la maladie de Raynaud ;
- Douleur, rigidité et engourdissement des doigts et des mains ;
- Blanchiment (couleur blanche ou bleuâtre) de tout ou une partie des mains et des doigts ;
- Perte de contrôle et de force musculaire.

#### **III.2.5 STRESS :**

La définition générale du stress est la réaction d'un organisme (humain ou animal) à une situation menaçante. Plus précisément, le stress est une réaction

biologique à tout stimulus défavorable (physique, chimique, mental, émotionnel, interne ou externe) qui perturbe l'homéostasie de l'organisme (état stable ou équilibré). Étant donné que le stress est une condition nécessaire dans notre vie, il peut être classé en deux types :

- Le stress positif est le désir de continuer à faire les choses dans la vie et de résoudre des problèmes quotidiens et difficiles. D'une manière générale, le stress positif est bon pour l'homme, et la vie sans elle peut être anormale et peut-être ennuyeuse ;
- Le stress négatif est essentiellement le stress auquel l'homme ne souhaite pas vivre avec. Cela nous met dans un environnement ou un état de colère, de frustration, de dépression, de confusion et de fatigue. La poursuite du stress négatif à long terme peut entraîner des problèmes émotionnels et des maladies physiques, telles que les maladies cardiovasculaires et les troubles musculo-squelettiques.

#### III.2.5.1 Sources et causes du stress

Il est presque impossible de souligner un seul facteur comme cause du stress. Compte tenu de la complexité de la vie moderne et des changements dynamiques dans l'environnement de travail. Trois catégories principales classent les sources du stress. Basé sur la littérature (Karasek, 1979; Lindstrom, 1991; Buunk et Janssen, 1992; Smith et Carayon, 1995; Yang et Carayon, 1995), le tableau 4. Fournit des exemples sommaires des sources de stress. Le stress peut être mesuré qualitativement (par des questionnaires, des entrevues, de l'observation) ou quantitativement (en mesurant le rythme cardiaque, la variabilité du rythme cardiaque, la tension artérielle, le taux respiratoire ou les niveaux d'adrénaline, de noradrénaline, de cortisol, de glucose, d'acide urique ou de stéroïdes dans des échantillons de L'urine, le sang, la sueur ou la salive. Il est recommandé d'utiliser une combinaison des mesures.

Tableau III.4 : Sources de stress

Catégorie	Facteurs	Mène à
Environnement de lieu de travail	<ul style="list-style-type: none"><li>• Manque de contrôle</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>✓ Insatisfaction professionnelle</li><li>✓ Tension émotionnelle et physiologique</li></ul>

	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Manque de gestion et de soutien équitable.</li> <li>• Sous-charge du travail: les connaissances et les capacités de l'individu dépassent de loin les exigences professionnelles</li> <li>• Manque d'engagement organisationnel envers les employés, en termes de loyauté, de développement de carrière (formation, compétences, sécurité)</li> </ul>	<p>✓ Augmentation du stress</p> <p>✓ Augmentation du stress, des plaintes pour la santé, insatisfaction professionnelle, faible performance, absence</p> <p>✓ Augmentation du stress</p>
Environnement physique	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Bruit, faible éclairage, vibration chaleur / froid</li> </ul>	<p>✓ Contribuer à l'augmentation du stress</p>
Différences individuelles	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Personnalité</li> <li>• Manque d'expérience et de connaissances</li> </ul>	<p>✓ Contribuer à l'augmentation du stress</p>

### III.2.6 Troubles musculo-squelettiques :

Les troubles musculo-squelettiques affectent les os et les muscles du corps et les tissus qui forment les articulations du corps. Il existe deux catégories de troubles, en fonction du type d'événement qui l'a provoqué: (1) les conditions causées par un traumatisme aigu, comme un glissement ou une chute résultant par exemple d'un dos tendu, d'une jambe meurtrie ou d'une cheville tendue; Et (2) les conditions liées à l'exposition à un type d'activité physique répétée ou chronique, entraînant, par exemple, une douleur due à des tendons ou à des ligaments enflammés. Les conditions associées à une exposition répétée à l'activité physique sont appelées troubles traumatiques cumulatifs (CTD). La lésion de contrainte répétitive est un autre terme pour un trouble de traumatisme cumulatif lié spécifiquement aux tâches répétitives. Des exemples de **CTD** incluent

- Troubles du tendon: tendinite, ténosynovite, maladie de De Quervain ;
- Troubles nerveux: syndrome du canal carpien, lésion du nerf cubital ou radial;
- Troubles neuromusculaires: syndrome de sortie thoracique, doigt blanc (syndrome de Raynaud).

Certaines personnes considèrent également la douleur lombaire comme un type de CTD, si une seule cause aiguë ne peut être identifiée. Les CTD se développent généralement sur des périodes de semaines, de mois et d'années. Les facteurs de risque liés à l'activité physique liés aux CTD comprennent (Occupational Safety and Health Administration, 1995)

- Application de la force. Les forces intenses se traduisent par des charges plus élevées sur les muscles, les tendons et les articulations, ce qui peut entraîner rapidement une fatigue musculaire ;
- Mouvement répétitif. Ceci est défini comme l'exécution des mêmes mouvements toutes les 30 secondes ou moins 50% du cycle de travail implique des mouvements similaires des membres supérieurs ;
- Posture maladroite. Une posture maladroite exige plus de force musculaire parce que les muscles ne peuvent pas fonctionner aussi efficacement ;
- Contact de stress. Les outils, objets ou équipements qui créent de la pression sur le corps (habituellement les mains et les bras) peuvent inhiber la fonction nerveuse et le flux sanguin ;

- fatigue musculaire globale. Un temps de récupération insuffisant entre les contractions musculaires peut entraîner une fatigue musculaire générale.

L'ampleur du risque associé à une quantité spécifique d'exposition à ces facteurs n'est pas bien définie, mais il y a consensus sur le fait que l'exposition à des niveaux élevés ou des combinaisons de ces facteurs de risque augmente le risque des CTD. Par exemple, la force et la répétition sont des facteurs multiplicatifs reconnus; C'est-à-dire, si ce sont des facteurs de risque simultanés, l'interaction entre eux entraîne probablement un risque accru de CTD par rapport à un seul facteur. En outre, les tâches avec une forte répétition et des forces intenses sont 14 fois plus susceptibles d'être associées à un type de CTD dans le poignet appelé syndrome du canal carpien que les tâches de faible répétition et de faible force (Silverstein, Fine et Armstrong, 1987).

Étant donné qu'il peut y avoir plusieurs causes confondues d'un trouble musculo squelettiques, il est souvent difficile de déterminer si une condition est liée ou pas au travail.

L'objectif de l'ergonomie est d'identifier les facteurs de risque les plus critiques qui peuvent être présents dans le cadre de travail qui pourraient aggraver ou contribuer à la cause d'une blessure. Les facteurs de risque critiques sont ceux que l'ergonome croit être les plus importants à aborder pour la meilleure possibilité de réduire le risque de blessure.

Pour identifier les facteurs de risque critiques, un ergonome classe conceptuellement les activités de travail physique en deux types, ceux qui consistent principalement en des exercices individuels impliquant l'ensemble du corps et ceux qui sont plus répétitifs et impliquent probablement un usage plus intensif du haut du corps ou des bras et mains. Les activités de travail physique qui impliquent des efforts de corps entier impliquent généralement le transport ou le déplacement d'un objet, de sorte qu'ils s'appellent des tâches de manutention manuelle. L'ergonomie utilise différentes approches pour évaluer les facteurs de risque selon que la tâche est une tâche de manipulation manuelle ou une tâche plus répétitive.

### **III.2.7 Manutention manuelle :**

Les tâches de manutention manuelle sont des activités pendant lesquelles les travailleurs déplacent des objets d'un endroit à l'autre en soulevant, en abaissant, en

transportant, en poussant ou en tirant. Dans les installations pétrochimiques, des exemples d'activités de manutention manuelle comprennent

- Soulever un sac d'additif et tenir le sac en versant le contenu dans un mélangeur ;
- Recueillir des boîtes d'huile de moteur emballée à partir d'une palette ;
- Pousser et tirer une prise de palette chargée ;
- Faire basculer et rouler des tambours de produits chimiques dans les zones de rassemblement ;
- Serrer et tourner une manivelle pour ouvrir et fermer manuellement une vanne ;
- Tenir et verser une grande bouteille d'additif liquide dans un mélangeur ;
- Prendre un tuyau, le traîner et le maintenir en position pour se connecter à une station de distribution manifold station ;
- Recueillir et transporter des pièces de rechange d'usine ou des boîtes à outils.

### **III.2.7.1 Facteurs de risque de manutention manuelle :**

Il existe des lignes directrices générales qui peuvent être utilisées pour éliminer les tâches où la force requise pourrait être une préoccupation. Une tâche qui implique l'une des caractéristiques suivantes peut poser un risque qui pourrait être réduit :

- Entraînement ou accroupissement répétitif ou prolongé ;
- Torsion latérale importante du corps ;
- Performance dans un espace confiné qui restreint la posture naturelle ;
- Plus de 16-27 kg manipulés et ne peuvent être tenus près de la poitrine ou du torse ;
- Plus de 27 kg manipulés ;
- Plus de 8 kg soulevés de ou au-dessous de la hauteur du genou ou au-dessus de la hauteur des épaules ;
- Transport ou levage non équilibré (par exemple, la masse de la charge supportée par un côté du corps) ;
- Plus de 5 kg manipulés d'une seule main (par exemple, un outil lourd) ;

- Instable, déséquilibré, difficile ou gênant de gérer les charges en cours de déplacement;
- Objet de plus de 75 cm en deux dimensions portées ou soulevées ;
- Objet pesant plus de 8 kg transporté plus de 9 m ;
- Combinaisons de tâches physiques effectuées pendant plus d'une heure à la fois ;
- Les tâches physiques nécessitant un effort intense et qui nécessitent d'être effectuées plus d'une fois par minute pour des périodes continues de plus de 15 minutes.

Pour les tâches de manutention manuelle dans les unités pétrochimiques, la



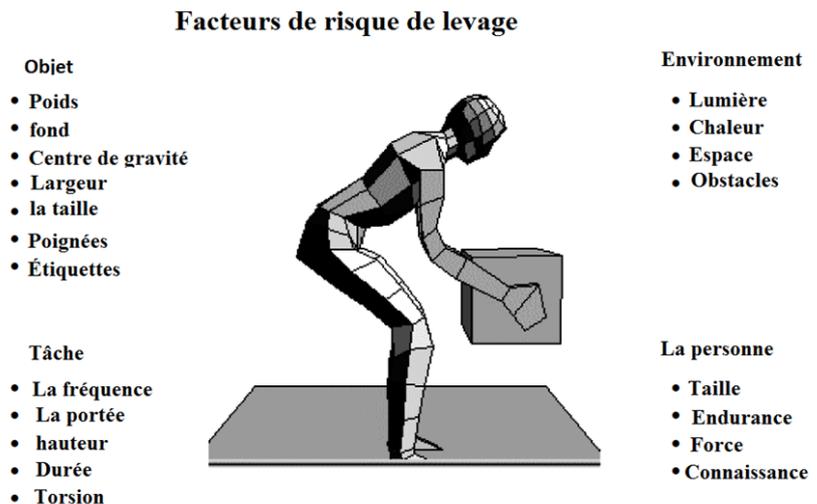
**Figure III.10** : Utilisation d'une jauge de force pour mesurer une tâche de poussée / tirage

préoccupation de l'ergonomie est habituellement concentré sur la force maximale requise en un seul ou quelques exercices. Le risque MSD d'une tâche manuelle de manipulation de matériaux est déterminé en comparant la force réellement requise pour exécuter la tâche à une estimation de la force maximale pour que cette personne travaille dans des circonstances similaires en toute sécurité. Pour une tâche de levage, le poids réel qui doit être levé est comparé à une limite de poids recommandée pour cette situation. Pour tirer, la force requise pour tirer un objet peut être mesurée avec une jauge de force et par rapport aux forces de traction maximales recommandées qui peuvent être exercées de manière sûre dans différentes circonstances (voir la figure III.8).

Moins de tâches de levage hautement répétitives sont rencontrées dans les opérations pétrochimiques que dans d'autres opérations industrielles. Mais, il peut y avoir des occasions où les limites ou les forces de poids recommandées seraient déterminées pour des exercices multiples (Par exemple, plusieurs levage par heure, comme dans une opération d'entreposage décharger une palette et empiler les boîtes sur les étagères).

Pour le levage, les aspects de l'objet, de la tâche, de la technique de l'individu et de l'environnement influencent la quantité de charge qui peut être manipulée en toute sécurité.

La taille, le poids, la stabilité et le contenu de la charge influencent la quantité de poids pouvant être manipulée en toute sécurité. De même, l'emplacement de la charge à ramassé: la hauteur de la charge du sol et la distance horizontale de la charge du corps sont des facteurs critiques pour évaluer le risque d'une situation de levage. Le nombre de fois où la personne doit soulever une charge pendant une période de temps est également considérée. La technique que l'individu utilise pour déplacer la charge influence également le risque, tout comme les facteurs individuels tels que la force, la taille et l'endurance de la personne.



En outre, les facteurs environnementaux tels que la qualité de l'éclairage dans la zone de travail et les facteurs de cheminement et de ménage tels que les obstructions et l'état de la surface du sol influencent également la façon dont une charge peut être manipulée en toute sécurité.

Une tâche de levage sûre, est celle dans laquelle le poids de la charge ne dépasse pas le poids qui pourrait être soulevé en toute sécurité. Une tâche de levage optimale est celle dans laquelle l'objet est compact, facile à saisir et manipuler, et ne requiert aucun mouvement gênant pour manœuvrer la charge. L'objet est facilement

accessible entre la taille et la hauteur du coude et orienté de sorte qu'il puisse être abordé tout droit sans se pencher ou se pencher vers lui. Cette configuration est la moins stressante sur le corps pour le levage et la plus favorable pour le levage en toute sécurité.

Les situations qui s'écartent du scénario optimal contiennent des facteurs de risque.

Des exemples de ces situations comprennent des objets volumineux et instables, des objets sur le plancher et les objets situés de telle sorte que la rotation du torse ou de l'inclinaison profonde soit nécessaire pour leurs accès.

Les directives générales pour les tâches de manutention manuelle sont

- Évitez le travail statique autant que possible ;
- Analyser et redéfinir les travaux nécessitant la manutention manuelle (levage, tir et poussée) de matériaux et d'équipements lourds, si nécessaire ;
- Fournir une assistance mécanique pour les travaux dans lesquels les forces manuelles dépassent les limites de l'opérateur ;
- Fournir une assistance mécanique pour des emplois nécessitant une manipulation fréquente de charges lourdes ;
- Concevoir des travaux de manutention manuelle pour éviter les torsions autant que possible.

## **Chapitre IV : Investigation sur l'implantation de la conception ergonomique**

### **IV.1 L'introduction des issues ergonomique dans la conception des nouvelles installations :**

La résolution des problèmes ergonomique demande tout d'abord de comprendre qu'est-ce que c'est l'ergonomie puis on essaye de l'imposer dans les nouveaux projets. Dans la pratique courante, les compagnies d'engineering, dans un projet donné, essaient de répondre aux exigences de clients rédigées dans les cahiers de charges. La méconnaissance des issues ergonomique par le client et même par le concepteur fait ressortir un design pauvre du point de vue ergonomique.

Pour corriger cette situation le client doit être conscient de l'importance de l'aspect ergonomique dans la vie de l'installation (sécurité; productivité; santé de personnel)

### **IV.2 Principes de conception ergonomique des lieux de travail :**

La conception des lieux de travail est adressée par une série de principes de base de conception, ces principes sont présentés dans une structure hiérarchique comme suit :

- **des principes ;**
- **des sous principe ;**
- **des guidelines.**

Le concepteur doit comprendre que chaque personne est un membre d'une population distincte. Dans les multinationales on peut trouver dans une même unité, plusieurs populations qui diffèrent ; de la nationalité, de l'âge, du sexe, de l'expérience, de la taille, de la langue, de la formation de la santé, de la capacité physique, de la culture, des traditions et même des coutumes.

Généralement l'accomplissement d'une tâche nécessite l'intervention de l'homme soit par un travail dynamique soit par un travail statique.

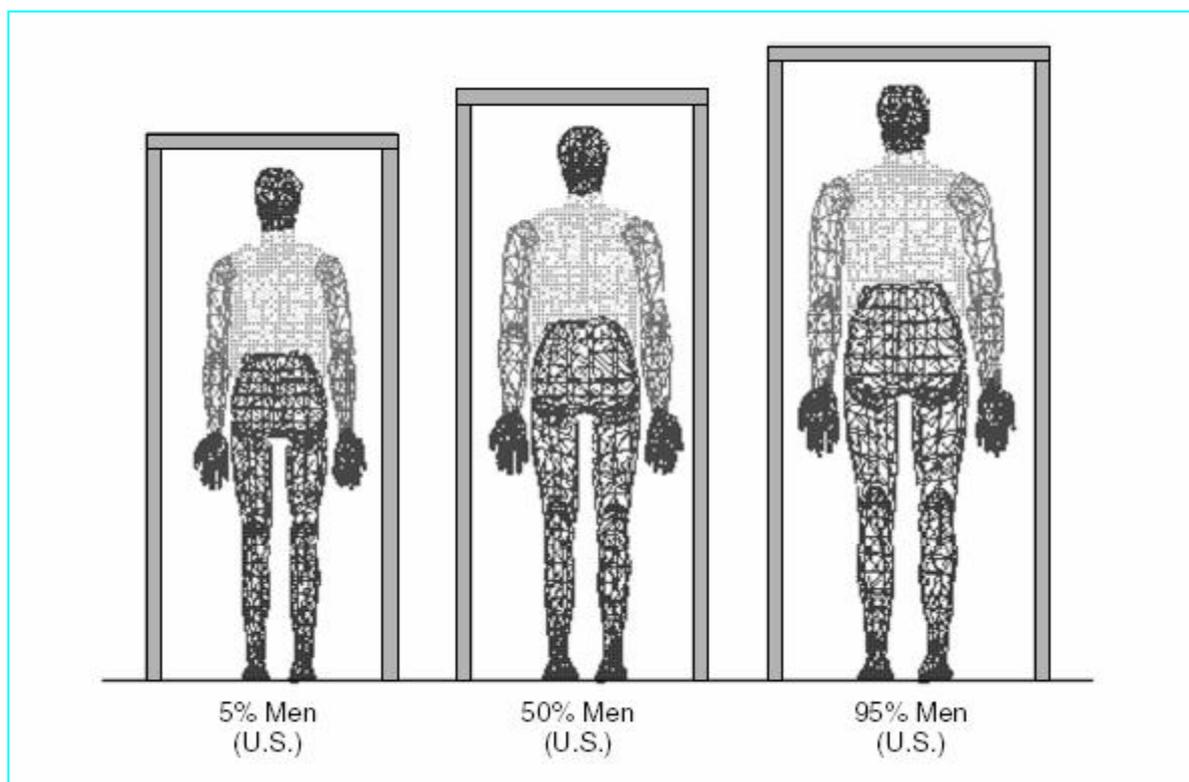
- **Activité dynamique ;**
- **Activité statique.**

Le concepteur doit comprendre qu'une activité statique est plus fatigante et ennuyante qu'une activité dynamique et le repos nécessaire pour une activité statique est 10 fois plus important par rapport à une activité dynamique.

### IV.2.1 Les lieux de travail doivent être conçus pour convenir tous les utilisateurs

:

Les hommes sont différents considérablement par rapport à leurs caractéristiques. Le concepteur doit proposer des solutions qui conviennent le maximum des utilisateurs.



**Figure IV.1 :** Design adapté pour tous les travailleurs

Si, par exemple, nous installons une porte (La figure IV.1), on s'intéresse à la hauteur minimum de la porte qui permet l'entrée de la majorité d'utilisateurs, La caractéristique qu'on recherche dans ce cas est que la posture du personnel utilisant cette porte soit optimale.

Dans ce cas-là, on essaye d'identifier les plus grandes personnes dans la population utilisatrice, puis voir si elles peuvent utiliser cette porte confortablement sans frapper leurs têtes, le concepteur doit choisir la taille qui, permet aux 95% d'utilisateur traverser cette porte sans pencher leurs têtes.

### IV.2.2 Ajustement des lieux et les outils du travail :

Dans beaucoup de cas, la même partie d'un équipement peut être conçu pour être réglable aux caractéristiques des utilisateurs. La figure IV.2, par exemple, illustre un

bureau comme un poste de travail dans lequel la hauteur de porte-clavier s'ajuste sur intervalle d'environ 20 cm pour s'adapter à ceux qui s'assoient plus bas ou plus haut dans leurs chaises.



**Figure IV.2 :** Design d'une hauteur ajustable

Dans le lieu de travail, les parties des équipements doivent être ajustable selon les caractéristiques des travailleurs. La figure IV.3, par exemple, illustre une plateforme d'un appareil de forage qui ajuste l'ouvrier sur la taille de la tête de puits. Si possible, le lieu de travail devrait être conçu pour être ajustable sur un groupe des utilisateurs ; c'est-à-dire, d'une extrémité de la population d'utilisateur à l'autre (5 % à 95 %).



**Figure IV.3 : Design d'une plateforme ajustable**

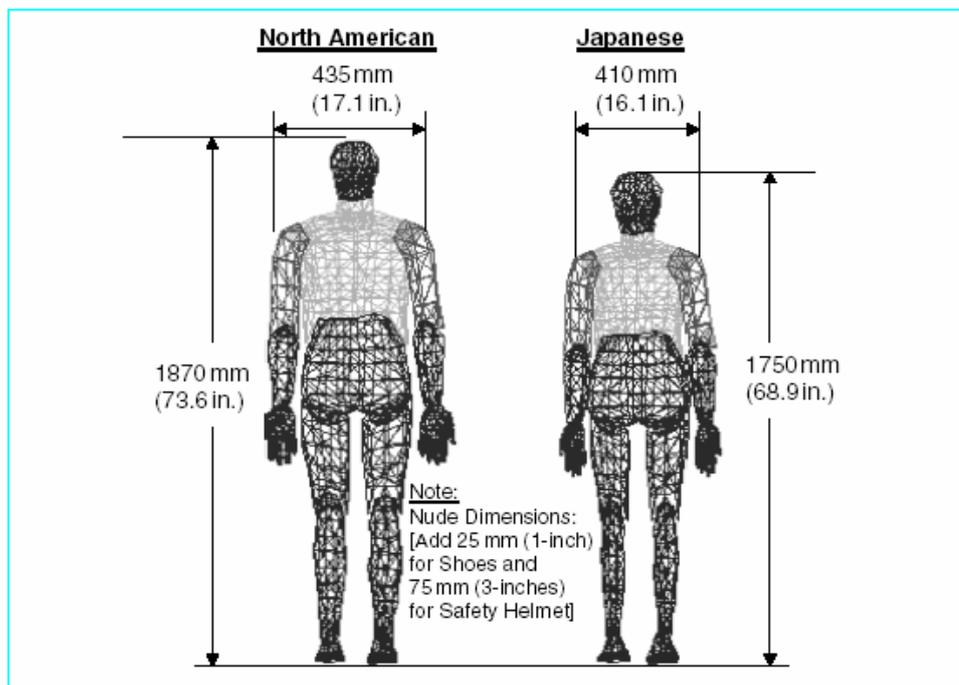
### **IV.2.3 L'accessibilité physique des équipements :**

#### **IV.2.3.1 Allées et couloirs :**

La dimension minimum des allées et des couloirs est déterminée par leurs utilités et la taille de la population utilisatrice. Si les couloirs sont utilisés seulement par les personnes, les largeurs et les tailles sont déterminées par le nombre de personnes qui les traversent simultanément ou se croisent côte à côte.

La largeur minimum des allées prévues pour une seule personne, est déterminée par la largeur du corps des plus grands utilisateurs. La figure IV.4 montre la largeur et la tailles des quatre-vingt-quinze pourcent (95 %) d'hommes des deux très différentes populations :

- Une population des Etats-Unis
- Une population du Japon



**Figure IV.4 :** La taille moyenne pour différentes populations

Si le couloir est conçu pour permettre à deux personnes de passer ou marcher côte à côte sans être touchés, la largeur minimum est deux fois à celle montrée dans la figure IV.4 pour les deux populations ; américaines ou japonaises.

Si le couloir serait utilisé pour le déplacement des chariots ou les équipements, sa largeur peut dépendre de la largeur des plus grands équipements à déplacer. En résumé, la conception des allées et des couloirs est déterminée par la façon dont elles seront utilisées. Et rien ne remplace une analyse complète des besoins de service avant qu'elle soit conçue.

#### **IV.2.3.2 Distances entre les équipements et les parties adjacentes d'équipement :**

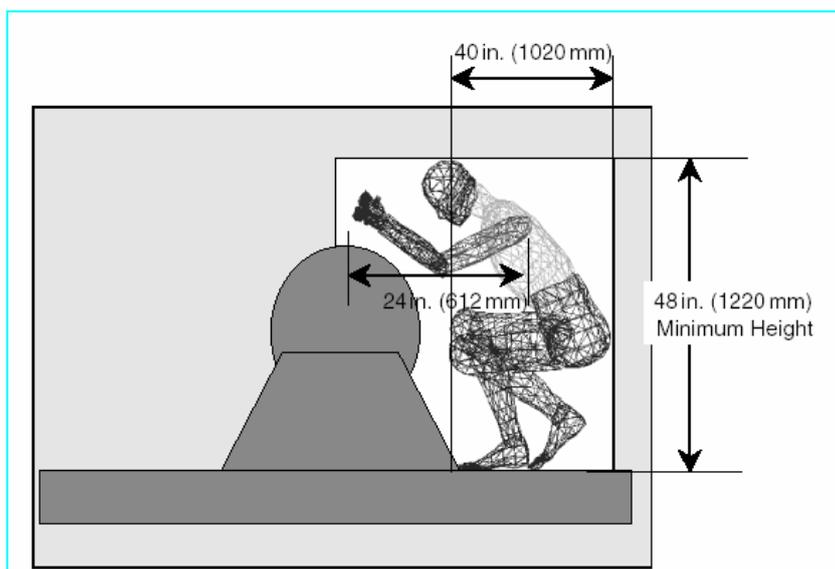
La distance entre les parties adjacentes d'un équipement dépend encore de leurs usages. Si la séparation doit simplement permettre à une personne de passer entre les équipements sans risque, la distance minimum est déterminée par la taille (largeur et longueur) de plus grand utilisateur. Dans la plupart des cas, la distance minimum est de 0,60 m. Il est clair que, si l'équipement est chaud, froid ou pointu, un coefficient de sécurité doit être ajouté. Normalement, une valeur additionnelle de 0,08 à 0,13 m est suffisante.

Cependant, la distance entre les équipements est déterminée par la tâche que l'opérateur doit exécuter. La Figure IV.5, par exemple, illustre un opérateur serré entre deux parties d'un équipement pour accéder à un instrument. Dans ce cas-là, une simple adaptation à cette situation est insuffisante.



**Figure IV.5 :** Opérateur passe  
Entre deux équipements

La figure IV.6 illustre les dimensions minima nécessaires permettant à un opérateur d'entretenir une pompe en position d'accroupissement. L'espace minimum est de



**Figure IV.6 :** Espace minimum pour une bonne accessibilité

nouveau déterminé par le plus grand opérateur (95 %) en position d'accroupissement pour exécuter cette tâche.

### **IV.2.3.3 Échelles, escaliers, rampes, caillebotis, et plateformes :**

Les échelles, les escaliers, les rampes, les caillebotis, et les plateformes sont très importants dans la conception des unités industrielles. Les usines de procès exigent que les opérateurs doivent faire fonctionner les équipements et les garder aisément en état de marche. L'accès aux équipements peut être accompli de plusieurs manières, mais dans la plupart des installations, les opérateurs montent aux équipements en utilisant des rampes, des escaliers, et des échelles. Une fois arrivé à l'altitude de l'équipement les ouvriers utilisent les caillebotis et les plateformes. La conception adéquate des escaliers, des rampes, des échelles, des caillebotis, et des plateformes améliore la sûreté et l'efficacité du travail.

### **IV.2.3.4 Escaliers, échelles, et rampes :**

Généralement il est convenu que la conception et l'utilisation des rampes, des escaliers, ou des échelles dépend de deux questions principales :

- l'angle d'ascension et de descente ;
- la nature de la tâche.

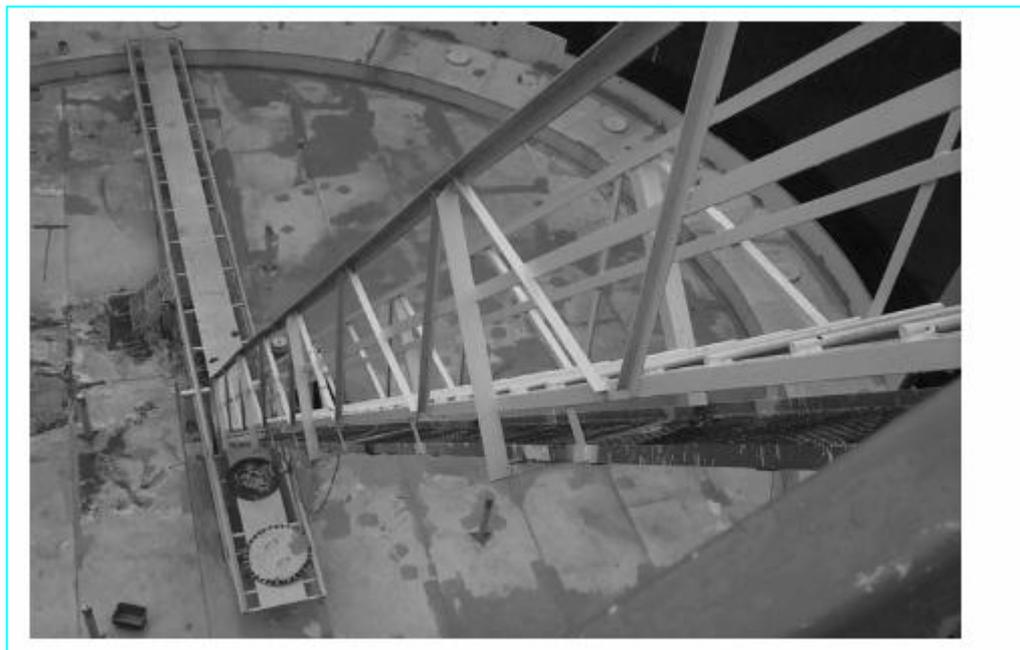
La plupart des recherches suggèrent que les rampes devraient être employées quand l'angle d'ascension et de descente est entre 0° et 20°.

Dans les angles qui dépassent les 15°, il est difficile de pousser ou de tirer du matériel manuellement donc l'usage une machine électrique est indispensable.

Les escaliers sont installés quand l'angle d'ascension et de descente est entre 30° et 50° à l'horizontal (OSHA, 1997). Les échelles sont employées quand on a un angle variant entre 50° et 90°.

Une nouvelle génération des échelles est venue pour être un escalier et une échelle à la fois, ce type d'échelle est utilisé pour les opérateurs qui se déplacent entre plusieurs niveaux sur une base occasionnelle.

Comme exemple on peut citer les réservoirs à toit flottant qui peuvent donner des angles entre 0° et 90° (la figure IV.7).



**Figure IV.7 :** Echelle-escalier installé sur un toit flottant

#### **IV.2.3.5 Passerelles et plates-formes :**

Les passerelles et les plates-formes permettent d'accéder à des équipements au-dessus de niveau. Lorsque l'accès de niveau n'est pas possible les plates-formes sont nécessaires pour donner accès aux installations et équipements suivants:

- Les instruments, y compris les émetteurs et les ports de dérivation, qui doivent être surveillés, ajustés ou entretenus pendant la mise en service de l'installation
- Les ouvertures de service et d'inspection (comprend les points d'observation sur les radiateurs cuits) ;
- Vannes critiques, y compris les vannes de régulation, les vannes d'arrêt d'urgence, les soupapes de sécurité et les vannes motorisées.
- Points d'échantillonnage.

Les plates-formes portables sont acceptables pour l'utilisation aussi longtemps que

- Ils sont faits de matériaux légers ;
- Aucune personne ne doit soulever plus de 23 kg pour les déplacer ;
- Ils sont équipés de roues sur au moins une extrémité pour les aider à bouger ;
- Les roues peuvent être verrouillées lorsque la plate-forme est stationnaire ;
- Ils sont équipés de barrières de sécurité, si elles ont plus de 610 mm de hauteur ;

### **IV.2.3.6 Maintenance et maintenabilité :**

L'équipement de l'installation ou de poste de travail est conçu pour faciliter la maintenance et la maintenabilité. L'équipement défectueux affecte la productivité et entraîne des coûts liés au temps d'inactivité et au remplacement ou à la réparation de l'équipement. Ainsi, les équipements doivent être sélectionnés et installés selon la facilité de maintenance.

La conception et l'installation appropriées de l'équipement ont un effet plus important sur l'efficacité de la maintenance que la compétence ou la formation des techniciens d'entretien. Cette section fournit donc des directives sur la conception et l'installation de l'équipement en ce qui concerne la maintenance et la maintenabilité.

#### **1. Considérations relatives à la conception**

La conception de l'équipement devrait être envisagée lors de la sélection de l'équipement pour la maintenance et la maintenabilité. L'équipement doit être conçu en fonction de la sécurité et de la santé du personnel qui l'utilisent ainsi que de ceux qui font l'entretien. Ces éléments doivent être examinés lors du processus de sélection:

- Accès à la maintenance, y compris les portes et les panneaux et les étiquettes.
- Étagères et tiroir ;
- Points de réglage et de lubrification ;
- Accès aux composants les plus vulnérables et doivent être remplacés (par exemple, croies, bagues).

### **IV.3 Accessibilité physique à l'équipement :**

Une enquête a été menée sur les aspects ergonomiques de conception dans une usine de GNL récemment construite. Aussi des discussions ont été menées avec les travailleurs de cette usine.

La première constatation, c'est le non-respect aux normes ergonomiques par la compagnie d'engineering et beaucoup de problèmes ont été remarqués.



Figure IV.7 : Une vanne difficilement accessible par l'opérateur (très bas)



Figure IV.8 : Une plateforme de mauvaise conception



**Figure IV.9 :** Une vanne bloquant le passage de l'opérateur



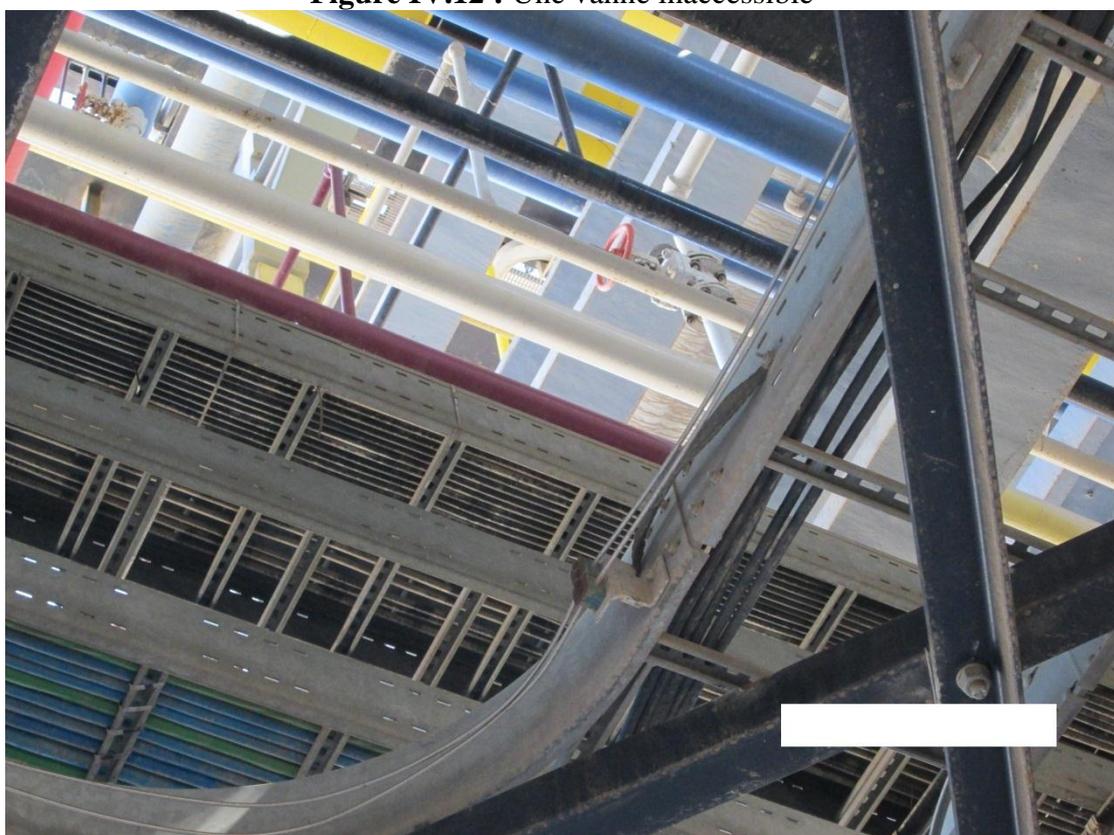
**Figure IV.10 :** Une vanne bien orientée pour faciliter son exploitation par l'opérateur



**Figure IV.11:** Un baromètre bien positionnée/lisible



**Figure IV.12 : Une vanne inaccessible**



**Figure IV.13 : Une vanne inaccessible**

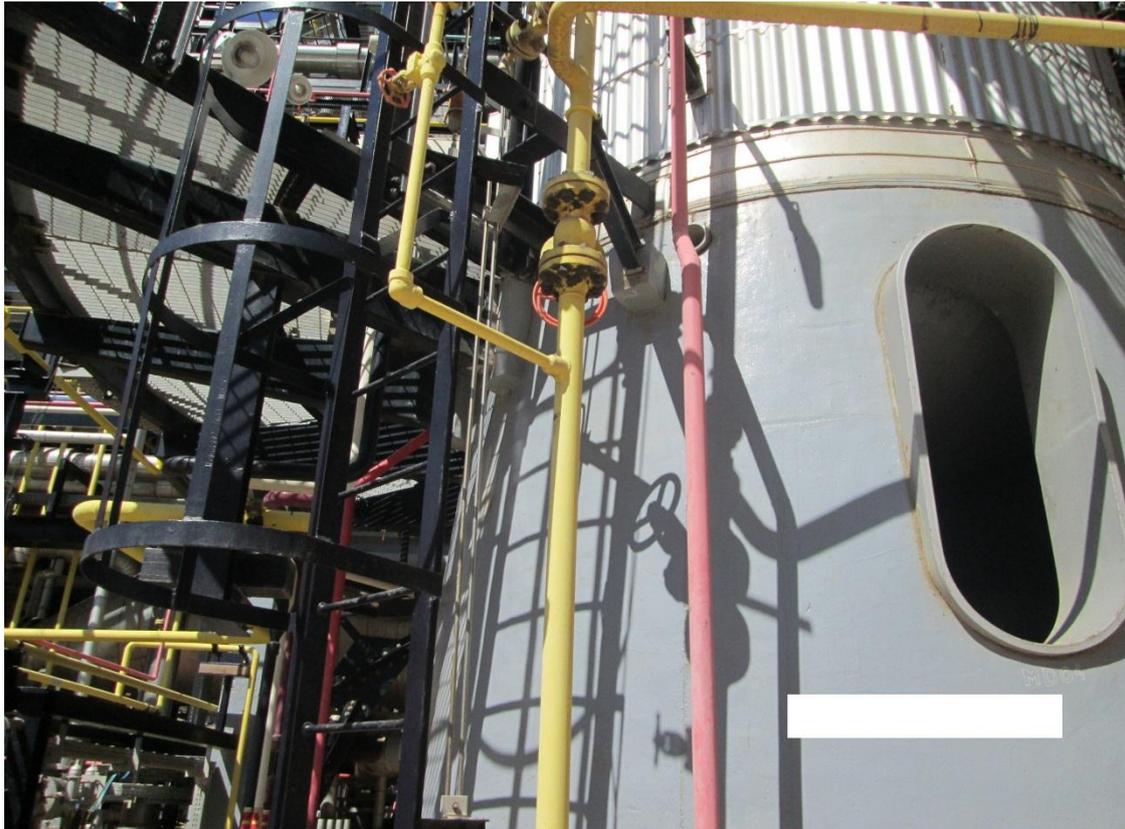
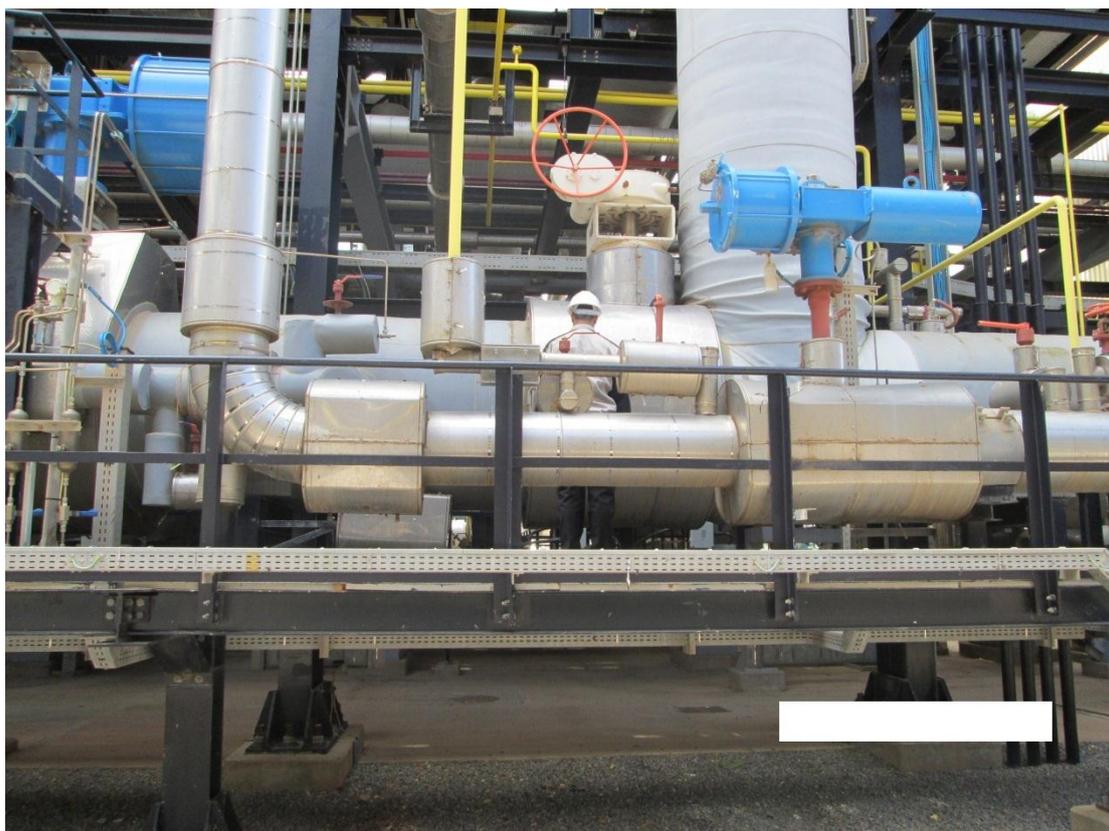


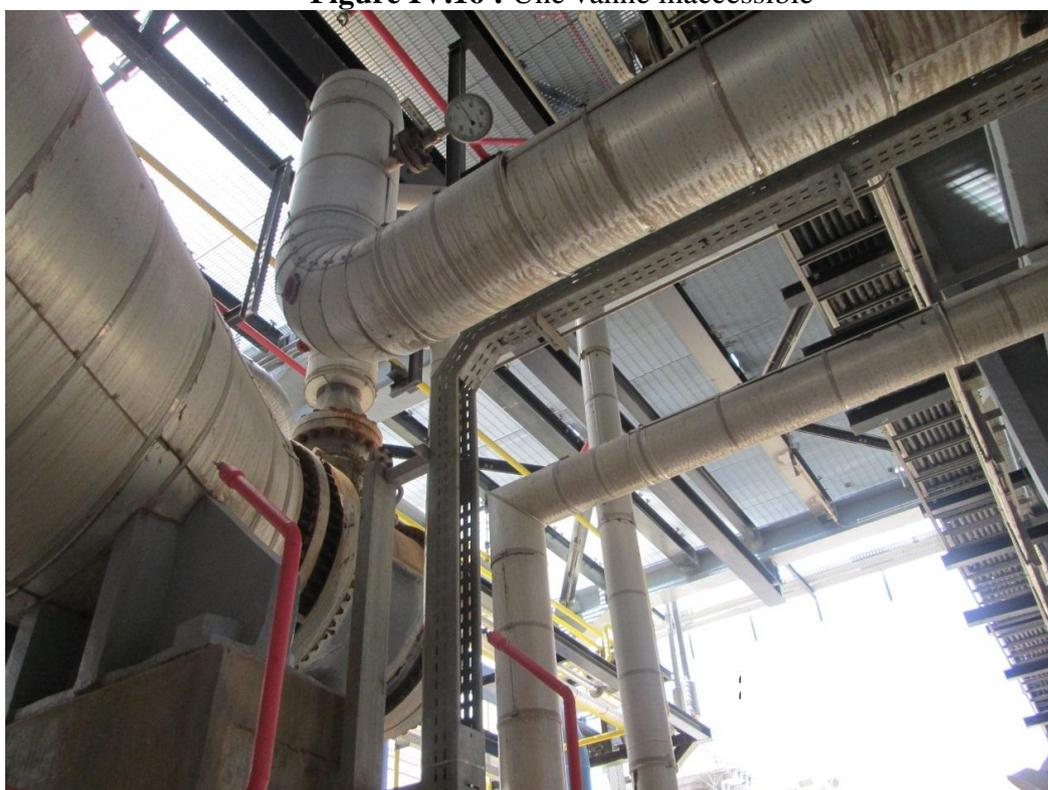
Figure IV.14 : Une vanne mal positionnée par rapport l'échelle



Figure IV.15 : Un baromètre très mal positionné inaccessible à l'opérateur



**Figure IV.16 : Une vanne inaccessible**



**Figure IV.17 : Un baromètre bien orienté mais très élevée**



Figure IV.18 : Une plateforme de bonne conception



Figure IV.19 : Une vanne difficilement accessible par l'opérateur (très élevée)

### VI.4 Aspect ergonomique sur la maintenance :

Des discussions sur l'aspect ergonomie ont été menées avec les ingénieurs d'exploitation de cette usine,

Les ingénieurs d'exploitation de cette usine nous informent que dans beaucoup de situations, ils trouvent des difficultés d'opération (accessibilité) et de maintenance (voir les photos) ces opérateurs nous informent aussi que dans le cas du compresseur MR, pour une simple revue ils sont obligés d'enlever deux grands tronçons des lignes d'aspiration et de refoulement; Mais dans le cas du compresseur BOG ce problème n'existe pas.

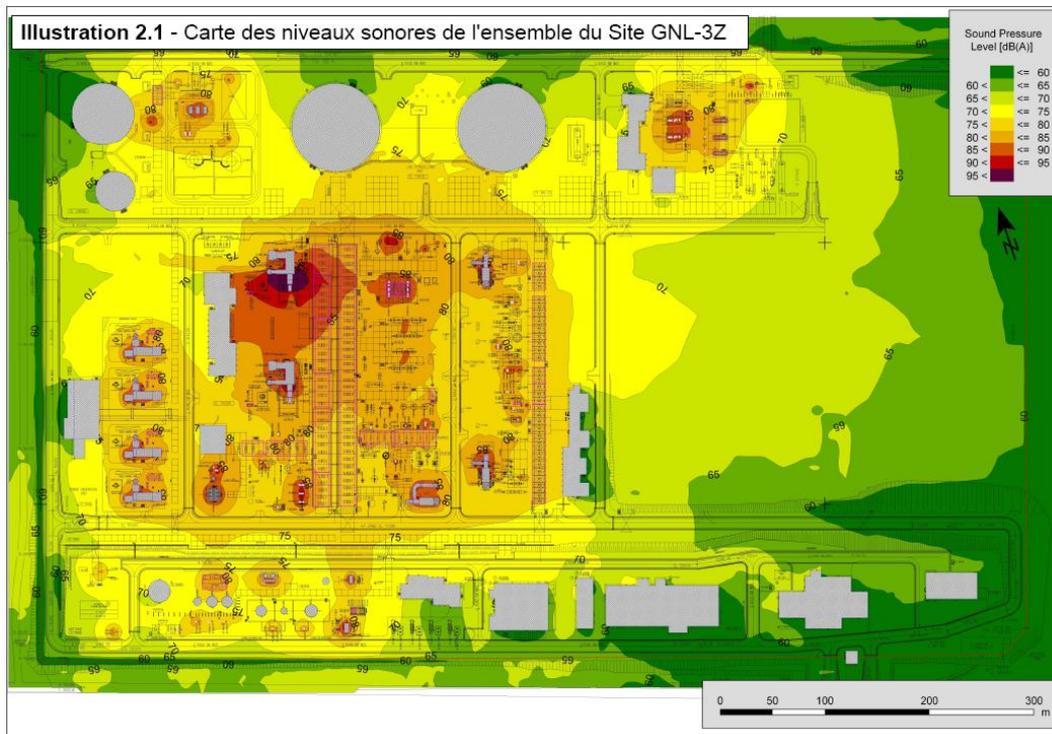


**Figure IV.20** : Un compresseur mal conçu de point de vue maintenance

### VI.5 Niveau de bruit au niveau des installations :

- Aussi dans notre enquête on a découvert que le concepteur n'a pas respecté le niveau de bruit recommandé dans les installations.
- Les bonnes pratiques indiquent qu'une limite de 85 décibels à une distance d'un mètre de n'importe quels équipements alors lors de campagne de mesure,

on a trouvé dans beaucoup de zones que le niveau de bruit dépassant les 85 décibels. (voir figure IV.21).



**Figure IV.21** : Carte isophonique

### IV.6 Niveau de d'éclairage au niveau de la salle de maintenance :

Des discussions avec le personnel de maintenance il a été clarifié que les techniciens de maintenance trouvent beaucoup de difficultés de voir les petits éléments nécessaires pour les opérations de maintenance et ça est dû à l'éclairage très faible.

### IV.7 Les conséquences d'une faible conception ergonomique :

La considération de tous les facteurs ergonomiques pendant la phase de conception est nécessaire pour plusieurs raisons:

- Un système mal conçu de point de vue ergonomique, prolifère des difficultés à la sécurité des systèmes (installations) et à la performance ;
- une fois le système est conçu les corrections peuvent engendrer d'autres problèmes techniques ou ergonomique et peuvent aussi perturber l'homogénéité du système.
- Un coût de révisions plus élevé une fois le système est conçu ;

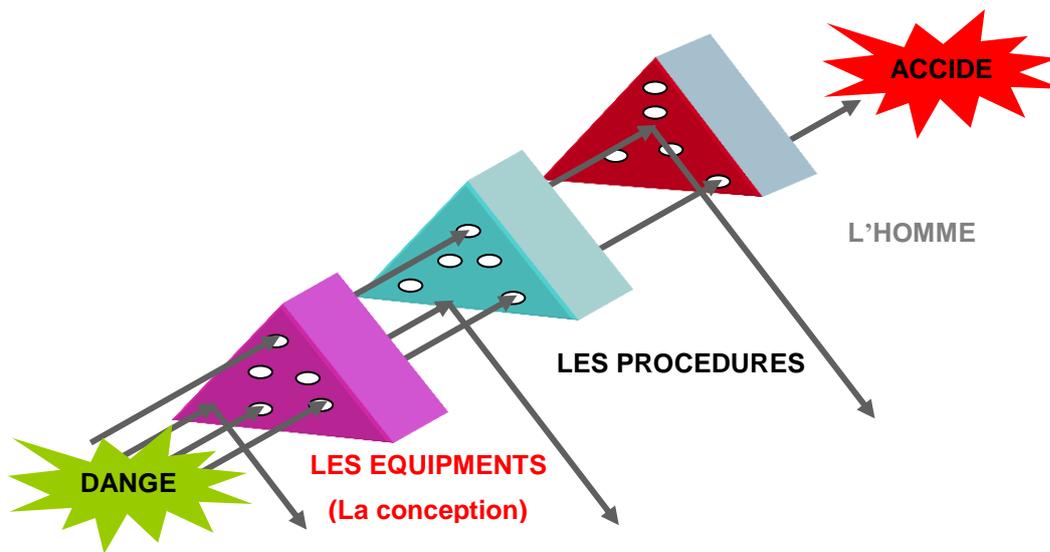
- Des blessures de type ergonomique, tels que des **entorses**,
- Plus un système est automatisé, plus le rôle de l'opérateur est critique ;
- L'erreur humaine s'avère souvent un résultat direct de la mauvaise conception d'un système.

L'incorporation inadéquate des facteurs ergonomiques dans la conception finale d'un projet peut générer beaucoup de problèmes. Dans le meilleur des cas une mauvaise conception peut juste causer un travail et un effort supplémentaires pour les opérateurs. Un exemple de ceci peut être une pompe qui a été mis dans un endroit rétréci et mal éclairé cela va engendrer une difficulté à l'accès. Le changement de cette pompe prend plus de temps, plus de main d'œuvre (plus d'opérateurs) et beaucoup de travail dur.

Une conséquence plus grave peut être des blessures aux opérateurs. Un exemple commun de ceci est une vanne d'isolation de procès qui est placée sur une conduite (pipe) élevée sans plateforme d'accès. Quand cette vanne doit être utilisée (pendant une situation critique de procès) ; très probablement l'opérateur montera sur les pipes vers la vanne. Il y a un risque significatif d'une chute en effectuant ce travail urgent et des dégâts graves sont très probables dans cet incident.

Montant dans l'échelle de gravité de la mauvaise conception, on peut avoir comme conséquence, la perte des biens (installations & équipements) et probablement des vies humaines. Ceci peut être le résultat de quelque chose de très simple comme un commutateur de pompe qui fonctionne différemment à un autre dans le même site. Un nouvel opérateur en urgence ne se rappelle pas de ceci et l'allume quand il devrait être éteint.

Tandis qu'un commutateur en lui-même ne peut pas être susceptible de causer directement un accident, il peut être l'action finale dans la série d'événements menant à l'accident. Le model de **JAMES REASON** « SWISS CHEESE » explique bien l'occurrence d'un accident après une série de défaillances (la figure IV.22).



**Figure IV.22 : Model de Fromage SWISS (JAMES REASON)**

Il y a également des problèmes plus compliqués qui pourraient avoir des conséquences graves telles que la mauvaise disposition des indicateurs et des commandes sur la console dans les salles de contrôle, ceci peut mener un opérateur à ignorer une alarme critique pendant une situation d'urgence due à la disposition confondante (la figure IV.22).

Une inadéquate investigation sur les causes principales des accidents dans les exemples précédents peut juste énoncer l'opérateur comme coupable et il doit être jugé responsable.

Le rapport final d'investigation énoncerait que la manière de réparer le problème serait de faire attention et poursuivre les procédures. Les facteurs de contribution réels y compris la mauvaise conception ergonomique ne sont ni signalés ni corrigés. Donc le prochain accident attendrait son tour pour se produire.

Une analyse approfondie sur les causes réelles d'un accident, va montrer la faiblesse de la conception comme étant le facteur majeur participant à l'occurrence de ces incidents.

Connaissant que l'erreur humaine est probable, donc on doit rechercher les facteurs qui facilitent l'occurrence des erreurs humaines. Ces facteurs devraient être éliminés dès la phase de conception. Pour ne pas être obligé de les corriger (bricoler) dans les étapes avancées d'un projet.

## **Chapitre IV : Investigation sur l'implantation de la conception ergonomique**

---

C'est normal que le homme (opérateur) commet des erreurs, et on sait bien que les gens ne sont pas parfaits et l'histoire nous a montré que nous ne pouvons pas nous attendre pour qu'ils soient. C'est pour cette raison l'installation de plusieurs barrières de protection (protection layer) est indispensable. Les ingénieurs-concepteurs développent des couches de défense entre les dangers et les personnes et les biens. Cependant les couches sont rarement parfaites, avec des trous comme une tranche de fromage suisse.

### Conclusion générale

Pendant notre étude on a conclu, que la conception ergonomique permet d'obtenir des résultats précis dans la prévention des risques dans l'industrie des hydrocarbures.

Après l'achèvement de notre étude on a découvert l'importance de l'introduction de l'ergonomie dans la conception des installations pétrolière et gazière. Il a été constaté que l'ignorance de l'ergonomie peut générer une installation moins performante de point de vue confort au personnel, accident d'incident plus probable, perte de temps dans les interventions de maintenance.

On conclut que l'introduction de l'ergonomie dans la conception des installations pétrolière et gazière fournira des avantages aux systèmes aussi bien qu'aux hommes. Parmi les avantages de l'insertion de l'ergonomie on peut citer :

- Assurer un confort acceptable pour les opérateurs ;
- Réduire ou éliminer des risques pour l'individu et l'environnement général de travail ;
- Réduire ou éliminer les erreurs dans l'exécution des tâches ;
- Améliorer l'efficacité de système ;
- Améliorer l'usage du système ;
- Réduire la probabilité de l'occurrence d'accidents.

### Bibliographie

#### I.1 Les ouvrages et les articles :

- Ergonomics Solutions for Processes Industries/Dennis A. Attwood/ Joseph M. Deeb/ Mary E. Danz-Reece/2004 ;
- L'ergonomie instrument et approches ENCYCLOPEDIE DE SECURITE ET DE SANTE AU TRAVAIL/ Wolfgang Laurig et Joachim Vedder/ La troisième édition/1983 ;
- LES CAHIERS DE LA SÉCURITÉ INDUSTRIELLE FACTEURS HUMAINS ET ORGANISATIONNELS DE LA SÉCURITÉ INDUSTRIELLE UN ETAT DE L'ART /François DANIELLOU/Marcel SIMARD/Ivan BOISSIERES/2010 ;
- Pierre Falzon, Ergonomie/ Presses Universitaires de France/2004 ;
- Approche d'Intégration des Facteurs Humains dans la Sécurité des Transports Ferroviaires Guides Projet « Facteurs »/ Habib HADJ MABROUK/ Mohamed DOGUI/1999;
- Facteurs Humaines et Sécurité des Travailleurs/ Dr J. GODARD/2006 ;
- Handbook of Human Factors and Ergonomics Methods/ Neville Stanton/ Alan Hedge/ Karel Brookhuis /Eduardo Salas/ Hal Hendrick/2005 ;
- Les Facteurs Humains au Cœur de la Sécurité Maritime /Jean-Pierre Closterman/ 2015 ;
- Ergonomie de conception/ Bronislaw KAPITANIAK/2012.

#### I.2 Mémoires de fin études :

- Thèse doctorat : Sécurité des machines : méthodologie d'identification/ Nicholas De Galvez/ Ecole nationale supérieure d'arts et métiers – ENSAM/ 2016
- Thèse doctorat : Proposition d'une Démarche d'Intégration de Nouvelles Méthodes en Conception: Eléments pour la Définition du Rôle de l'Intégrateur "méthode»/ 2005 ;
- Thèse doctorat : Intégration Projet/Données lors de la conception de produits multi-technologiques en contexte collaboratif/ Xavier GODOT/ 2013 ;

## **Bibliographie**

---

- Thèse doctorat : Evaluation Basée sur l'Interopérabilité de la performance de collaborations dans le processus de conception/ Amir Pirayesh Neghab/ 2015 ;
- Thèse doctorat : Introduction to Ergonomics /OSHAcademy (Occupational Safety and Health training)/2017 ;
- Thèse doctorat : Prise en compte de la réception émotionnelle du consommateur dans le processus de conception de produits/ Amir Pirayesh Neghab/novembre 2010.

### **I.3 Les sites internet :**

- <https://www.foncsi.org/fr/publications/thematiques/FHOS> ;
- <http://www.universalis.fr/> ;
- <https://fr.wiktionary.org/wiki/encyclopedia> ;
- <http://www.cchst.ca/> Centre Canadien d'Hygiène et de Sécurité au Travail ;
- [www.ergonomie.chups.jussieu.fr](http://www.ergonomie.chups.jussieu.fr) ;
- L'Institut de recherche en santé et en sécurité du travail du Québec (IRSST).