



Université d'Oran 2-Mohamed Ben Ahmed  
Institut de Maintenance et de sécurité Industrielle

## **THÈSE**

Pour l'obtention du diplôme de Doctorat Sciences  
En Sécurité Industrielle

# **Prise en compte de la dimension ergonomie dans l'optimisation des systèmes techniques : Un moyen de prévention des risques d'accidents dans les systèmes technologiques**

Présentée et soutenue publiquement par :  
M. MATIB Miloud

Devant le jury composé de :

|                          |            |                                     |                    |
|--------------------------|------------|-------------------------------------|--------------------|
| MEKKAKIA Mehdi Mokhtaria | Professeur | Université Mohamed Ben Ahmed/Oran 2 | Présidente         |
| LOUNIS Zoubida           | Professeur | Université Mohamed Ben Ahmed/Oran 2 | Directeur de thèse |
| BOUHADIBA Brahim         | Professeur | Université Mohamed Ben Ahmed/Oran 2 | Examineur          |
| LEBSIR Hayet             | Professeur | Université Mohamed Ben Ahmed/Oran 2 | Membre invité      |
| HADJEL Mohammed          | Professeur | Université Mohamed Boudiaf, USTO    | Examineur          |
| BENDRAOUA Abd El Aziz    | Professeur | Université Mohamed Boudiaf, USTO    | Examineur          |
| TAHRAOUI Douma Naima     | Professeur | Université Hassiba Benbouali CHLEF  | Examineur          |

**Année Universitaire : 2025/2026**

### **Citation**

"La science est le moteur du progrès des nations ; elle éclaire l'avenir, stimule l'innovation et pose les fondations d'une société prospère et éclairée."

### **À la mémoire de mes parents ;**

Je souhaite exprimer ma profonde gratitude et mon amour éternel. Leur soutien indéfectible, leur sagesse et leurs encouragements ont été les piliers de mon parcours. Ils ont inculqué en moi les valeurs de persévérance, de travail acharné et d'intégrité, qui m'ont guidé tout au long de cette aventure académique. Leur présence, bien que physique désormais absente, continue de vivre dans chaque pas que je fais. Je leur dédie ce travail, avec tout mon profond amour et ma reconnaissance infinie.

## **Remerciements**

Tout d'abord, Je remercie ALLAH de mon fond du cœur, le Tout-Puissant, pour m'avoir accordé la santé et la force nécessaires tout au long de ma vie. Sa bienveillance infinie m'a guidé vers la connaissance et m'a permis de surmonter chaque défi avec patience et persévérance. C'est grâce à Sa sagesse et à Ses bénédictions que j'ai pu avancer sur le chemin du savoir. Qu'Il continue de me guider et de m'accorder Sa miséricorde à chaque étape de ma vie.

Je souhaite exprimer ma profonde gratitude à ma directrice de thèse, Mme LOUNIS Zoubida, Professeur à l'Institut de Maintenance et de Sécurité Industrielle de l'Université Mohamed Ben Ahmed Oran 2, pour m'avoir accueilli au sein du Laboratoire d'Ingénierie de la Sécurité Industrielle et du Développement Durable (LISIDD) et pour avoir dirigé ce travail de thèse durant ces années extrêmement enrichissantes, tant sur le plan professionnel que personnel. Je tiens à vous témoigner toute ma reconnaissance pour votre bienveillance, votre disponibilité, votre professionnalisme, ainsi que pour vos encouragements constants. Avoir eu l'opportunité de travailler sous votre direction constitue une chance inestimable. Vous avez et aurez toujours mon plus grand respect et toute mon admiration. Mes mots ne pourront jamais exprimer pleinement le soutien infailible que vous m'avez apporté tout au long de mes années d'études. Que Dieu vous protège et vous accorde une longue vie, pleine de santé et de bonheur.

Je tiens à exprimer ma sincère reconnaissance à Mme MEKKAKIA MEHDI Mokhtaria, Professeur à l'IMSI Université Mohammed Ben Ahmed, pour avoir accepté de présider le jury de soutenance de ma thèse. Votre engagement et votre disponibilité pour évaluer ce travail témoignent de votre dévouement envers l'excellence académique. Je suis profondément honoré de bénéficier de votre expertise et je vous remercie chaleureusement pour le temps que vous avez consacré à cette tâche. Votre participation à cette étape cruciale de mon parcours est pour moi une marque de grand soutien et d'encouragement, que j'apprécie énormément.

Je tiens à exprimer mes sincères remerciements à M. BOUHADIBA Brahim, Professeur à l'IMSI Université Mohammed Ben Ahmed, à Mme LEBSIR Hayet, Professeur à l'IMSI Université Mohammed Ben Ahmed, à M HADJEL Mohammed professeur à l'Université Mohammed Boudiaf, USTO, à M. BENDRAOUA Abd el Aziz professeur à l'Université Mohammed Boudiaf, USTO, à Mme TAHRAOUI DOUMA Naima Professeur à l'Université Hassiba Benbouali CHLEF, pour avoir accepté d'examiner ma thèse et de faire partie du jury de soutenance. Je suis profondément honoré par l'intérêt que vous portez à mon

travail et par le temps précieux que vous consacrez à l'évaluer. Votre expertise et vos observations sont pour moi d'une grande valeur, et je suis reconnaissant de pouvoir bénéficier de vos connaissances pour enrichir davantage cette recherche. Merci infiniment pour votre contribution à cette étape essentielle de mon parcours académique.

Je remercie toutes les personnes qui ont contribué à la réussite de mon travail.

### **Dédicace**

Je dédie ce travail avec amour et reconnaissance à ma chère épouse, dont le soutien indéfectible, la patience et l'encouragement constant m'ont accompagné à chaque étape de ce parcours. À mes enfants qui sont ma source d'inspiration et de motivation, je vous remercie pour votre amour inconditionnel et votre compréhension durant les moments difficiles.

À mon frère, à mes sœurs et à ma belle-famille, merci pour votre confiance, vos prières et votre présence bienveillante. Votre amour et votre soutien m'ont donné la force nécessaire pour persévérer et accomplir cet objectif. Que cette réussite soit aussi la vôtre.



## **Abréviation**

- HF : Human Factor
- CAMMI : Cognitive Adaptive Man Machine Interface
- HPM : Les Modèles de Performance Humaine
- MIDAS : le Système de Conception et d'Analyse de l'Intégration Homme-Machine
- HMSEM : La Méthodologie d'Ingénierie des Systèmes Homme-Machine
- RV : Réalité Virtuelle
- RA : Réalité Augmentée
- ODD : Objectifs de Développement Durable
- SST : Sécurité et Santé au Travail
- OIT : Organisation Internationale du Travail
- AVCI : Année de Vie Ajustée sur l'Incapacité : Il permet d'estimer le nombre d'années de vie en bonne santé, perdues à cause d'une incapacité
- OSHA: Occupational Safety and Health Administration
- H-HAZOP: Human - Hazard and Operability
- ALARP: As Low As Reasonably Practicable
- HSE: Health, Safety & Environment
- HAZOP: Hazard and Operability
- PHA: Preliminary Hazard Assessment
- CERA: Complex Ergonomics Risk Assessment
- TMS : Troubles Musculo-Squelettiques
- SELF : Société d'Ergonomie de Langue Française
- IEA : International Ergonomics Association
- AIHA : American Industrial Hygiene Association
- CTD : Troubles Traumatiques Cumulatifs
- QFD : Déploiement des Fonctions de Qualité
- TRIZ : Théorie Innovante de Résolution de Problèmes
- AFB : Processus d'Analyse Fonctionnels des Besoins
- CDCF : Cahier des Charges Fonctionnelles
- AMMI : Cognitive Adaptive Man Machine Interface
- HPM : Les Modèles de performance humaine
- SPL : Sound Pressure Level

- ISO : International Organization for Standardization
- CDC : Cahier des Charges
- EPI : Equipement de Protection Individuelle
- API : American Petroleum Institute
- EN European Norm
- ESD : Emergency Shut Down
- EBV : Vanne de Blocage d'Urgence

## **Résumé :**

L'évolution rapide des technologies et la complexité des systèmes dans l'industrie pétrolière et gazière rendent l'ergonomie essentielle dans la conception des installations modernes. Lorsqu'elle est négligée, des problèmes tels que des postes de travail mal conçus, des interfaces homme-machine complexes et des environnements peu adaptés entraînent fatigue, stress, erreurs humaines, et risques accrus d'accidents, affectant gravement la productivité et la sécurité. Notre étude examine ces défis et la compréhension de l'ergonomie par les concepteurs et ingénieurs, en particulier les facteurs qui freinent son intégration dans les nouvelles conceptions. En explorant les meilleures pratiques et les obstacles rencontrés, notre objectif est de démontrer comment une ergonomie bien pensée améliore les conditions de travail et la performance opérationnelle tout en minimisant les risques. Ce travail s'articule autour d'une revue de la littérature, d'une analyse des cas d'accidents liés à des défaillances ergonomiques ainsi que d'enquêtes terrain, afin de proposer des recommandations pour intégrer l'ergonomie dès la phase de conception. Nous espérons ainsi offrir une vision holistique et proactive pour des installations plus sûres, plus productives et adaptées aux défis de ce secteur complexe.

# Table des matières

|                                                                                                                                                        |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Introduction générale.....                                                                                                                             | 1  |
| I. Chapitre I : Synthèse bibliographique.....                                                                                                          | 4  |
| II. Chapitre II : La conception et l'ergonomie .....                                                                                                   | 20 |
| II.1. Introduction .....                                                                                                                               | 20 |
| II.2. Définition de la conception .....                                                                                                                | 21 |
| II.2.1. Le processus de conception .....                                                                                                               | 21 |
| II.2.2. La conception routinière.....                                                                                                                  | 23 |
| II.2.3. La conception innovante.....                                                                                                                   | 23 |
| II.2.4. La conception créative.....                                                                                                                    | 23 |
| II.2.5. La conception robuste.....                                                                                                                     | 24 |
| II.3. Définition et évolution de l'ergonomie .....                                                                                                     | 24 |
| II.3.1. Introduction .....                                                                                                                             | 24 |
| II.3.2. Définition de l'ergonomie .....                                                                                                                | 25 |
| II.3.2.1. Ergonomie Physique :.....                                                                                                                    | 26 |
| II.3.2.2. Ergonomie Cognitive :.....                                                                                                                   | 27 |
| II.3.2.3. Ergonomie organisationnelle : .....                                                                                                          | 28 |
| II.3.3. L'évolution de la définition de l'ergonomie.....                                                                                               | 29 |
| II.3.4. La différence entre les facteurs humains et l'ergonomie.....                                                                                   | 30 |
| II.3.5. L'apport des différentes disciplines à l'ergonomie .....                                                                                       | 31 |
| II.4. Efficacité accrue grâce à l'intégration de l'ergonomie.....                                                                                      | 33 |
| II.5. Intégration de l'ergonomie dans le processus de conception : défis, avantages et perspectives .....                                              | 33 |
| II.6. Les expositions ergonomiques dans l'industrie pétrolière et gazière .....                                                                        | 37 |
| II.7. Les interventions ergonomiques dans le processus de conception .....                                                                             | 38 |
| II.7.1. DUCHAMP et AOUSSAT :.....                                                                                                                      | 40 |
| II.7.2. FADIER :.....                                                                                                                                  | 40 |
| II.7.3. Conception participative :.....                                                                                                                | 40 |
| II.7.4. GARRIGOU :.....                                                                                                                                | 40 |
| II.7.5. ROUSSEL : .....                                                                                                                                | 40 |
| II.7.6. MARSOT : .....                                                                                                                                 | 41 |
| II.8. Conséquences d'une conception ergonomique insuffisante.....                                                                                      | 41 |
| II.9. Évolution des thèmes ergonomiques :.....                                                                                                         | 42 |
| III. Chapitre III : La sécurité proactive en conception : une approche clé pour un monde numérisé pour des installations pétrolières et gazières ..... | 44 |
| III.1. Introduction .....                                                                                                                              | 44 |
| III.2. Définition et bénéfices de la sécurité proactive en conception .....                                                                            | 44 |
| III.3. L'intégration de l'approche HSE dans la conception des installations .....                                                                      | 45 |
| III.4. Modèle cognitif de l'activité du concepteur.....                                                                                                | 46 |
| III.5. L'aspect prévention durant la phase de conception.....                                                                                          | 48 |
| III.6. Enjeux réglementaires et défis liés à la prévention .....                                                                                       | 49 |
| III.7. Vers une intégration proactive de la sécurité.....                                                                                              | 50 |
| III.8. Les prescriptions des spécifications dans les cahiers des charges.....                                                                          | 50 |
| III.8.1. Approches séquentielles et normatives.....                                                                                                    | 50 |
| III.8.2. Méthodes de conception innovantes .....                                                                                                       | 51 |
| III.8.3. Modèles cognitifs pour l'intégration de la sécurité.....                                                                                      | 51 |
| III.8.4. Raisonnement basé sur les cas .....                                                                                                           | 51 |
| III.8.5. Vers une intégration systématique de la sécurité et de l'ergonomie .....                                                                      | 51 |
| III.9. L'évolution des méthodes et approches de conception.....                                                                                        | 52 |

|               |                                                                                                                               |     |
|---------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| III.10.       | Approche proactive dans la conception des systèmes techniques .....                                                           | 53  |
| III.10.1.     | Ergonomie.....                                                                                                                | 54  |
| III.10.2.     | Sécurité .....                                                                                                                | 55  |
| III.10.3.     | Intégration dans une approche proactive .....                                                                                 | 55  |
| III.11.       | Prévision de l'usage futur dans la conception d'un système homme-machine .....                                                | 56  |
| III.12.       | Prévision de l'évaluation ergonomique des conceptions.....                                                                    | 57  |
| III.13.       | Définition du Système homme-machine .....                                                                                     | 60  |
| III.13.1.     | Liens de Système .....                                                                                                        | 61  |
| III.13.2.     | Description fonctionnelle de l'environnement du travail .....                                                                 | 62  |
| III.14.       | Prévision des critères ergonomiques dans la conception des milieux de travail .....                                           | 63  |
| III.14.1.     | Introduction.....                                                                                                             | 63  |
| III.14.2.     | Température .....                                                                                                             | 64  |
| III.14.2.1.   | Effets de la chaleur sur la performance des tâches cognitives .....                                                           | 66  |
| III.14.2.2.   | Effets de la chaleur sur la performance des activités physiques .....                                                         | 67  |
| III.14.2.3.   | Effets du froid sur la performance.....                                                                                       | 68  |
| III.14.2.4.   | Effets du froid sur la performance des tâches cognitives.....                                                                 | 69  |
| III.14.2.5.   | Effets du froid sur la performance des activités physiques.....                                                               | 70  |
| III.14.2.6.   | Effets de l'environnement chaud sur la santé.....                                                                             | 72  |
| III.14.2.7.   | Effets de l'environnement froid sur la santé .....                                                                            | 74  |
| III.14.3.     | L'éclairage au milieu du travail : .....                                                                                      | 75  |
| III.14.4.     | Bruit .....                                                                                                                   | 76  |
| III.14.4.1.   | Effets du bruit sur la santé : .....                                                                                          | 77  |
| III.14.5.     | Vibration .....                                                                                                               | 78  |
| III.14.5.1.   | Effets des vibrations sur la santé .....                                                                                      | 80  |
| III.14.6.     | Le Stress au travail.....                                                                                                     | 80  |
| III.14.6.1.   | Introduction .....                                                                                                            | 80  |
| III.14.6.2.   | Définitions du stress .....                                                                                                   | 80  |
| III.14.6.3.   | Les effets du stress .....                                                                                                    | 81  |
| III.14.6.4.   | Le Stress au travail et autres facteurs .....                                                                                 | 81  |
| III.14.6.5.   | Le coût du stress.....                                                                                                        | 82  |
| III.14.6.6.   | Sources et causes du stress .....                                                                                             | 83  |
| III.14.6.7.   | Troubles musculo-squelettiques.....                                                                                           | 85  |
| III.14.6.8.   | Activité physique au travail.....                                                                                             | 86  |
| III.14.6.8.1. | Travail statique et travail dynamique .....                                                                                   | 87  |
| III.14.6.9.   | Travail Statique : .....                                                                                                      | 88  |
| III.14.6.10.  | Travail Dynamique : .....                                                                                                     | 88  |
| III.14.7.     | La maintenance : .....                                                                                                        | 89  |
| III.14.8.     | Principes de conception ergonomique des lieux de travail.....                                                                 | 90  |
| III.14.8.1.   | Une conception pour tous les utilisateurs : .....                                                                             | 90  |
| III.14.8.2.   | Une conception adaptable aux utilisateurs : .....                                                                             | 91  |
| III.14.8.3.   | L'accessibilité physique des équipements.....                                                                                 | 92  |
| III.14.8.4.   | Allées et couloirs .....                                                                                                      | 92  |
| III.14.8.5.   | Agencement des équipements .....                                                                                              | 93  |
| III.14.8.6.   | Échelles, escaliers, rampes, caillebotis, et plateformes.....                                                                 | 93  |
| IV.           | Chapitre IV : Retour d'expérience de la mauvaise prise en charge des critères ergonomiques et l'occurrence des accidents..... | 96  |
| IV.1.         | La relation de la mauvaise prise en charge des critères ergonomiques et l'occurrence des accidents.....                       | 98  |
| IV.2.         | Facteurs contributifs aux incidents critiques .....                                                                           | 100 |
| IV.2.1.       | Facteurs liés aux performances humaines.....                                                                                  | 100 |
| IV.2.2.       | Facteurs liés aux équipements .....                                                                                           | 101 |

|           |                                                                                                     |     |
|-----------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| IV.3.     | Le rôle des erreurs humaines dans l'avènement des accidents.....                                    | 103 |
| IV.4.     | Évaluation de la fiabilité humaine lors de la phase de conception.....                              | 105 |
| IV.5.     | Gestion des erreurs humaines au travail durant la conception des systèmes.....                      | 105 |
| IV.6.     | Le rôle de l'ergonomie dans l'amélioration de la Sécurité et la réduction des accidents.....        | 106 |
| IV.7.     | Exemples réels de la mauvaise conception ergonomique .....                                          | 108 |
| IV.7.1.   | Chutes de hauteur dans le secteur de la construction.....                                           | 109 |
| IV.7.2.   | Troubles musculosquelettiques (TMS) dans industrie manutentionnaire et logistique                   | 109 |
| IV.7.3.   | Explosion et incendie dans l'industrie pétrolière et gazière .....                                  | 109 |
| IV.7.4.   | Blessures graves dans le secteur de la production industrielle .....                                | 110 |
| IV.7.5.   | Système de vidange mal conçu .....                                                                  | 110 |
| IV.7.6.   | Ouverture de la mauvaise vanne peut causer un incendie .....                                        | 111 |
| IV.7.7.   | Anthropométries d'une nouvelle installation.....                                                    | 112 |
| IV.7.8.   | Mauvaise dimension des vannes de by-pass :.....                                                     | 113 |
| IV.8.     | Étude des Risques et de l'Opérabilité (HAZOP) et Human-HAZOP .....                                  | 115 |
| IV.8.1.   | Introduction.....                                                                                   | 115 |
| IV.8.2.   | HAZOP: Hazard and Operability Study .....                                                           | 115 |
| IV.8.2.1. | Définition et objectifs .....                                                                       | 115 |
| IV.8.2.2. | Principes de base.....                                                                              | 115 |
| IV.8.2.3. | Étapes de la méthode .....                                                                          | 115 |
| IV.8.2.4. | Applications .....                                                                                  | 116 |
| IV.8.2.5. | Limites .....                                                                                       | 116 |
| IV.8.3.   | Human-HAZOP : Intégration des facteurs humains.....                                                 | 117 |
| IV.8.3.1. | Définition et objectifs .....                                                                       | 117 |
| IV.8.3.2. | Principes de base.....                                                                              | 117 |
| IV.8.3.3. | Étapes de la méthode .....                                                                          | 117 |
| IV.8.3.4. | Applications .....                                                                                  | 118 |
| IV.8.3.5. | Limites .....                                                                                       | 118 |
| IV.8.4.   | Comparaison entre HAZOP et Human-HAZOP.....                                                         | 118 |
| IV.8.5.   | Synthèse et perspectives .....                                                                      | 118 |
| V.        | Chapitre V : Méthodologie de travail.....                                                           | 129 |
| V.1.      | Introduction .....                                                                                  | 129 |
| V.2.      | Techniques et outils de collecte de données.....                                                    | 129 |
| V.3.      | Sondages sur l'implantation de la conception ergonomique.....                                       | 129 |
| V.4.      | Population et échantillon : .....                                                                   | 132 |
| V.5.      | Un diagramme de conception.....                                                                     | 132 |
| V.6.      | Procédure de collecte de données : .....                                                            | 133 |
| VI.       | Chapitre VI : Partie pratique et investigation sur l'implantation de la conception ergonomique..... | 136 |
| VI.1.     | Connaissance de la signification de l'ergonomie .....                                               | 137 |
| VI.2.     | Connaissance des documents d'ergonomie .....                                                        | 139 |
| VI.3.     | Connaissance des exigences des facteurs ergonomique.....                                            | 140 |
| VI.4.     | Relation avec l'intégration et implémentation de l'ergonomie .....                                  | 142 |
| VI.5.     | Reconnaissance des responsabilités sur l'application de l'ergonomie .....                           | 143 |
| VI.6.     | L'existence de l'organisation lié à l'application de l'ergonomie .....                              | 144 |
| VI.7.     | Les préoccupations d'ergonomie dans les industries pétrolières et gazières .....                    | 146 |
| VI.8.     | Analyse de la mise en œuvre de l'ergonomie .....                                                    | 148 |
| VI.8.1.   | Introduction.....                                                                                   | 148 |
| VI.8.2.   | Données anthropométriques.....                                                                      | 149 |
| VI.8.3.   | Bruit .....                                                                                         | 150 |

|                  |                                                                              |     |
|------------------|------------------------------------------------------------------------------|-----|
| VI.8.4.          | Eclairage .....                                                              | 151 |
| VI.8.5.          | Aspect ergonomie sur les opérations de maintenance .....                     | 153 |
| VI.8.6.          | Discussion et analyse des résultats .....                                    | 161 |
| VI.8.6.1.        | Système de compétition .....                                                 | 166 |
| VI.8.6.2.        | Évaluation de la mise en œuvre de l'ergonomie.....                           | 169 |
| VI.8.6.3.        | Formulation générale des exigences dans le cahier des charges.....           | 170 |
| VI.8.6.4.        | Formulation spécifique des exigences dans le cahier de charge du client..... | 171 |
| VI.8.6.5.        | Recommandation dans le cahier de charge du client .....                      | 172 |
| VI.8.7.          | La stratégie pour l'implantation de l'ergonomie .....                        | 172 |
| VI.8.8.          | L'évaluation de la performance .....                                         | 174 |
| VI.8.9.          | Certification ergonomique .....                                              | 175 |
| CONCLUSIONS..... |                                                                              | 176 |

## Liste des figures

- Figure 01 : Multidisciplinarité de l'ergonomie
- Figure 02 : Coût de la mise en œuvre ergonomique avec les étapes du cycle de vie du projet
- Figure 03 : Vannes inaccessibles
- Figure 04 : Deux conceptions pour la même situation
- Figure 05 : La différence entre un système réel et système parfait
- Figure 06 : Représentation schématique d'un système homme-machine
- Figure 07 : La direction de vibration par rapport au torse
- Figure 08 : L'environnement physique au travail
- Figure 09 : Model de Fromage SWISS (JAMES REASON)
- Figure 10 : Schéma de principe d'une vanne de contrôle
- Figure 11 : processus de conception
- Figure 12 : la signification de l'ergonomie par le personnel du client et du l'entrepreneur
- Figure 13 : Connaissance des documents des facteurs humains /ergonomie
- Figure 14 : Connaissance des exigences des facteurs humains/ergonomie
- Figure 15 : Relation avec l'intégration et implémentation de l'ergonomie
- Figure 16 : Reconnaissance des responsabilités sur l'application de l'ergonomie
- Figure 17 : L'existence de l'organisation lié à l'application ergonomie
- Figure 18 : Les préoccupations d'ergonomie dans les industries pétrolières et gazières
- Figure19 : mauvais emplacement de la plate-forme A
- Figure 20 : mauvais emplacement de la plate-forme B
- Figure 21 carte isophonique
- Figure 22 : Courbes isolux dans le hangar de maintenance avant correction
- Figure 23 : Courbes isolux dans le hangar de maintenance après changement de lampes
- Figure 24 : Contraintes des opérations de maintenances
- Figure 25.01 un baromètre mal positionnée/lisible
- Figure 25.02 un baromètre bien positionnée/lisible
- Figure 25.03 un baromètre mal positionné très haut
- Figure 25.04 un baromètre mal positionné
- Figure 25.05 une vanne inaccessible
- Figure 25.06 une vanne inaccessible
- Figure 25.07 une bonne conception d'échelle
- Figure 25.08 une mauvaise conception d'échelle
- Figure 25.09 une plateforme de mauvaise conception



Figure 25.10 une plateforme de mauvaise conception  
Figure 25.11 une plateforme de bonne conception  
Figure 25.12 une plateforme de bonne conception  
Figure 25.13 une vanne bien orientée pour faciliter son exploitation par l'opérateur  
Figure 25.14 une vanne bien orientée pour faciliter son exploitation par l'opérateur  
Figure 25.15 une vanne accessible  
Figure 25.16 une vanne inaccessible  
Figure 25.17 une vanne inaccessible  
Figure 25.18 une vanne accessible  
Figure 25.19 une vanne bloquant le passage  
Figure 25.20 une vanne difficilement accessible  
Figure 25.21 une vanne difficile à opérer  
Figure 25.22 une vanne difficilement accessible  
Figure 25.23 une vanne inaccessible (haut)  
Figure 25.24 une bonne conception  
Figure 25.25 une vanne difficilement accessible (a)  
Figure 25.26 une vanne difficilement accessible (b)  
Figure 25.27 une vanne difficilement accessible par l'opérateur (très haut)  
Figure 25.28 gaine aspiration (démontage difficile pour les besoins de maintenance.  
Figure 25.29 vanne inaccessible  
Figure 25.30 vanne inaccessible  
Figure 26 : vannes mal orientées  
Figure 27 : échelle mobile pour exploiter deux vannes  
Figures 28 : Cycle du contrôle de performance

### **Liste des tableaux**

Tableau 01 : Sources de stress  
Tableau 02 : les questions posées lors des entretiens  
Tableau 03 : significations des mots clé d'évaluation  
Tableau 04 : Expérience des ingénieurs interrogés  
Tableau 05: Checklist utilisé dans les visites sur sites.

### Introduction générale

Les installations industrielles pétrolières et gazières représentent des environnements parmi les plus complexes et exigeants, où la sécurité et la fiabilité des opérations sont des priorités absolues. Malgré cela, ces secteurs sont régulièrement confrontés à des accidents aux conséquences graves, affectant les travailleurs, l'environnement et les infrastructures. L'une des causes souvent négligées de ces incidents réside dans le manque d'intégration de l'ergonomie dans la conception des installations.

L'ergonomie, discipline visant à adapter les systèmes de travail aux capacités et limites humaines, joue un rôle clé dans la prévention des risques. Pourtant, dans de nombreuses installations industrielles, les considérations ergonomiques sont souvent reléguées au second plan, au profit d'objectifs économiques ou techniques. Cela se traduit notamment par des postes de travail inadaptés, des interfaces mal conçues et une surcharge cognitive des opérateurs, augmentant ainsi les risques d'erreurs humaines et d'accidents.

Dans ce contexte, il est primordial de s'interroger sur les conséquences de l'absence d'une conception ergonomique dans les installations pétrolières et gazières, ainsi que sur les mesures à mettre en œuvre pour prévenir ces dysfonctionnements. Cette analyse permettra de comprendre comment une prise en compte approfondie des facteurs humains dès la phase de conception peut contribuer à réduire les accidents et à optimiser les performances des systèmes industriels.

### Problématique

Comment le manque d'intégration de l'ergonomie dans la conception des installations pétrolières et gazières contribue-t-il à l'augmentation des accidents, et quelles stratégies peuvent être mise en œuvre pour minimiser ces risques tout en améliorant la sécurité et la performance opérationnelle ?

Cette problématique explore le lien entre l'ergonomie, la conception industrielle et leurs impacts sur la sécurité des opérateurs et des équipements. Elle invite à analyser les facteurs humains et organisationnels impliqués dans les défaillances liées à des conceptions inadaptées aux conditions réelles de travail.

### Objectifs de notre travail

Cette étude vise à explorer les différentes dimensions de l'ergonomie dans la conception des installations pétrolières et gazières, en mettant en lumière les meilleures pratiques, les défis et les avantages associés à cette approche. L'objectif est de démontrer comment une conception ergonomique bien pensée peut transformer les conditions de travail, améliorer la performance opérationnelle et promouvoir une culture de sécurité et de bien-être dans l'industrie.

Cette recherche a pour but d'identifier les problèmes d'ergonomie dans les systèmes techniques et d'analyser leurs impacts sur la sécurité des travailleurs et des installations. Et d'explorer la relation entre une mauvaise prise en compte des critères ergonomiques et l'occurrence des accidents, proposerons des méthodes pour intégrer l'ergonomie dans la conception des systèmes techniques afin de prévenir ces risques, et fournirons des recommandations générales pour rendre les futures installations plus efficaces et plus sûres.

En somme, intégrer l'ergonomie dans la conception des installations pétrolières et gazières n'est pas seulement une nécessité pour la protection des travailleurs, mais aussi une stratégie intelligente pour améliorer l'efficacité et la durabilité des opérations. Cette approche holistique peut conduire à des installations plus sûres, plus productives et plus résilientes face aux défis complexes de l'industrie.

Le plan de travail s'organise comme suit :

une synthèse bibliographique sur la conception ergonomique, un retour d'expérience illustrant la relation entre l'ergonomie déficiente et les accidents, une méthodologie décrivant notre approche de recherche, une partie pratique présentant les résultats de notre enquête et de nos analyses, et enfin une conclusion répondant aux interrogations soulevées dans l'introduction, résumant les principales découvertes et proposant des recommandations pour améliorer les pratiques ergonomiques dans l'industrie. Notre thèse est composée de plusieurs chapitres détaillées ci-dessous :

### Structure de la thèse

La thèse est composée de plusieurs chapitres détaillés ci-dessous :

#### Chapitre I : Synthèse bibliographique

Ce chapitre présente une revue de la littérature sur l'ergonomie dans les systèmes techniques, en mettant en lumière les théories et concepts clés, les méthodes d'évaluation ergonomique, ainsi que les principes fondamentaux de l'ergonomie et son intégration dans les systèmes techniques.

### **Chapitre II : La conception et l'ergonomie**

Ce chapitre explore la relation entre la création de produits ou interfaces et leur adaptation aux utilisateurs. Il met en avant l'importance de concevoir des systèmes fonctionnels, esthétiques et ergonomiques, en tenant compte des besoins, capacités et limites des utilisateurs. Les principes clés de la conception (cohérence, simplicité, fonctionnalité) et les différents champs de l'ergonomie (physique, cognitive, organisationnelle) sont également abordés.

### **Chapitre III : Sécurité proactive dans la conception des installations pétrolières et gazières**

Ce chapitre traite de l'intégration de la sécurité dès les premières étapes de la conception des infrastructures dans ces secteurs à haut risque. Il aborde les méthodologies de gestion des risques, les normes de sécurité et les approches visant à garantir la sécurité des travailleurs et des installations tout en optimisant les performances opérationnelles.

### **Chapitre IV : Retour d'expérience sur la mauvaise prise en compte des critères ergonomiques et l'occurrence des accidents**

Ce chapitre se concentre sur des études de cas et des retours d'expérience illustrant la relation entre une mauvaise prise en compte des critères ergonomiques et l'occurrence des accidents. Il analyse les conditions qui poussent les opérateurs à commettre des erreurs et propose des solutions pour y remédier.

### **Chapitre V : Méthodologie de travail**

Cette section décrit la méthodologie adoptée pour l'étude, incluant la collecte des données, la réalisation d'enquêtes sur l'intégration des critères ergonomiques dans les nouvelles installations, ainsi que les techniques d'analyse et les indicateurs utilisés pour évaluer l'ergonomie des systèmes techniques.

### **Chapitre VI : Partie pratique et investigation sur l'intégration de la conception ergonomique**

Ce chapitre présente les résultats de l'enquête et des analyses menées sur le terrain. Il examine les données recueillies, discute des principales tendances et observations, et propose des recommandations spécifiques pour améliorer l'ergonomie dans les systèmes techniques étudiés. Une stratégie pour encourager les entrepreneurs à intégrer les aspects ergonomiques dans la conception des nouvelles installations est également proposée.

Enfin, le travail s'achève par une conclusion générale et quelques perspectives.

Une liste bibliographique est annexée à la thèse pour appuyer les recherches menées.

### I. Chapitre I : Synthèse bibliographique

Les avancées technologiques rapides et la complexité croissante des systèmes techniques dans l'industrie pétrolière et gazière ont mis en évidence la grande importance de l'ergonomie au sein des nouvelles conceptions des installations industrielles. Cependant, des problèmes d'ergonomie mal adressés lors de la phase de conception des nouvelles installations peuvent entraîner des maladies professionnelles, des erreurs d'exploitation, des accidents graves, et une diminution de la productivité. Parmi les problèmes les plus courants, on trouve la conception inadaptée des postes de travail, où une mauvaise disposition des équipements et des outils peut causer des postures inconfortables et des mouvements répétitifs, entraînant des blessures. De plus, les interfaces homme-machine complexes, avec des systèmes de contrôle difficiles à comprendre et à utiliser, peuvent mener à des erreurs humaines. Enfin, des environnements de travail stressants, caractérisés par un éclairage insuffisant, un bruit excessif et une température inappropriée, augmentent le risque de fatigue et d'erreurs.

Une mauvaise conception ergonomique des installations industrielles peut entraîner des accidents de diverses manières. L'ergonomie vise à adapter les conditions de travail aux capacités et aux limitations humaines pour améliorer la sécurité, la productivité et le confort. Lorsqu'elle est négligée, plusieurs types de risques peuvent survenir :

- **Fatigue et stress** : Des postes de travail mal conçus peuvent entraîner une fatigue physique et mentale. Par exemple, des tâches nécessitant des mouvements répétitifs ou des postures inconfortables peuvent provoquer une fatigue musculaire et des troubles musculo-squelettiques. La fatigue et le stress augmentent la probabilité d'erreurs humaines, qui peuvent à leur tour causer des accidents.
- **Erreurs de manipulation** : Des outils et des équipements mal placés ou difficiles à atteindre peuvent entraîner des erreurs de manipulation. Par exemple, si des boutons ou des leviers sont mal positionnés, un opérateur peut accidentellement activer une mauvaise commande, entraînant des accidents potentiellement graves.
- **Visibilité et accessibilité** : Une mauvaise visibilité des indicateurs et des écrans de contrôle peut empêcher les opérateurs de surveiller correctement les processus. De même, un accès difficile aux équipements de sécurité (comme les extincteurs ou les interrupteurs d'arrêt d'urgence) peut retarder les réponses en cas d'urgence.
- **Disposition de l'espace** : Une mauvaise disposition de l'espace de travail peut entraîner des collisions ou des chutes. Des passages encombrés ou mal éclairés augmentent le risque de trébuchements, de chutes et d'autres types d'accidents.

- **Conception des outils et équipements** : Des outils mal conçus peuvent nécessiter une force excessive ou des mouvements non naturels pour être utilisés, augmentant ainsi le risque de blessures. De plus, des machines sans protections adéquates ou avec des systèmes de sécurité mal placés peuvent causer des accidents graves.
- **Communication inadéquate** : Des signalisations mal conçues ou peu visibles peuvent conduire à une mauvaise communication des dangers. Par exemple, des étiquettes de sécurité mal placées ou des panneaux d'avertissement insuffisamment visibles peuvent ne pas être remarqués par les travailleurs, augmentant ainsi les risques.
- **Organisation des tâches** : Une mauvaise organisation des tâches, sans prise en compte des pauses nécessaires ou de la rotation des tâches, peut conduire à une surcharge de travail. Cela peut entraîner une baisse de la vigilance et une augmentation des erreurs, et peut créer un environnement propice aux accidents.
- **Non-adaptation aux différentes morphologies** : Les postes de travail non ajustables peuvent ne pas convenir à la diversité des tailles et des forces des travailleurs. Cela peut entraîner des postures inconfortables et des efforts excessifs, augmenter le risque de blessures et d'erreurs.

L'ergonomie, ou l'étude des conditions de travail pour les adapter aux capacités et limites humaines, est une dimension souvent négligée dans l'optimisation des systèmes techniques. Cette négligence peut entraîner des accidents dans l'industrie, allant de blessures mineures à des incidents graves voire mortels. Les problèmes d'ergonomie courants incluent la conception inadaptée des postes de travail, des équipements mal conçus, des interfaces utilisateurs complexes, et des environnements de travail peu adaptés aux besoins des travailleurs. Ces facteurs peuvent non seulement diminuer l'efficacité et la productivité, mais aussi augmenter significativement les risques d'accidents.

Parmi les problèmes les plus courants, on trouve :

**Conception inadaptée des postes de travail** : Une mauvaise disposition des équipements et des outils peut causer des postures inconfortables et des mouvements répétitifs, entraînant des blessures et des maladies professionnelles.

**Interface homme-machine complexe** : Des systèmes de contrôle difficiles à comprendre et à utiliser peuvent mener à des erreurs humaines.

**Environnements de travail stressants** : Un éclairage insuffisant, un bruit excessif et une température inappropriée augmentent le risque de fatigue et d'erreurs.

Pour une meilleure compréhension de la problématique, des détails seront donnés sur les facteurs et mécanismes conduisant les concepteurs et les ingénieurs à résister à l'implantation de critères ergonomiques dans les installations nouvellement conçues du côté de l'entrepreneur ainsi que les facteurs conduisant les ingénieurs des clients à ignorer l'ergonomie dans les nouveaux projets. Dans le cadre de notre enquête, les questions suivantes ont été posées en permanence :

- Les concepteurs sont-ils conscients de la signification de l'ergonomie et savent-ils comment la mettre en œuvre dans les conceptions futures ?
- Les concepteurs savent-ils comment proposer un design ergonomique ?
- Quelles sont les raisons qui poussent les concepteurs à mettre en œuvre une usine ergonomique ?
- Les ingénieurs du client sont-ils conscients de l'importance de l'ergonomie et de sa valeur ajoutée ?
- Et enfin, la conception ergonomique est-elle une préoccupation du client ou une préoccupation du concepteur ?

Afin de répondre à ces demandes, selon les circonstances, différentes personnes et organisations peuvent être impliquées dans la mise en œuvre de la conception ergonomique.

La conception inadéquate des machines et des équipements constitue un facteur critique influençant négativement le rendement des travailleurs dans les industries à processus. Une conception déficiente, qu'elle soit due à un manque de prise en compte des principes d'ergonomie, à des choix technologiques inadaptés ou à une absence de standardisation, peut créer une multitude de problèmes opérationnels et humains.

Tout d'abord, les machines mal conçues imposent souvent des contraintes physiques aux opérateurs. Une mauvaise ergonomie des postes de travail, comme des commandes mal positionnées, des interfaces complexes ou des outils nécessitant des efforts excessifs, oblige les travailleurs à adopter des postures inconfortables ou à exécuter des mouvements répétitifs non naturels. Ces contraintes augmentent considérablement le risque de troubles musculosquelettiques (TMS), tels que des douleurs au dos, aux épaules ou aux poignets, qui peuvent conduire à des absences prolongées et à une diminution globale de la productivité. En outre, une mauvaise conception peut également amplifier la fatigue mentale, particulièrement lorsque les travailleurs doivent continuellement compenser les défaillances ou les incohérences des équipements, comme des panneaux de contrôle peu lisibles, des systèmes d'alerte inefficaces ou des instructions difficiles à comprendre.

La complexité inutile des mécanismes ou des interfaces peut également entraîner des erreurs humaines, surtout lorsque la formation des opérateurs n'est pas adaptée pour pallier les lacunes de conception. Par exemple, une machine dotée de multiples boutons ou commandes similaires peut créer de la confusion, augmentant les risques d'erreurs opérationnelles qui affectent la qualité des produits finis ou provoquent des interruptions imprévues du processus de production. Les temps d'arrêt dus à des pannes fréquentes ou à des ajustements manuels nécessaires pour compenser des défauts de conception ont un impact direct sur les performances globales de l'installation, réduisant l'efficacité des chaînes de production.

Sur le plan psychologique, l'utilisation de machines mal conçues peut entraîner un stress important chez les travailleurs, en raison de la pression exercée pour maintenir la cadence de production malgré des outils inefficaces ou dangereux. Ce stress, combiné à une frustration croissante face à des tâches inutiles ou à des interruptions répétées, peut aboutir à un désengagement progressif des employés. Une main-d'œuvre démotivée est moins susceptible d'investir des efforts supplémentaires ou d'innover dans son travail, ce qui peut entraîner une baisse de la productivité et nuire à la culture organisationnelle globale.

Par ailleurs, les conséquences de la mauvaise conception des équipements ne se limitent pas aux performances des travailleurs, mais incluent également des risques accrus pour leur sécurité. Dans les industries à processus, où des machines complexes et des environnements dangereux coexistent, des défauts de conception peuvent provoquer des accidents graves. Par exemple, des systèmes de sécurité insuffisants, des commandes mal signalées ou des zones de travail mal éclairées peuvent exposer les travailleurs à des blessures dues à des glissades, des chutes ou des collisions avec des machines en mouvement. Ces accidents engendrent non seulement des souffrances humaines, mais également des coûts financiers importants pour l'entreprise, tels que des frais médicaux, des indemnisations, et des perturbations des activités de production.

Enfin, sur le plan économique, l'impact global de la mauvaise conception des machines et des installations se reflète dans des pertes de productivité, une augmentation des coûts d'entretien et une diminution de la qualité des produits finis. Une entreprise utilisant des équipements non optimisés doit souvent investir des ressources supplémentaires pour compenser ces déficiences, que ce soit par des formations intensives, des ajustements techniques ou une supervision accrue. Cela affecte sa compétitivité sur le marché, particulièrement dans un



contexte où les exigences en matière de qualité, de durabilité et de respect des délais sont de plus en plus élevées.

Une conception inadéquate des installations et des équipements affecte directement et indirectement le rendement des travailleurs dans les industries à processus. Elle constitue un obstacle majeur à l'optimisation des performances individuelles et collectives, tout en représentant une menace pour la sécurité, la qualité des produits et la rentabilité de l'entreprise. Ainsi, il est essentiel que les concepteurs, les fabricants et les gestionnaires industriels collaborent pour intégrer dès le départ des principes d'ergonomie, de fiabilité et de sécurité dans la conception des installations, afin de maximiser le potentiel humain et technique des systèmes industriels.

Étant donné que la santé des travailleurs joue un rôle important dans la détermination de la productivité du travail. Les événements liés à la sécurité et à la santé au travail sont particulièrement courants dans les pays en développement et en voie de développement. Les Objectifs de Développement Durable (**ODD**) consistant à protéger les droits des travailleurs, à promouvoir des lieux de travail sûrs et sécurisés, à minimiser la mortalité et les maladies dues à des matières dangereuses et à mettre en œuvre des institutions supplémentaires, efficaces et responsables, sont tous liés à la sécurité et à la santé au travail. Il est donc important de réduire les écarts en matière de santé et de sécurité au travail pour garantir une main-d'œuvre en bonne santé et une productivité plus élevée [01]. Les objectifs de développement durable sont universellement applicables et visent à équilibrer de nombreux aspects du développement durable, permettant ainsi aux pays en développement d'utiliser des stratégies appropriées pour relever les défis en matière de SST (Sécurité et Santé au Travail).

Il est incontestable que l'amélioration de la qualité de vie au travail (QVT) constitue un élément fondamental pour la performance d'une entreprise, ainsi que pour la préservation de la santé et de la sécurité des employés. La QVT représente un pilier essentiel du bien-être professionnel. Cette approche fondamentale doit être envisagée comme un processus évolutif et adaptable, prenant en considération les évolutions dans l'organisation du travail et des tâches. En effet, dans un contexte d'industrialisation croissante et de compétition effrénée, il est envisageable que les travailleurs se trouvent soumis à des pressions de production qui peuvent compromettre leur bien-être. Les maladies professionnelles, les accidents du travail et les risques psychosociaux illustrent bien les conséquences néfastes de conditions de travail défavorables sur la santé physique et mentale des employés [02].

L'OIT (Organisation Internationale du Travail) estime que 2,3 millions de travailleurs meurent chaque année de blessures ou de maladies liées au travail. 160 millions de personnes supplémentaires souffrent de maladies professionnelles non mortelles et 313 millions de blessures non mortelles. Les accidents du travail étaient le facteur de risque responsable du plus grand nombre d'AVAI (Année de Vie Ajustée sur l'Incapacité) perdues en 2016 dans le monde (26,44 millions ; 29,5 %), suivis par l'exposition à de longues heures de travail (23,26 millions ; 25,9 %) et les facteurs ergonomiques au travail. (12,27 millions ; 13,7 %). Le coût économique pour les sociétés et les économies est considérable [01]. L'OIT (Organisation internationale du travail) estime que plus de 4 pour cent du PIB (produit intérieur brut) annuel mondial est perdu à cause des accidents du travail et des maladies liées au travail [01].

Telles sont les raisons pour lesquelles un programme mondial « d'action préventive en matière de SST (Sécurité et Santé au Travail) » a été sélectionné par l'OIT (Organisation Internationale du Travail) comme l'une des priorités de l'organisation. L'Initiative Mondiale pour l'Action Préventive sur la sécurité et la santé au travail a été mise en place en 2016 et a pour but de créer et de mettre en place des actions durables et évolutives, basées sur les connaissances, la recherche et les meilleures pratiques actuelles. Sur la base d'une évaluation des conditions et des priorités du pays, le programme vise à créer les conditions pour améliorer la santé et la sécurité au travail avec l'engagement et la contribution de partenaires stratégiques.

Les projets chercheront à rendre les actions durables et évolutives. Il y a quelques-unes des mesures les plus importantes pour la santé et la sécurité des employés qui ont été prises dans ce programme :

- Cadres juridiques, réglementaires et judiciaires traitant de la SST (sécurité et santé au travail), y compris les lois fondamentales en matière de SST (Sécurité et Santé au Travail) appuyées par des réglementations techniques.
- La mise en œuvre et le respect de la SST (Sécurité et Santé au Travail) sur le lieu de travail, y compris les systèmes publics, privés et non gouvernementaux fonctionnant indépendamment.
- Services de santé au travail, y compris les services de santé publics et privés ;
- Programme d'assurance contre les accidents du travail pour soutenir la prévention des décès, des blessures et des maladies professionnelles.

Avant de commencer la conception de nouvelles installations, les concepteurs de l'entrepreneur doivent identifier tous les besoins et les objectifs auxquels la conception doit répondre. Si les besoins ne sont pas clairement spécifiés par les clients, les concepteurs

fourniront une conception avec des critères techniques et ergonomiques minimaux basés sur leur propre expérience individuelle et sur ce qu'ils connaissent des procédures et normes internes. Bien sûr, l'usine mal conçue techniquement et ergonomiquement va naître. Les sociétés d'ingénierie et les clients qui manquent de spécialistes des facteurs humains pour spécifier les exigences et surveiller leur mise en œuvre ne parviendront certainement pas à installer et à contrôler la mise en œuvre d'usines bien conçues.

Les normes, codes, directives internes et exigences des clients sont les indications d'une utilisation adéquate et d'un bon contrôle de la mise en œuvre de la conception ergonomique. Dans un premier temps, « un contrôle interne dans l'organisation des sociétés d'ingénierie devrait être effectué » [03]. Le contrôle est le moyen par lequel une conception ergonomique est mise en œuvre. Dans une telle situation, le contrôle doit être effectué à toutes les étapes de la conception, car à mesure que les premières révisions seront effectuées, autant de corrections seront possibles, faciles et peu coûteuses. Selon **Hancock P. A et al.**, « plus la correction est effectuée tôt, moins elle coûtera cher ». Un deuxième niveau de contrôle serait effectué par l'organisation cliente. Ce dernier doit, au minimum, s'assurer de la mise en œuvre de ce qui a déjà été précisé en termes de critères ergonomiques dans le cahier des charges [04].

À cela s'ajoute l'ignorance des concepteurs et des clients sur la signification de l'ergonomie, la valeur ajoutée de sa mise en œuvre et la manière de l'intégrer dans la conception de nouvelles installations, aggrave la situation.

L'objectif de la conception ergonomique est de développer des outils, des systèmes ou des lieux de travail qui optimisent la façon dont les personnes interagissent avec leur environnement, améliorant ainsi l'efficacité, le confort et la sécurité. Les acteurs importants qui pourraient s'impliquer dans la mise en pratique de la conception ergonomique sont :

- **Concepteurs industriels** : les designers industriels sont souvent responsables de la création de l'apparence physique et de la fonctionnalité des produits, en veillant à ce qu'ils soient conviviaux et confortables.
- **Ingénieurs** : les ingénieurs, y compris les ingénieurs mécaniques, électriques et logiciels, jouent un rôle important dans le développement des aspects techniques des produits ou des systèmes avec des considérations ergonomiques.
- **Ergonomes** : les ergonomes sont des spécialistes dans le domaine de l'ergonomie et des facteurs humains. Ils peuvent fournir une expertise dans l'évaluation et la mise en œuvre des principes de conception ergonomique.

- **Ressources humaines :** les services des ressources humaines peuvent superviser la formation et l'éducation des employés sur les pratiques et directives ergonomiques appropriées.
- **Professionnels de la santé et de la sécurité au travail :** ces professionnels aident à identifier et à atténuer les dangers sur le lieu de travail, y compris les problèmes ergonomiques pouvant entraîner des blessures ou maladie professionnelle.
- **Architectes et décorateurs d'intérieur :** dans le contexte de la conception de bâtiments et d'espaces de bureaux, les architectes et décorateurs d'intérieur peuvent intégrer des principes ergonomiques dans l'aménagement et la sélection du mobilier.
- **Fabricants :** les fabricants sont responsables de fabriquer des produits qui respectent les principes de conception ergonomique, en veillant à ce qu'ils répondent aux normes de sécurité et d'utilisation.
- **Travailleurs et utilisateurs :** la contribution et les commentaires des utilisateurs finaux ou des employés sont importants dans la mise en œuvre de la conception ergonomique. Ils peuvent fournir des informations précieuses sur leurs besoins et préférences spécifiques.
- **Agences de réglementation :** les agences gouvernementales ou les organismes spécifiques à l'industrie peuvent établir des réglementations et des normes liées à la conception ergonomique dans certains secteurs (par exemple, l'OSHA aux États-Unis).
- **Gestion et leadership :** Le leadership organisationnel et la gestion jouent un rôle dans la création d'une culture qui donne la priorité à la conception ergonomique et fournit les ressources nécessaires à sa mise en œuvre.

La collaboration entre ces parties prenantes est souvent nécessaire pour créer des solutions ergonomiques efficaces. Les individus ou groupes spécifiques impliqués dépendront de la portée du projet et de l'industrie ou du contexte dans lequel la conception ergonomique est appliquée. A travers cette recherche, nous mettrons l'accent sur le rôle des concepteurs et des clients dans la mise en œuvre d'une conception ergonomique. Dans ce manuscrit, facteurs humains et ergonomie sont synonymes et les termes sont utilisés de manière interchangeable, de la même manière que les termes société d'ingénierie et entrepreneur sont synonymes et sont utilisés de manière interchangeable.

Aujourd'hui, les entreprises doivent produire des objets vendables et adapter leurs services aux besoins changeants des utilisateurs. Leur survie économique dépend de la flexibilité de leur outil de production. Le renforcement de la compétitivité nécessite la capacité de s'adapter aux changements quantitatifs et qualitatifs du marché.

Pour atteindre cet objectif, ces entreprises envisagent souvent de recourir à l'automatisation pour prendre en charge diverses opérations des processus industriels. Cela oblige les concepteurs à développer des solutions qui incluent plusieurs disciplines, notamment les procédés, l'automatisation, l'informatique, la mécanique, l'électronique et l'électricité. L'utilisation de ces technologies modifie de nombreux outils, machines, méthodes, objets du quotidien et entreprises, tant dans le secteur manufacturier que dans celui des services [05].

Nous avons d'abord pensé pendant longtemps que le rôle de l'opérateur deviendrait de moins en moins important à mesure que ses fonctions seraient progressivement remplacées par des systèmes automatisés et informatisés en raison de l'impact de ces évolutions technologiques sur le lieu de travail. Aujourd'hui, cette tendance s'affaiblit progressivement. Les faits montrent que, d'un côté, les hommes restent essentiels, au moins pour contrôler le processus, et que, de l'autre côté, leur nombre diminue mais leur rôle et leurs résultats deviennent plus critiques. Des décisions et actions plus importantes ont un impact sur l'efficacité de l'ensemble du système [06]. En effet, les changements de situation de travail qui surviennent dans un nouvel emploi peuvent entraîner des changements importants dans les tâches. L'homme observe, impuissant, les changements dans sa position et ses conditions de travail, ce qui réduit son contact direct avec le système et augmente sa charge de travail de surveillance et de contrôle, ce qui nécessite un effort mental continu.

En effet, la présence d'opérateurs humains est essentielle à leur capacité à anticiper les événements et à modifier leurs méthodes de travail afin de se remettre d'incidents survenus à la suite de pannes techniques, d'erreurs humaines d'autres opérateurs ou d'événements environnementaux inattendus.

Dans de telles situations, les tâches ne peuvent plus être formulées sous forme de méthodes de travail, mais doivent être considérées comme ouvertes, car elles permettent et nécessitent des initiatives, des décisions et des prises de décision en matière de dialogue et de communication. Dès lors, la notion de tâche n'ordonne plus l'activité humaine, mais tend à être remplacée par la notion d'événement dans lequel elle se produit. Les opérateurs jouent un rôle important en tant que personnel de fiabilité et doivent être correctement qualifiés et formés pour pouvoir faire face à des situations inattendues.

La complexité de l'automatisation utilisée par les fabricants pour rester compétitifs fait que, même si les systèmes sont très coûteux, ils se caractérisent également par le degré de risque impliqué. Par exemple, il est désormais clair que les pannes des raffineries, des avions et des centrales nucléaires ont des effets dévastateurs sur l'ensemble du système homme-machine et sur l'environnement.

Le développement de la recherche dans ces domaines s'est concentré sur ce qui était techniquement réalisable, mais la position et le rôle de l'homme ont été sous-estimés. Depuis un certain temps déjà, il a été constaté une augmentation des recherches considérant l'intervention humaine dans le fonctionnement et la sécurité globale du système afin d'améliorer l'efficacité et la fiabilité globales du système. En effet, depuis de nombreuses années l'approche dite anglo-saxonne (facteurs humains) ou approche de l'ergonomie et de la fiabilité humaine souligne l'importance de ces facteurs pour caractériser le fonctionnement des systèmes techniques liés aux systèmes de transport (aviation, espace), les systèmes de production industrielle ou de services [07]. Les considérations concernant l'intégration de la prévention dès le début représentent un intérêt de recherche constant.

- 1) Comment pouvons-nous augmenter l'efficacité globale de nos systèmes de travail tout en réduisant les risques et les coûts à la source ?
- 2) Est-il possible de prédire la fonctionnalité des futurs systèmes de travail ?
- 3) Où puis-je faire des prédictions ?
- 4) Pouvons-nous aider les concepteurs à répondre aux exigences réglementaires en fournissant un retour d'information et en structurant les connaissances sur les capacités opérationnelles des systèmes de travail ?

La conception des installations pétrolières et gazières représente un défi complexe qui englobe de nombreux aspects techniques, économiques et environnementaux. Cependant, un domaine souvent négligé mais très critique est l'ergonomie. L'ergonomie, en tant que science de l'adaptation des conditions de travail aux capacités et aux limites humaines, joue un rôle essentiel dans l'amélioration de la sécurité, de l'efficacité et du bien-être des travailleurs sur les sites pétroliers et gaziers.

Les installations pétrolières et gazières, qu'elles soient **onshore** ou **offshore**, sont des environnements de travail extrêmement exigeants. Les travailleurs y sont souvent confrontés à des conditions difficiles, telles que des températures extrêmes (climat chaud et froid), des espaces confinés et des équipements volumineux et lourds. Ces facteurs peuvent non seulement affecter la santé et la sécurité des travailleurs, mais aussi impacter la productivité, la sécurité et la performance globale de l'installation. C'est ici que l'intégration de l'ergonomie devient une nécessité.

L'ergonomie dans la conception des installations pétrolières et gazières ne se limite pas à l'aménagement des postes de travail. Elle englobe également la conception des outils, des équipements, des systèmes de contrôle et des procédures de travail, afin de minimiser les risques de blessures, de réduire la fatigue, et d'améliorer la facilité d'utilisation et l'efficacité

opérationnelle. Par exemple, une conception ergonomique peut impliquer l'optimisation de la disposition des panneaux de contrôle pour réduire les erreurs humaines, l'amélioration de l'accès aux équipements pour faciliter la maintenance, ou encore l'adoption de technologies permettant de réduire l'effort physique requis pour certaines tâches.

De plus, la prise en compte de l'ergonomie est de plus en plus reconnue comme un facteur clé de succès dans le secteur pétrolier et gazier. Elle contribue non seulement à la protection des travailleurs, mais aussi à la durabilité et à la rentabilité des opérations. Les entreprises qui investissent dans l'intégration des critères ergonomiques robustes peuvent bénéficier d'une réduction des coûts liés aux accidents du travail, d'une diminution de l'absentéisme, d'une réduction des maladies professionnelles et d'une augmentation de la satisfaction et de la motivation des employés.

La conception ergonomique est essentielle pour les installations pétrolières et gazières pour intégrer les critères de santé, de sécurité et de bien-être de la main-d'œuvre, ainsi que d'améliorer les performances et la fiabilité du système [08].

Ces installations nécessitent un environnement de collaboration qui supporte la prise de décisions tout en assurant le bien-être des travailleurs. L'intégration de facteurs ergonomiques, peut améliorer considérablement l'efficacité et la sécurité de ces installations [09]. L'ergonomie se concentre sur la création d'un environnement de travail productif et sûr en examinant, en concevant, en testant et en évaluant l'interaction entre les travailleurs et leur milieu de travail [11]. L'application de ce concept peut également améliorer les processus technologiques dans les installations pétrolières et gazières, ce qui entraîne une augmentation de la production des travailleurs et une réduction du temps de traitement [12]. Dans le contexte des opérations pétrolières et gazières, les variables ergonomiques associées aux activités de forage et d'exploitation quotidiennes ont été identifiées comme des facteurs de risque potentiels, soulignant ainsi la nécessité d'une conception ergonomique dans ces activités [13].

La conception des installations pétrolières et gazières tout en intégrant les principes d'ergonomie a toujours été considérée comme la responsabilité du concepteur. Cette idée est ancrée dans la mesure où le concepteur est le dernier à proposer le schéma de ce à quoi ressemblera le produit dans le futur, bien sûr après avoir intégré les solutions aux problèmes techniques, environnementaux, sécuritaire et d'ergonomie. Même si cette affirmation semble vraie, la raison la plus importante qui pousse les concepteurs à produire des installations mal conçues est l'organisation interne de la société d'ingénierie. De nombreux autres facteurs influencent l'intégration de critères ergonomiques dans la conception finale. **Skepper et al.,**

**Wulff et al.**, ont précisé quelques raisons poussant les concepteurs à ignorer l'ergonomie dans la conception, notamment les contraintes de temps et de coût [14] [03] [15]. Ils soulignent également que les concepteurs sans expérience opérationnelle et sans objectif organisationnel dans la mise en œuvre de l'ergonomie conduisent également à des installations mal conçues ergonomiquement. Selon **Wulff al.**, « les principales raisons de la résistance à la mise en œuvre de l'ergonomie semblent être un manque de familiarité avec la discipline ainsi qu'une charge de travail totale élevée. Ils expliquent que le grand nombre de spécifications techniques, de normes ergonomiques et techniques, et de codes à suivre et à exécuter par les concepteurs, avec les exigences supplémentaires du client, entreront en conflit avec la capacité cognitive des êtres humains » [15]. **Wulff et al.**, ont expliqué l'utilisation de recommandations, de formulations générales et de formulations spécifiques dans l'organisation interne de l'entreprise d'ingénierie. Ils expliquent que les concepteurs préfèrent utiliser des spécifications claires pour éviter toute interprétation et des efforts et du temps supplémentaire pour mettre en œuvre des solutions ergonomiques [15]. **Boff, Wulff et al.**, ont indiqué que les concepteurs ont tendance à ignorer les exigences techniques qui ne sont pas claires ou compliquées à installer, et lorsqu'elles seront appliquées, leur mise en œuvre dépendra de la compréhension du concepteur [15] [16]. **Wulff et al.**, indiquent que dans une situation de faible reconnaissance et connaissance des facteurs humains par les concepteurs, on a constaté que cela ne donne pas toujours un résultat satisfaisant [03]. **Pennings R., et al.**, indiquent que la plupart des concepteurs ne possèdent pas une expérience adéquate en exploitation, ce qui les empêche de répondre aux préoccupations réelles des opérateurs des clients [17]. **Wulff et al.**, affirment que les concepteurs des sociétés d'ingénierie n'ont pas d'expérience opérationnelle et ne sont pas en mesure d'accéder aux données opérationnelles [15]. Dans de tels cas, l'intégration des critères ergonomiques dans la conception des nouvelles installations sera très faible. **Wulff et al al.**, indiquent que la documentation existe mais que tous les concepteurs n'en sont pas conscients de son existence [03] [15]. Selon **Wulff et al.**, il s'est avéré que les concepteurs considéraient que les documents sur les facteurs humains devaient être utilisés uniquement par des spécialistes des facteurs humains et ergonomes [03].

Le concept d'ergonomie, également connu sous le nom d'ingénierie des facteurs humains, a continué d'évoluer et de se développer à l'heure actuelle pour répondre aux besoins changeants du monde moderne. Voici quelques développements et tendances clés dans le domaine de l'ergonomie ces dernières années [18], [19], [20], [21].

Parmi ces évolutions, nous citerons :



**L'ergonomie numérique et technologique :** avec l'utilisation croissante des ordinateurs, des machines industrielles avec des écrans tactiles, smartphones et autres appareils numériques, l'attention se porte de plus en plus sur l'ergonomie numérique. Cela inclut la conception d'interfaces et de dispositifs visant à réduire la pression physique et cognitive des utilisateurs. Cela implique des considérations telles que le placement de l'écran, la conception du clavier et le développement de logiciels dotés d'interfaces conviviales.

**Ergonomie des soins de santé :** Dans le secteur de la santé, l'ergonomie est primordiale pour garantir le bien-être des professionnels de santé et la sécurité des patients. Concevoir des environnements sanitaires, des équipements et des outils de soins de santé pour minimiser la tension physique, prévenir les erreurs médicales et améliorer les soins aux patients est un aspect important de l'ergonomie contemporaine.

**Population vieillissante :** La population vieillissante présente des défis ergonomiques uniques. Concevoir des produits et des environnements adaptés aux besoins et aux limites des personnes âgées est un objectif important de l'ergonomie moderne. Cela inclut des considérations relatives à la mobilité, à la vision et aux capacités cognitives.

**Interaction homme-machine :** Avec l'utilisation croissante de l'automatisation, de la robotique et de l'intelligence artificielle, l'interaction entre les humains et les machines est un domaine clé de préoccupation ergonomique. Veiller à ce que les machines soient conçues pour être intuitives et conviviales est essentiel pour éviter les erreurs et les accidents.

**Ergonomie du travail à distance :** La pandémie de COVID-19 a accéléré le passage au travail à distance. Les experts en ergonomie se sont efforcés d'aider les individus à créer des configurations ergonomiques de bureau à domicile, en tenant compte au moins des aspects généraux tels que la hauteur du moniteur, l'ergonomie de la chaise et l'éclairage.

**Ergonomie mentale :** L'ergonomie ne se limite pas aux facteurs physiques ; cela englobe également le bien-être mental. On s'intéresse de plus en plus à la conception d'environnements et de processus de travail qui réduisent le stress, améliorent la concentration et améliorent la santé mentale globale.

**Conception inclusive :** l'ergonomie se préoccupe de plus en plus de l'inclusivité et de l'accessibilité. Concevoir des produits et des environnements pouvant être utilisés par des personnes ayant diverses capacités est un aspect central de l'ergonomie moderne.

**Approches basées sur les données :** l'ergonomie bénéficie des progrès de l'analyse des données. Les chercheurs et les praticiens peuvent collecter et analyser des données pour prendre des décisions plus éclairées concernant la conception des produits et de l'environnement pour la santé des employés et de leurs sécurités.

**Collaboration interdisciplinaire :** L'ergonomie est souvent abordée dans le cadre d'une collaboration interdisciplinaire, impliquant des professionnels de différents domaines tels que l'ingénierie, la psychologie, la médecine et le design. Cette approche holistique permet de solutionner efficacement des défis ergonomiques complexes.

Le travail de conception classique est toujours considéré comme une activité unique devant satisfaire au préalable aux exigences techniques du cahier des charges. Les normes HSE et les spécifications ergonomiques sont toujours traitées comme des activités distinctes d'un véritable travail de conception primaire [22]. Dans le meilleur des cas, lorsque les concepteurs sont conscients des préoccupations ergonomiques ou tentent de répondre aux normes et aux exigences d'un client, ils tentent de mettre en œuvre une solution après avoir terminé la conception technique et proposent la solution la moins chère et la plus simple. La mise en œuvre de l'ergonomie sera une activité hétérogène avec les activités de conception globales dans cette approche, ce qui peut entraîner un environnement de travail dangereux et augmenter le risque d'accident dans les installations récemment conçues.

Les enquêtes sur les accidents graves du travail mettent en évidence l'erreur et la défaillance humaine comme principale cause générique d'accidents (entre 30 % et 100 % des accidents industriels peuvent être attribués, au moins en partie, à des causes humaines) [23].

Les échecs humains peuvent survenir :

- Lors de l'exécution d'une activité en fonctionnement normal (oubli d'une étape d'une procédure, non-reconnaissance d'une alarme importante en cas d'urgence, etc.) ;
- Lors de la réalisation d'une activité de maintenance (maintien en mauvaise position sur un équipement sous tension, non remise en état de marche d'une station après maintenance, etc.) ;
- Lorsque les parties concernées ne parviennent pas à mettre en place des mesures pour prévenir la survenance d'un événement indésirable (ignorance, prise de décision erronée, sur- ou sous-estimation des risques, etc.).

En gardant à l'esprit que toutes les caractéristiques ergonomiques et HSE doivent être prises en compte lors de l'examen des études de sécurité telles que H-HAZOP (risque humain et opérabilité) et PHA (évaluation préliminaire des risques). Les concepteurs tentent d'abord de satisfaire aux exigences techniques sans rechercher des considérations d'ergonomie et de sécurité [24]. La méthodologie d'intégration des méthodes d'analyse des risques dans les concepts ergonomiques consiste à analyser une ou plusieurs activités dans un groupe de travail, H-HAZOP, en se posant des questions sur les dérives et comportements humains qui pourraient perturber le bon déroulement des tâches critiques de l'activité en question, leurs

conséquences possibles et les moyens à mettre en place (principe ALARP : As Low As Reasonably Practicable), pour les éliminer ou les réduire [24]. La criticité de la mission est proportionnelle à l'interaction humaine avec les éléments de la situation de travail, qui constitue une source potentielle de risque en cas d'erreur humaine ; H-HAZOP utilise les mêmes mots-clés que HAZOP et les applique à l'analyse des tâches humaines pour trouver d'éventuels écarts par rapport aux procédures prédéfinies. En gardant à l'esprit que toutes les caractéristiques ergonomiques et HSE doivent être prises en compte lors de l'examen des études de sécurité telles que HAZOP (Étude des Risques et de l'Opérabilité) et PHA (Preliminary Hazard Assessment), les concepteurs tentent d'abord de satisfaire aux exigences techniques sans rechercher des considérations d'ergonomie et de sécurité à ce stade. Afin d'améliorer le niveau de sécurité de la conception initiale, les concepteurs appliquent des solutions comme couche de protection afin de répondre aux codes, normes et exigences du client, le cas échéant. **Fadier et al.**, indiquent qu'une fois le système conceptualisé, le concepteur tente d'insérer les systèmes nécessaires pour garantir qu'un niveau de sécurité adéquat soit atteint. Si le risque persiste, il est possible d'aller plus loin en utilisant d'autres approches. Par exemple, il peut y avoir des pratiques ou des procédures spéciales pour réduire le risque résiduel, [25] mais il convient de souligner qu'une bonne stratégie de conception ne laisserait jamais la sécurité du système dépendre des qualifications des opérateurs. Il sera donc préférable de remédier à la situation par une réponse automatique permanente et efficace et de faire de la qualification des opérateurs l'un des derniers moyens de prévention des accidents car l'histoire a montré que l'homme est l'élément le plus vulnérable du système homme-machine. Pour ce qui concerne l'automatisation des systèmes du travail, l'analyse des situations industrielles met en lumière plusieurs problématiques et paradoxes liés à la conception et à l'exploitation des systèmes industriels, en particulier dans le contexte de l'automatisation et de l'interaction homme-système. Une analyse sommaire de la littérature [25], [26] liée aux activités de conception a permis de souligner les points clés suivants :

- Paradoxes de l'automatisation : L'adoption accrue de la technologie pour automatiser les systèmes industriels soulève des paradoxes, augmentant l'importance du rôle humain dans la gestion de ces systèmes.
- Difficultés des opérateurs humains : Les opérateurs rencontrent des difficultés particulières lors des interactions nécessaires avec le système (réglages, démarrages, arrêts, maintenance) et dans des conditions de travail contraignantes.

- Manque de prise en compte de la variabilité : La conception ne prend pas toujours en compte la variabilité des situations de travail, ce qui mène à des difficultés à prévoir le comportement réel des systèmes et à évaluer les risques.
- Absence de critères d'ergonomie et base de données : Il existe un manque de critères ergonomiques et de bases de données sur la santé et la sécurité en ce qui concerne le rôle de l'homme dans les systèmes.
- Migration naturelle des systèmes sociotechniques : Les systèmes sociotechniques tendent naturellement vers des limites de performance et de sécurité, et les accidents surviennent lorsque ces limites sont dépassées.
- Activités limites tolérées par l'usage : Les opérateurs effectuent des activités spécifiques pour résoudre des problèmes techniques, ce qui peut augmenter la fragilité du système sociotechnique.
- Processus de conception évolutif : La conception ne se limite pas à la création, mais inclut également l'implantation et l'exploitation, avec des adaptations continues même après la commercialisation du produit.
- Limites des modèles de conception : Les études ergonomiques révèlent les limites des modèles de conception prescrits, et toute variation est souvent vue comme une erreur, même si elle peut être nécessaire.
- Manque d'utilisation du retour d'expérience : Le retour d'expérience n'est pas fréquemment utilisé pour améliorer la conception ou prendre en compte les besoins des utilisateurs finaux.

Ces points soulignent l'importance d'une approche holistique et adaptative dans la conception des systèmes industriels, en tenant compte de l'interaction humaine et de l'évolution des besoins au fil du temps. Pour une meilleure intégration de l'ergonomie, Il est nécessaire de prendre en compte l'aspect de retours d'expérience, et d'une flexibilité dans les modèles de conception pour répondre aux réalités complexes et dynamiques des environnements industriels.

### II. Chapitre II : La conception et l'ergonomie

#### II.1. Introduction

L'histoire de la conception et de l'ergonomie est un parcours étroitement lié, car l'objectif commun de ces deux disciplines est de créer des objets, des espaces, et des systèmes qui répondent aux besoins humains tout en améliorant l'expérience et le bien-être de leurs utilisateurs. Depuis les débuts de la création, la conception et l'ergonomie ont évolué parallèlement, cherchant à harmoniser esthétique, fonctionnalité et adaptation aux capacités humaines. Cette quête d'optimisation de l'interaction entre l'humain et son environnement a donné naissance à des principes fondamentaux de design qui sont encore utilisés aujourd'hui dans des domaines aussi variés que l'architecture, le design industriel, les interfaces numériques, et même l'ingénierie. Dans l'Antiquité, l'ergonomie restait rudimentaire mais présente dans certaines constructions, où les dimensions des bâtiments et des objets étaient adaptées aux usages pratiques et aux rituels de l'époque. Avec la Renaissance et les progrès en mathématiques et en anatomie, la proportion humaine s'impose comme un standard de conception, visant à instaurer une harmonie entre l'homme et l'objet.

Le concept moderne d'ergonomie émerge véritablement au XXe siècle, en réponse aux changements profonds induits par la révolution industrielle. La production en série pousse les concepteurs à réétudier les objets de manière à réduire la fatigue et augmenter l'efficacité des utilisateurs, notamment dans les usines. C'est dans ce contexte que naissent les premières études d'ergonomie scientifique, en lien avec la psychologie et la physiologie humaines, afin d'améliorer le confort et la sécurité au travail. Avec l'essor des technologies et l'informatique au milieu du XXe siècle, l'ergonomie devient une discipline essentielle dans la conception de produits complexes, des cockpits d'avion aux premières interfaces informatiques. Les concepts d'ergonomie cognitive apparaissent pour comprendre et améliorer les interactions entre l'homme et les systèmes techniques, et plus récemment, le design centré sur l'utilisateur et l'expérience utilisateur devient une approche centrale dans les projets de conception numérique. Aujourd'hui, l'ergonomie et la conception sont indissociables dans de nombreux domaines. Ensemble, elles permettent de créer des solutions qui répondent aux besoins de confort, d'efficacité et de satisfaction des utilisateurs, tout en s'adaptant aux évolutions technologiques et aux nouveaux défis comme le développement durable et l'inclusivité. [27].

### II.2. Définition de la conception

La conception est une activité mentale visant à comprendre ou à créer quelque chose. Il s'agit d'acquérir une compréhension d'un objet et de l'appréhender par la pensée : créer dans son esprit, d'imaginer et d'inventer. C'est également une notion qui oriente la création d'un travail et garantit sa cohérence. Ce que l'esprit crée et produit est appelé conception.

Plusieurs définitions de la conception sont données par plusieurs auteurs ; Yacine BENABID a proposé la définition suivante « La conception est un processus qui permet de transformer des besoins en la description d'un produit en s'appuyant sur des métiers essentiels » [28]. Le concepteur doit élargir la portée de ses processus cognitifs afin de prendre en compte et d'intégrer divers facteurs tels que la santé, la sécurité et l'ergonomie de manière efficace et efficiente au cours du processus de conception afin de garantir des résultats optimaux. Dans le processus de conception, les clients-utilisateurs sont appelés à spécifier les fonctions qui vont répondre aux besoins avec les ressources nécessaires requises. Le client ou l'entreprise peuvent exprimer leurs besoins via les cahiers des charges [28]. **Herbert A, al.**, définit la conception comme étant le processus de formation d'un objectif explicite, d'une spécification d'un objet, d'un système ou d'un processus, et du plan pour le réaliser, ceci pouvant impliquer des considérations techniques, esthétiques et fonctionnelles, et des contraintes de coût, de sécurité, de praticité, de marché, de régulation et d'utilisation [29].

**Maurel et al.**, a donné la définition suivante de la conception : "La conception est un processus intellectuel qui consiste à élaborer, à travers une succession d'opérations mentales, un projet répondant à un ensemble de contraintes, de conditions, de souhaits ou de besoins donnés, en vue de sa réalisation ultérieure " [30].

**Nam P. Suh, et al.**, a proposé la définition suivante de la conception : "La conception est le processus de création de nouvelles solutions pour les problèmes de conception, dans le but de créer des produits, systèmes ou processus qui satisfont les besoins humains de manière globale et efficace" [31], cette définition met l'accent sur la création de solutions innovantes pour répondre aux besoins humains tout en soulignant l'importance de l'efficacité globale dans le processus de conception.

#### II.2.1. Le processus de conception

Le processus de conception technique est une approche systématique et itérative utilisée par les ingénieurs pour développer des solutions aux problèmes. Cela implique généralement les étapes suivantes :

- Identifiez le problème ou le besoin : définir clairement le problème ou le besoin que la conception vise à résoudre. Cette étape implique de comprendre les exigences, les contraintes et les objectifs du projet.
- Rechercher et recueillir des informations : Mener des recherches pour recueillir des informations pertinentes, y compris les solutions, les matériaux et les technologies existants. Cette phase aide les ingénieurs à prendre des décisions éclairées pendant le processus de conception.
- Brainstorming et conceptualisation : Générez une variété de solutions potentielles grâce au brainstorming et à la pensée créative. Les ingénieurs explorent différents concepts et idées qui pourraient répondre aux exigences du projet.
- Conception préliminaire : développer des croquis, des diagrammes ou des prototypes initiaux basés sur des concepts sélectionnés. Cette étape permet aux ingénieurs de visualiser et de communiquer leurs idées.
- Analyse et évaluation : évaluez la faisabilité, les performances et les risques potentiels de chaque concept de conception. Cette analyse aide à sélectionner la solution la plus prometteuse.
- Affinement : sur la base de l'évaluation, affinez la conception choisie. Cela peut impliquer de procéder à des ajustements pour améliorer la fonctionnalité, la rentabilité ou d'autres critères clés.
- Conception détaillée : Élaborer des plans détaillés, des spécifications et de la documentation pour la conception choisie. Cette phase comprend des mesures précises, des calculs et des spécifications nécessaires à la mise en œuvre.
- Prototypage et tests : créez un prototype ou un modèle de la conception pour les tests et la validation. Les ingénieurs évaluent les performances du prototype, identifient les problèmes et apportent les améliorations nécessaires.
- Conception finale : intégrez les commentaires des tests et apportez les derniers ajustements à la conception. Créez la conception détaillée finale prête à être mise en œuvre.
- Mise en œuvre : donnez vie à la conception finale en fabriquant ou en construisant le produit, le système ou la structure. Cette phase consiste à suivre les plans et devis détaillés élaborés au cours du processus de conception.
- Tests et vérification : effectuez des tests approfondis pour garantir que la conception répond à toutes les exigences et fonctions comme prévu. Vérifiez que la solution mise en œuvre correspond aux objectifs de conception initiaux.

- Documentation et communication : créez une documentation complète comprenant des dessins, des spécifications et des instructions pour la maintenance ou le développement ultérieur.

Le processus de conception technique est souvent itératif, ce qui signifie que les commentaires issus des tests et de la mise en œuvre peuvent conduire à des révisions et à des améliorations de la conception. Cette nature itérative permet une amélioration et une optimisation continues.

### II.2.2. La conception routinière

Conception prédéfinie" peut être interprété de différentes manières selon le contexte. Généralement, cela fait référence à une approche de conception qui utilise des modèles, des éléments ou des paramètres prédéfinis pour créer quelque chose de manière rapide et efficace. Il peut être appliqué à divers domaines, notamment la conception graphique, l'architecture et le développement de logiciels. Dans le processus de conception routinière, le savoir et les connaissances à utiliser sont clairement définies et le plan d'action pour le processus de conception est bien connu [32].

### II.2.3. La conception innovante

La conception innovante est la création de produits, de services ou de solutions innovantes caractérisées par l'originalité, la créativité et la capacité de répondre à un besoin ou à un problème de manière unique. Cela nécessite souvent une approche différente, explorant de nouvelles idées et intégrant des technologies et des concepts innovants pour fournir des solutions plus efficaces ou plus disruptives. Selon Brown et al., bien que la définition du problème et l'expression des besoins aient été définies, un plan d'action doit être déterminé lors du processus de conception [32]. Dans cette démarche, le concepteur doit mobiliser toutes les ressources nécessaires à la réussite du nouveau produit à travers le projet de développement et répondre aux besoins exprimés par le client dans le cahier des charges. Selon **Pärttö, et al.**, le design représente une étape parmi toutes les étapes du processus d'innovation pour compléter le tableau d'ensemble de l'innovation [33].

### II.2.4. La conception créative

La créativité est la capacité de générer des idées, des concepts, des œuvres ou des solutions originales, innovantes et souvent inattendues. Cela implique généralement de combiner des éléments existants de manière nouvelle ou de résoudre des problèmes de manière créative. La



créativité peut s'exprimer dans divers domaines tels que l'art, la science, les affaires et la vie quotidienne. Elle joue un rôle important dans le développement de nouvelles perspectives et la résolution de défis complexes.

Le design créatif est le processus de génération, d'exploration et de développement d'idées originales et innovantes pour résoudre un problème ou créer quelque chose de nouveau. Cela implique souvent de combiner des éléments existants de manière innovante pour créer des solutions uniques et est souvent appliqué dans des domaines tels que la conception graphique, l'architecture, la publicité et d'autres domaines artistiques et techniques. Il existe deux stratégies pour réaliser des conceptions créatives. La première est d'inciter les designers à réfléchir à la découverte de nouvelles fonctionnalités et à les intégrer dans leurs produits. Deuxièmement, cela accélère l'adoption de nouvelles solutions. Les deux stratégies exigent que les concepteurs envisagent des activités interdisciplinaires [34].

### II.2.5. La conception robuste

La conception robuste fait généralement référence à la création d'un système ou d'un produit capable de résister à diverses conditions et pannes potentielles, garantissant ainsi une fiabilité et une durabilité accrues. Cela nécessite souvent l'utilisation de technologies et de matériaux robustes dans le processus de conception. Ce type de conception offre une couverture maximale des probabilités de comportement du système compte tenu des variations d'utilisation future.

La conception robuste trouve ses racines dans l'ingénierie et a été popularisée par le statisticien et ingénieur qualité **Genichi Taguchi**, son travail a influencé la manière dont les ingénieurs abordent la conception des produits afin de minimiser la sensibilité aux variations et d'améliorer la qualité [35].

## II.3. Définition et évolution de l'ergonomie

### II.3.1. Introduction

Au sens le plus général, l'ergonomie est une science de l'homme au travail. Depuis le début de la révolution industrielle, un grand nombre de disciplines ont vu le jour, sous la pression des nécessités engendrés par la croissance de l'économie industrielle. Mais durant le 19<sup>ème</sup> siècle, l'homme a été oublié, et les premières améliorations du sort des ouvriers ont été concédées sous la pression de la lutte revendicative de la classe ouvrière. Ce n'est qu'au début du 20<sup>ème</sup> siècle que des études scientifiques sur l'homme au travail ont trouvé leurs premiers

fondements par l'étude médicale et physiologique des répercussions des différentes activités professionnelles sur l'organisme humain.

L'ergonomie se présente aujourd'hui comme un champ fortement structuré, à l'interface des sciences de l'homme et de l'ingénierie, et qui a investi de nombreux secteurs économiques.

### II.3.2. Définition de l'ergonomie

Elle a été conçue pour la première fois par un scientifique polonais, **Wojciech Jastrzębowski, al.**, dans sa publication de 1857 intitulée ‘‘Caractéristique de l'ergonomie, ou science du travail, basée sur les vérités tirées de la science de la nature’’ (The Outline of Ergonomics, or the Science of Work Based on the Truths Taken from the Natural Science) [36].

L'ergonomie (ou l'étude des facteurs humains) est la discipline scientifique qui vise la compréhension fondamentale des interactions entre les êtres humains et les autres composantes d'un système, et la mise en œuvre dans la conception de théories, de principes, de méthodes et de données pertinentes afin d'améliorer le bien-être des hommes et l'efficacité globale des systèmes. L'ergonomie c'est aussi l'observation de l'activité des hommes au travail, puis l'analyse de cette activité pour aboutir à des propositions de modifications de la situation de travail, visant à réduire les conséquences négatives de cette activité sur la santé, la sécurité et sur l'efficacité. L'ergonomie prend en compte l'activité physique et mentale, mais aussi les environnements physique et social.

L'ergonomie est une discipline qui étudie tous les aspects de l'activité humaine à l'aide d'une approche systémique. Son nom remonte aux mots grecs "**ergon**" signifiant travail et "**nomos**" qui signifie lois ou règles pour la désigner comme science du travail. L'ergonomie se concentre sur l'optimisation de l'interaction entre l'homme et son environnement pour améliorer l'efficacité, la sécurité et le bien-être.

Le terme ergonomie a gagné en popularité dans les années 1940 quand il a été adopté par le scientifique britannique **Murrell L. Barron et al.**, et par la suite est largement utilisé dans le domaine des facteurs humains et de conception [36].

L'ergonomie tient compte des activités mentales, physiques et sociales et en vue de les rendre compatibles et homogènes avec les besoins, les compétences et les limites de l'homme dans un système, les ergonomes contribuent à la création et à l'évaluation des activités avec tous ses composants (homme, tâches, environnement physique et social qui composent un système).

Les ergonomes contribuent à la conception et à l'évaluation des tâches, du travail, des produits, des environnements et des systèmes en vue de les rendre compatibles avec les besoins, les compétences et les limites des personnes.

Il y a plusieurs moyens de justification pour l'implantation de l'ergonomie et ils sont basés sur l'obtention de certains objectifs. Les objectifs de l'ergonomie incluent à fournir les avantages aux systèmes aussi bien qu'aux hommes.

Les objectifs de l'ergonomie sont les suivants :

- 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 en réduisant l'occurrence des erreurs humaines.

Selon la classification de l'International Ergonomics Association [37], l'ergonomie, se divise en trois principaux composants [38] :

### II.3.2.1. Ergonomie Physique :

Cette composante concerne l'adaptation des conditions de travail aux caractéristiques physiologiques et anatomiques de l'individu. Elle vise à optimiser les postures, les mouvements, les équipements et l'environnement physique pour réduire les contraintes.

Les principaux composants de l'ergonomie physique sont :

- **Postures et mouvements** : Cette composante examine les postures adoptées par les individus lorsqu'ils exécutent des tâches au travail et comment ces postures affectent le corps. Elle prend également en considération les mouvements effectués pendant le travail et cherche à minimiser les mouvements répétitifs ou excessifs pouvant causer des blessures.
- **Équipements et outils ergonomiques** : L'ergonomie physique implique la conception d'équipements, d'outils et de dispositifs qui s'adaptent confortablement aux caractéristiques physiques des individus. Cela peut inclure des sièges ergonomiques, des claviers et vannes dans sites industriels, équipements industriels, ainsi que d'autres outils conçus pour réduire la tension musculaire et les efforts excessifs.
- **Environnement physique** : Cette composante englobe les aspects physiques de l'environnement de travail, tels que l'éclairage, la température, le bruit et la vibration. L'ergonomie physique vise à créer un environnement de travail

confortable et sûr en optimisant ces facteurs pour réduire la fatigue et le stress physique.

- **Prévention des troubles musculo-squelettiques (TMS) :** Les TMS sont des troubles affectant les muscles, les tendons, les nerfs et les articulations, souvent causés par des contraintes physiques répétitives ou prolongées. L'ergonomie physique cherche à prévenir les TMS en concevant des postes de travail qui réduisent les contraintes sur le corps et en encourageant l'utilisation de techniques de travail correctes.
- **Santé et bien-être :** En favorisant des postures et des mouvements appropriés, ainsi qu'en optimisant l'environnement physique du travail, l'ergonomie physique vise à promouvoir la santé et le bien-être des travailleurs, en réduisant les risques de blessures et de maladies professionnelles.

### II.3.2.2. Ergonomie Cognitive :

Ce domaine se concentre sur les processus mentaux (la perception, la mémoire, le raisonnement) impliqués dans l'interaction entre l'utilisateur et le système. Il cherche à concevoir des interfaces et des tâches cognitives qui correspondent aux capacités mentales et aux besoins des utilisateurs, afin d'améliorer l'efficacité, la satisfaction et la sécurité au travail. Les principaux composants de l'ergonomie cognitive sont :

- **Perception :** Il s'agit de la manière dont les individus perçoivent et interprètent les informations présentées par le système. Cela inclut la perception visuelle, auditive et tactile, ainsi que la capacité à comprendre et à interpréter les informations sensorielles.
- **Attention :** La capacité à diriger et à maintenir son attention sur les informations pertinentes est essentielle dans tout processus cognitif. L'ergonomie cognitive examine comment concevoir des interfaces et des systèmes qui capturent et maintiennent efficacement l'attention de l'utilisateur.
- **Mémoire :** La mémoire humaine est utilisée pour stocker, traiter et récupérer des informations. L'ergonomie cognitive vise à concevoir des systèmes qui prennent en compte les limitations de la mémoire humaine, en fournissant des indices et des rappels appropriés pour faciliter la récupération des informations lorsque c'est nécessaire.
- **Raisonnement et prise de décision :** Ces processus impliquent l'utilisation de l'information pour tirer des conclusions et prendre des décisions. L'ergonomie cognitive cherche à concevoir des interfaces et des systèmes qui soutiennent

efficacement le raisonnement et la prise de décision des utilisateurs, en présentant l'information de manière claire et en facilitant l'évaluation des options.

- **Charge mentale :** Il s'agit de la quantité de travail cognitif nécessaire pour accomplir une tâche donnée. L'ergonomie cognitive cherche à réduire la charge mentale excessive en concevant des systèmes qui simplifient les tâches, réduisent la complexité cognitive et fournissent un soutien approprié.
- **Apprentissage :** L'ergonomie cognitive prend en compte le processus d'apprentissage des utilisateurs lors de l'interaction avec un système. Cela inclut la conception d'interfaces intuitives et conviviales qui facilitent l'apprentissage et l'acquisition de compétences.

### II.3.2.3. Ergonomie organisationnelle :

L'ergonomie organisationnelle traite des aspects organisationnels, sociaux et managériaux pour optimiser les structures, politiques, processus et relations au travail. Elle vise à améliorer la performance, le bien-être et la qualité de vie des employés en concevant des tâches, structurant l'organisation et favorisant une culture positive.

- a) **Conception du travail :** Cela inclut la conception des tâches, des postes et des processus de travail pour garantir qu'ils correspondent aux capacités, aux compétences et aux besoins des travailleurs. Une conception de travail appropriée peut aider à maximiser l'efficacité et la productivité tout en minimisant la fatigue et le stress.
- b) **Structure organisationnelle :** Il s'agit de la manière dont une organisation est structurée, y compris les niveaux de hiérarchie, les systèmes de communication et de prise de décision, et la répartition des responsabilités. Une structure organisationnelle bien conçue peut favoriser la communication, la coordination et la coopération entre les membres de l'organisation.
- c) **Culture organisationnelle :** La culture organisationnelle englobe les valeurs, les croyances, les normes et les attitudes partagées au sein d'une organisation. Une culture organisationnelle positive qui favorise le respect, la collaboration et le soutien mutuel peut contribuer au bien-être des employés et à la performance organisationnelle.

- d) **Gestion des ressources humaines** : Cela comprend les politiques et les pratiques liées au recrutement, à la formation, à l'évaluation du rendement, à la rémunération et aux avantages sociaux des employés. Une gestion des ressources humaines efficace peut favoriser la motivation, l'engagement et la satisfaction au travail.
- e) **Gestion du changement** : La gestion du changement vise à faciliter la transition des employés et de l'organisation vers de nouvelles pratiques, technologies ou structures organisationnelles. Une gestion du changement réussie implique une communication claire, une formation adéquate et un soutien continu pour aider les employés à s'adapter aux changements.
- f) **Gestion de la sécurité et de la santé au travail** : Cela concerne les politiques, les procédures et les pratiques visant à assurer la sécurité et la santé des travailleurs sur le lieu de travail. Cela peut inclure la prévention des accidents, la gestion des risques professionnels et la promotion d'un environnement de travail sûr et sain.

En combinant ces trois composants, l'ergonomie cherche à créer des conditions de travail qui favorisent à la fois la santé et le bien-être des travailleurs, ainsi que l'efficacité et la performance des organisations.

### II.3.3. L'évolution de la définition de l'ergonomie

L'ergonomie a évolué d'une approche centrée sur l'efficacité et la productivité des environnements de travail vers une discipline multidisciplinaire intégrant bien-être, sécurité et expérience utilisateur. Cette transformation a été influencée par les avancées technologiques, la recherche scientifique et une meilleure compréhension des capacités humaines. Aujourd'hui, l'ergonomie s'applique à divers domaines, combinant psychologie, physiologie, ingénierie et design pour optimiser les environnements et produits en faveur du bien-être et de la performance humaine.

Ci-dessous on montre l'évolution de la définition de l'ergonomie au fil de temps :

- **1947** « L'adaptation de l'homme à son métier ». [39]
- **1956** « L'adaptation de la machine à l'homme ». [40]

- **1969** « L'ergonomie est l'étude scientifique de la relation entre l'homme et ses moyens, méthodes et milieux de travail. Son objectif est d'élaborer, avec le concours des diverses disciplines scientifiques qui la composent, un corps de connaissances qui dans une perspective d'application, doit aboutir à une meilleure adaptation à l'homme des moyens technologiques de production, et des milieux de travail et de vie » [41]
- **1970** « L'ergonomie peut être définie comme l'adaptation du travail à l'homme, plus précisément, comme la mise en œuvre de connaissances scientifiques relatives à l'homme et nécessaires pour concevoir des outils, des machines et des dispositifs qui puissent être utilisés avec le maximum de confort, de sécurité et d'efficacité » [42]
- **1988** « La mise en œuvre des connaissances scientifiques relatives à l'homme et nécessaires pour concevoir des outils, des machines et des dispositifs qui puissent être utilisés par le plus grand nombre avec le maximum de confort, de sécurité et d'efficacité » [43]
- **1989** « (1) L'ergonomie est une technologie dont l'objet est l'aménagement des systèmes hommes-machines ou, plus largement, des conditions de travail, en fonction de critères dont les plus importants regardent le bien-être au travail (confort, satisfaction, santé, sécurité, etc.).  
(2) Science du travail, ou l'ensemble des sciences du travail ». [44]
- **2000** « L'ergonomie est la discipline scientifique qui vise la compréhension fondamentale des interactions entre les humains et les autres composantes d'un système, et la profession qui applique principes théoriques, données et méthodes en vue d'optimiser le bien-être des personnes et la performance globale des systèmes. Les praticiens de l'ergonomie, les ergonomes contribuent à la planification, la conception et l'évaluation des tâches, des emplois, des produits, des organisations, des environnements et des systèmes en vue de les rendre compatibles avec les besoins, les capacités et les limites des personnes » [37]

### II.3.4. La différence entre les facteurs humains et l'ergonomie

Les facteurs humains et l'ergonomie sont des domaines étroitement liés qui visent à optimiser l'interaction entre l'homme et son environnement, mais ils ont des domaines d'intérêt distincts.

Les facteurs humains concernent principalement les aspects psychologiques et cognitifs de la performance humaine, notamment la perception, l'attention, la prise de décision et la gestion de la charge de travail [45].

L'ergonomie, quant à elle, concerne les aspects physiques de la performance humaine, tels que la posture, le mouvement et la biomécanique, ainsi que la conception d'outils, d'équipements et d'espaces de travail pour améliorer la sécurité, le confort et l'efficacité [46], [47].

Les deux domaines visent à optimiser les performances et le bien-être humains, mais ils les abordent sous des angles différents, les facteurs humains se concentrant sur l'esprit et l'ergonomie mettant l'accent sur le corps et l'environnement physique.

L'ergonomie, selon **l'International Ergonomics Association** [37], est une discipline scientifique et une profession dédiée à comprendre les interactions entre l'homme et les systèmes. Elle applique des principes et méthodes de conception pour optimiser à la fois le bien-être humain et les performances globales, en mettant l'accent sur une approche centrée sur l'homme.

D'après **l'American Industrial Hygiene Association**, l'ergonomie vise à réduire les risques de blessures et de maladies musculo-squelettiques, à diminuer l'inconfort des travailleurs, à améliorer leur qualité de vie et à optimiser leurs performances [48]. Cet aspect fondamental de l'ergonomie met l'accent sur une approche centrée sur l'humain, visant à minimiser les risques professionnels tout en favorisant le bien-être et l'efficacité. En somme, l'ergonomie étudie comment maximiser l'efficacité des individus dans leur environnement de travail [49]. Par nature, l'être humain tend vers l'efficacité, cherchant à réduire les efforts inutiles et à minimiser son exposition aux contraintes [49], [50], [51], [52].

### II.3.5. L'apport des différentes disciplines à l'ergonomie

L'ergonomie est une discipline multidisciplinaire qui mobilise diverses sciences pour améliorer la performance humaine et le bien-être dans différents environnements de travail. Initialement axée sur les aspects physiques et psychologiques, comme l'anatomie, la physiologie et la psychologie expérimentale [53], elle a évolué pour inclure des domaines tels que la sociologie, la psychologie organisationnelle et l'interaction homme-machine [54], [55]. Ces disciplines enrichissent l'ergonomie en offrant des perspectives sur les facteurs sociaux, la dynamique de groupe, la motivation des équipes et la conception des tâches et des systèmes de travail [56], [57].

L'ergonomie cognitive, quant à elle, s'intéresse aux capacités et besoins cognitifs des individus interagissant avec des machines et des ordinateurs, mettant en lumière l'importance



## Chapitre II : La conception et l'ergonomie

des aspects collaboratifs et du rôle de la technologie dans les activités humaines. Par ailleurs, l'interface homme-machine joue un rôle central dans les systèmes de fabrication intelligents, soulignant la nécessité de concevoir des environnements de travail ergonomiques et d'évaluer les facteurs de risque influençant la productivité et la performance.

Ainsi, l'intégration de ces différentes disciplines renforce la compréhension des facteurs humains et soutient la conception de lieux de travail sûrs, efficaces et adaptés. (Voir **Figure 01**)

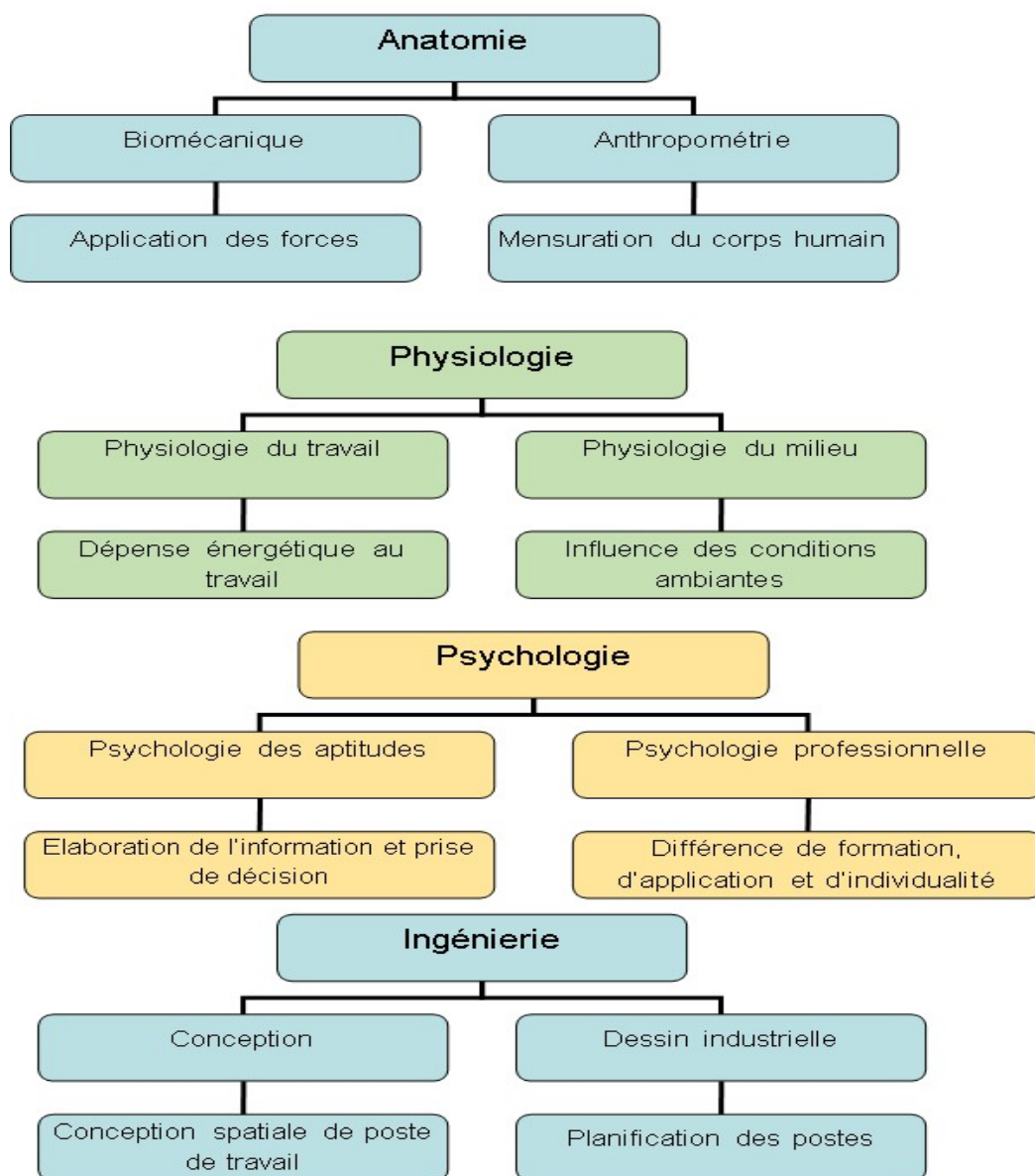


**Figure 01** : Multidisciplinarité de l'ergonomie

### II.4. Efficacité accrue grâce à l'intégration de l'ergonomie

Les concepteurs estiment souvent que l'exploitation et la gestion du produit final ne relèvent pas de leur responsabilité, ce qui les amène à négliger les préoccupations ergonomiques lors de la phase de conception [58]. De plus, les avantages économiques des solutions ergonomiques intéressent davantage les clients et sont généralement demandés par leurs ingénieurs. **Hendrick H.** souligne les bénéfices des installations ergonomiques : elles offrent une facilité et une sécurité d'utilisation, ainsi que des avantages économiques rentables pour les clients. En revanche, pour l'entreprise contractante, la compréhension des normes, la résolution des problématiques ergonomiques et les coûts supplémentaires liés à l'ingénierie et à la construction peuvent représenter une charge importante [59]. Ces services doivent être intégrés par les sociétés d'ingénierie et, bien sûr, financés par les clients.

Pour maximiser les bénéfices de l'ergonomie, il est essentiel d'intégrer les critères ergonomiques dès les premières étapes du projet, notamment en les spécifiant dans les cahiers des charges des nouveaux projets. **Hancock P.A.** et al. Expliquent que l'ajout précoce de spécifications ergonomiques représente un surcoût modeste d'environ 1 % du budget d'ingénierie initial. Cependant, si ces critères sont introduits tardivement, une fois l'unité en exploitation, leur mise en œuvre peut atteindre jusqu'à 12 % des coûts d'ingénierie [04].

Selon **Howard**, l'investissement dans l'ergonomie ne dépasse généralement pas 0,1 % du budget global du projet, avec un retour sur investissement prévu dans un délai de deux à trois ans. Les bénéfices économiques, quant à eux, se poursuivent tout au long du cycle de vie du projet [60]. Voir Figure 02

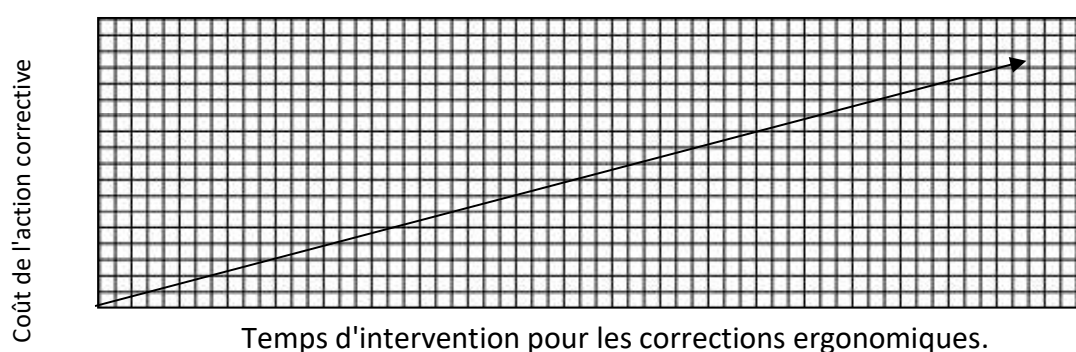


**Figure 02 :** Coût de la mise en œuvre ergonomique avec les étapes du cycle de vie du projet

### II.5. Intégration de l'ergonomie dans le processus de conception : défis, avantages et perspectives

L'approche ergonomique dans la conception repose sur l'intégration des principes d'ergonomie tout au long du processus de création. Selon **Burns et Vicente**, une évaluation a posteriori des

projets de conception montre que les possibilités d'intervention des ergonomes deviennent limitées, réduisant ainsi les chances de réviser ou de modifier efficacement les projets [61]. Les experts en sécurité, en conception et en ergonomie s'accordent sur le fait qu'une prise en compte rigoureuse des facteurs humains dès les premières phases de conception conduit généralement à de meilleures performances industrielles [25].

L'intégration des paramètres ergonomiques dans le processus de conception se heurte souvent à diverses contraintes qui compliquent sa mise en œuvre. Selon **Mekitiak et Neumann**, le processus de conception technique est soumis à une multitude de contraintes issues de différentes sources, notamment financières, juridiques, contractuelles, politiques et sociales [62]. **Broberg** distingue deux types principaux de contraintes : contextuelles et techniques [63], tandis que **Burns et Vicente** les classent en trois catégories : contraintes contextuelles, contraintes liées à l'analyse syntaxique et à la répartition des responsabilités, et celles issues d'autres domaines. L'efficacité des ergonomes dans l'influence sur les ingénieurs dépend largement du soutien du management, qui doit être à l'origine de l'effort d'intégration de l'ergonomie dans le processus de conception [61]

La contrainte la plus évidente et fréquente à l'adoption d'une conception ergonomique réside dans son coût d'implantation. **Hendrick** souligne que la présentation d'une analyse coûts-avantages, exprimée dans un langage commercial accessible, est une méthode efficace pour obtenir l'adhésion des décideurs en faveur des propositions ergonomiques [64].

D'après l'étude de **Broberg**, les ingénieurs ne perçoivent pas toujours l'impact de leurs choix de conception sur l'environnement de travail des autres, négligeant souvent les aspects ergonomiques et les conditions de travail dans leurs projets [63]. L'intégration de l'ergonomie dès la phase de conception vise à placer l'activité humaine au cœur des priorités des concepteurs [65]. Cette démarche doit être promue afin d'améliorer à la fois le bien-être des travailleurs et les performances globales des systèmes.

Selon **Burns et Vicente**, les contraintes et limitations expliquent pourquoi la meilleure solution ergonomique n'est pas systématiquement adoptée. Les concepteurs et les ergonomes doivent collaborer pour surmonter les restrictions imposées par un environnement en constante évolution et influencé par diverses contraintes [61]. Les ingénieurs doivent reconnaître l'importance des exigences ergonomiques et intégrer de manière formelle les facteurs humains dans leurs processus [63]. Cela constitue un socle favorable au développement d'une approche systématique et cohérente pour intégrer les principes ergonomiques.

De nombreuses décisions dans le processus de conception technique sont prises en tenant compte d'une variété de facteurs. Comme chaque spécialiste de l'équipe de conception a un point de vue unique sur le problème de conception, il utilise des critères particuliers pour recommander des solutions. Lors de la conception du processus de production ou d'autres installations, l'ergonomie est l'un des nombreux critères établis qui sont pris en considération. Les concepteurs peuvent rapidement perdre leur influence sur le processus de prise de décision dans un environnement très contraint, car ils devront faire face à des critères techniques, des codes et normes imposés par la société. Par conséquent, les normes ergonomiques proposées par les ergonomes doivent être compétitives par rapport à d'autres normes.

Les directives ergonomiques font souvent l'objet de critiques. Selon **Campbell (1996)** [66], plusieurs documents de référence sur les facteurs humains sont jugés trop littéraires, généraux et peu accessibles, rendant leur utilisation difficile pour les concepteurs, qui recherchent généralement des réponses concrètes à des problématiques spécifiques. De ce fait, ils consultent rarement les manuels d'ergonomie [67].

De plus, selon **Broberg**, même en dotant les ingénieurs de connaissances en ergonomie, cela ne garantit pas l'intégration automatique des critères ergonomiques dans le processus de conception [63]. **Haslegrave et Holmes** soulignent quant à eux, les ergonomes nécessitent une formation approfondie et ciblée, afin qu'ils acquièrent les compétences spécialisées indispensables, notamment en matière d'analyse ergonomique et d'évaluation des utilisateurs [68].

Les recherches concluent que pour intégrer efficacement les facteurs humains et atteindre des résultats favorables en matière d'ergonomie lors des négociations liées à la conception, la participation active d'un spécialiste en facteurs humains au sein de l'équipe de conception est indispensable [15].

Bien que les modèles théoriques décrivent la conception technique comme un processus systématique et logique [69], d'autres études offrent une perspective différente. Elles mettent en lumière la complexité et l'hétérogénéité de l'ingénierie [63], en soulignant que le processus de conception est hautement itératif. Ce dernier se caractérise par de nombreux ajustements, des cycles fréquents d'analyse, et une coordination complexe [61], [68], [70].

**Haslegrave et Holmes** insistent sur le fait que l'ergonomie doit être intégrée dès les premières phases d'un projet de conception pour garantir une mise en œuvre efficace, bénéfique et réalisable [68]. De même, **Meister et Farr** recommandent que les ergonomes participent à l'élaboration des spécifications initiales, ce qui facilite la prise en compte des

critères ergonomiques tout au long du processus de conception. **Daniellou et Garrigou** rappellent qu'une fois les études de base terminées, il devient difficile, voire impossible, d'établir des directives ergonomiques en amont [65], [67].

Incorporer les critères ergonomiques dès les étapes initiales réduit le besoin de modifications ultérieures et augmente la probabilité de leur acceptation. En revanche, une intervention tardive devient coûteuse, complexe, et parfois irréalisable une fois le système conçu.

**Haslegrave et Holmes** soulignent que les premières recommandations peuvent être provisoires, car les caractéristiques des modèles de conception sont souvent sujettes à des modifications ultérieures [68]. **Fadier et al.**, affirment que pour recueillir et identifier les besoins et usages des utilisateurs finaux dans diverses catégories et métiers, les phases de spécification, d'essai et de validation restent les plus importantes dans la majorité des cas de conception [25].

Le suivi des opérations d'implantation doit être maintenu lors de la transition entre la phase de conception et celle de construction. **Daniellou et Garrigou** insistent sur l'importance de maintenir des groupes de travail ergonomiques durant la phase de montage des installations. Cela permet d'identifier et de résoudre les problèmes qui n'ont pas été anticipés ou qui ont été négligés pendant le projet, tout en facilitant des ajustements mineurs [65].

**Haslegrave et Holmes** notent que l'intégration de l'ergonomie dès les premières étapes de la conception incite l'équipe de conception à se concentrer sur le point de vue de l'utilisateur [68]. **Garrigou et al** ajoutent que la contribution de l'ergonome aux processus de conception consiste à modifier les représentations du travail qui interviennent dans la conception plutôt que de simplement fournir aux concepteurs de nouvelle base de connaissances [70].

**Cordiner et Graves** identifient plusieurs avantages liés à l'implication continue des ergonomes, notamment pendant les phases de transition. Leur présence sert de point de contact supplémentaire entre les différents groupes du projet, favorise le dialogue dans les domaines ambigus, sensibilise à l'importance de l'implication du personnel, et prend en compte les préoccupations des parties prenantes [71].

Le processus de conception, bien que fragmenté, repose sur la collaboration entre spécialistes de différents domaines, ce qui permet la création d'un système homogène et efficace [70]. Chaque acteur se concentre sur un aspect spécifique du projet selon son expertise [61]. Cependant, selon **Cross et Cross**, la collaboration entre concepteurs présente des défis mais aussi des opportunités qui n'existent pas dans un travail solitaire [72]. Dès que des perspectives et intérêts divers interviennent, l'aspect social du processus de conception devient crucial pour la réussite du travail d'équipe [15].

**Boff** identifie l'un des principaux obstacles aux projets interdisciplinaires : l'incapacité des concepteurs issus de disciplines différentes à comprendre et à valoriser les perspectives des autres parties impliquées [16]. Une implication active des ergonomes peut contribuer à lever ces obstacles structurels [03]. **Mekitiak et Neumann** insistent sur l'importance, pour les ergonomes, de comprendre les objectifs, motivations et habitudes de travail des ingénieurs afin d'assurer l'efficacité de leurs contributions [73].

**Kirwan** souligne que le succès de la mise en œuvre de l'ergonomie dépend en grande partie de la qualité des interactions entre les spécialistes des facteurs humains et les responsables des processus de conception [74]. **Haslegrave et Holmes** rappellent qu'il n'existe pas de modèle unique optimal pour la collaboration entre ergonomes et ingénieurs. Outre des normes spécifiques liées à leurs domaines respectifs, ces professionnels utilisent également des langages différents [68]. Cependant, une communication efficace et un échange constant d'idées restent des éléments essentiels à la réussite du travail d'équipe [72]. Les différences de langage entre ergonomes et ingénieurs peuvent constituer un obstacle à l'adoption de l'ergonomie. **Haslegrave et Holmes** suggèrent de former les ingénieurs à la terminologie ergonomique et d'encourager les ergonomes à s'adapter au langage technique et aux méthodes des concepteurs dans des contextes spécifiques [68]. L'intégration de l'ergonomie à la conception améliore l'expérience utilisateur en tenant compte des facteurs humains, de l'anthropométrie et des besoins des utilisateurs. Elle garantit un ajustement optimal entre le produit et ses utilisateurs, renforçant confort, sécurité et plaisir d'utilisation [75], [76]. L'analyse des interactions utilisateur-interface, associée à la collecte de données biométriques, permet d'ajuster les interfaces pour réduire les contraintes et optimiser l'expérience utilisateur [77]. L'ergonomie vise à concilier bien-être des utilisateurs et performances des systèmes en s'adaptant à leurs besoins et capacités [78]. En appliquant les principes ergonomiques dès la conception, il est possible de développer des produits et systèmes qui améliorent simultanément l'expérience utilisateur, la sécurité, et le bien-être global.

### II.6. Les expositions ergonomiques dans l'industrie pétrolière et gazière

Dans l'industrie pétrolière et gazière, les principaux risques ergonomiques incluent la mauvaise conception des lieux de travail, les postures inconfortables, les mouvements répétitifs, le travail statique, ainsi que d'autres facteurs contribuant aux troubles musculo-squelettiques (TMS). Ces troubles peuvent affecter diverses parties du corps, notamment les

mains, les poignets, les coudes, les bras, les épaules, le bas du dos et la région cervicale [79], [80].

Ces risques sont particulièrement fréquents en raison des caractéristiques spécifiques de ce secteur : travail sur des champs ouverts, espaces restreints, zones confinées, et environnements offshore tels que les plateformes pétrolières [81]. En outre, l'industrie est confrontée à des défis supplémentaires, tels que l'exposition au bruit, les surfaces glissantes, la manutention manuelle des matériaux, les risques électriques, les chutes potentielles et la répétitivité des tâches [82].

Un manque de compétences en ergonomie, de communication efficace et de ressources adaptées aggrave ces conditions de travail. Cela entraîne une détérioration des pratiques ergonomiques et contribue à l'augmentation des problèmes de santé et de sécurité dans ce secteur [83].

### **II.7. Les interventions ergonomiques dans le processus de conception**

Les interventions ergonomiques sont essentielles pour réduire les risques liés à la santé et à la sécurité au travail, en proposant des méthodes innovantes pour l'évaluation des risques et le traitement des données [84]. Ces actions reposent sur des connaissances spécialisées en santé au travail et visent à transférer des pratiques et stratégies théoriques vers les travailleurs et les entreprises [85]. Elles permettent d'identifier les problèmes ergonomiques au sein des environnements de travail et de suggérer des améliorations pour minimiser les risques professionnels [86].

Des formations sur les principes ergonomiques et des programmes de sensibilisation réguliers sont également des leviers pour réduire les troubles musculo-squelettiques (TMS) et améliorer la productivité des travailleurs [87]. Les interventions peuvent être déployées dans diverses industries pour prévenir les accidents liés aux facteurs humains et ergonomiques [88]. Les modèles participatifs, impliquant les employés dans la conception de leur espace de travail, sont également efficaces pour répondre à leurs préoccupations [89].

L'analyse ergonomique des tâches permet de réduire l'exposition aux risques liés aux TMS [90], tandis que l'identification des conditions de travail dangereuses aide à prioriser les interventions en matière de sécurité et de santé [91]. Dans l'ensemble, les interventions ergonomiques fournissent une approche globale pour améliorer la sécurité et la santé sur le lieu de travail, renforcer l'apprentissage organisationnel et optimiser l'efficacité du système.

Les études ont montré que l'ergonomie participative, impliquant les individus dans la conception des espaces de travail, peut conduire à des interventions efficaces [92], [25]. En identifiant les sources d'inconfort et en appliquant rapidement des solutions ergonomiques, les améliorations peuvent être mises en œuvre rapidement et de manière rentable. De plus, les recherches sur les équipes de conception à distance mettent en évidence l'importance des méthodes de processus pour améliorer la communication et la collaboration, ce qui a un impact direct sur le résultat de la conception.

L'intégration de critères ergonomiques dans le processus de conception des produits est étroitement influencée par l'environnement opérationnel dans lequel elle s'inscrit. Cet environnement englobe divers éléments tels que l'organisation elle-même, les parties prenantes impliquées, les aspects spécifiques pris en compte dans la conception, ainsi que les ressources disponibles. En raison de cette interdépendance avec les facteurs contextuels, il n'existe actuellement aucun cadre normalisé universel pour les interventions ergonomiques, applicable de manière uniforme à tous les projets de conception des installations. La nature complexe de la conception de produits exige une approche flexible de l'intervention ergonomique, capable de s'adapter aux exigences et aux particularités de chaque projet, tout en tenant compte de l'interaction dynamique entre le contexte de conception et les principes ergonomiques appliqués. C'est la raison pour laquelle il existe actuellement un large éventail de « méthodologies de conception de produits » qui intègrent l'ergonomie à des degrés divers. Chaque méthodologie s'adapte aux aspects uniques du projet et aux exigences de l'environnement dans lequel il est appliqué. Par conséquent, la mise en œuvre des principes ergonomiques peut présenter une grande diversité en fonction des caractéristiques de l'entreprise, des exigences des utilisateurs, des limites posées par la technologie et des objectifs de la conception. Ce niveau d'adaptabilité permet de personnaliser les approches ergonomiques en fonction des circonstances spécifiques de chaque projet, améliorant ainsi leur efficacité dans le développement de produits ergonomiques qui répondent efficacement aux besoins des utilisateurs. Essentiellement, l'importance accordée à l'ergonomie dans les différentes méthodologies de conception permet une application plus personnalisée et plus efficace des principes ergonomiques, ce qui se traduit par des produits mieux adaptés aux utilisateurs auxquels ils sont destinés. Cette approche dynamique souligne l'importance de prendre en compte les divers facteurs qui influencent les pratiques ergonomiques dans la conception des produits, pour finalement aboutir à la création de produits plus conviviaux et efficaces.



### **II.7.1. DUCHAMP et AOUSSAT :**

Leur approche se structure autour de deux axes : la « conception ergonomique », qui intègre les besoins ergonomiques dès le début du projet, et la « correction ergonomique », qui intervient après la conception pour ajuster les problèmes identifiés. Ils utilisent des outils comme la simulation numérique avec des mannequins virtuels pour améliorer l'interaction entre conception et ergonomie [93], [94], [95], [96], [38].

### **II.7.2. FADIER :**

Son approche se déploie en deux niveaux : l'observation des activités des concepteurs (niveau 1) et la participation active à la conception (niveau 2). Cette méthode vise à fournir des recommandations précises en comprenant les processus cognitifs et sociaux des concepteurs, mais son efficacité dépend du contexte organisationnel et des ressources disponibles [98], [99], [97].

### **II.7.3. Conception participative :**

Cette approche implique les utilisateurs finaux et les parties prenantes tout au long du processus de conception, garantissant que leurs besoins et attentes influencent le produit final. Elle est particulièrement utile dans des domaines comme les soins de santé, mais nécessite une coordination efficace pour gérer les intérêts divergents et les contraintes de communication [100], [25], [97].

### **II.7.4. GARRIGOU :**

Son approche repose sur trois principes clés : l'intégration des perspectives des concepteurs et des opérateurs, l'intervention précoce de l'ergonome, et l'analyse des situations existantes. Elle met l'accent sur l'humanisation de l'innovation et du design en réunissant les acteurs dès le début du projet [105], [97].

### **II.7.5. ROUSSEL :**

Sa méthodologie en trois étapes (définition du problème, proposition de solutions, évaluation) utilise un référentiel commun d'usage (RCU) pour faciliter la collaboration entre ergonomes et concepteurs. Ce référentiel sert de base commune pour élaborer des solutions ergonomiques, favorisant une approche interdisciplinaire et innovante [106], [97].

### II.7.6. MARSOT :

Sa méthodologie propose un cadre collaboratif entre ergonomes et concepteurs, en intégrant des outils comme l'Analyse des Besoins Fonctionnels (AFB), le Déploiement des Fonctions de Qualité (QFD) et la Théorie de Résolution Innovante des Problèmes (TRIZ). Ces outils permettent de traduire les attentes des utilisateurs en paramètres de conception et de résoudre les contradictions ergonomiques, tout en garantissant une qualité optimale du produit final [107], [97].

Ces approches soulignent l'importance de l'ergonomie dès les phases initiales de la conception, en impliquant activement les utilisateurs et en utilisant des outils adaptés pour créer des produits plus adaptés et conviviaux. Chaque méthode offre des avantages spécifiques, mais toutes visent à améliorer la qualité ergonomique et l'expérience utilisateur.

### II.8. Conséquences d'une conception ergonomique insuffisante

Il a été prouvé que des conceptions ergonomiques inappropriées dans l'industrie pétrolière et gazière contribuent à l'augmentation des accidents [108]. Un manque de compétences en ergonomie, de communication et de ressources est souvent identifié comme un facteur clé à l'origine de mauvaises conditions ergonomiques, ce qui engendre des risques accrus pour la santé et la sécurité des travailleurs [109]. Ces derniers font face à divers défis tels que les problèmes de communication, l'identification des équipements, l'éclairage inadéquat, le bruit, les surfaces glissantes, les tâches de manutention manuelle, les dispositifs de protection contre les chutes et les tâches répétitives. De plus, la charge mentale et le stress génèrent également des risques d'accidents [110]. L'adoption de mesures préventives et la réalisation d'évaluations ergonomiques peuvent contribuer à réduire ces risques et à améliorer la sécurité dans l'industrie pétrolière et gazière [111], [112].

La prise en compte de tous les facteurs ergonomiques lors de la phase de conception est essentielle pour plusieurs raisons [113], [114] :

- Un système mal conçu sur le plan ergonomique compromet à la fois la sécurité et la performance des installations ;
- Les corrections apportées après la conception peuvent engendrer de nouveaux problèmes techniques ou ergonomiques, perturbant ainsi l'homogénéité du système ;
- Les révisions du système après sa conception génèrent des coûts plus élevés ;
- Des blessures liées à des défauts ergonomiques, telles que des entorses ou des troubles musculo-squelettiques (TMS), sont fréquentes ;

- Plus un système est automatisé, plus le rôle de l'opérateur devient critique ;
- L'erreur humaine résulte souvent directement ou indirectement d'une mauvaise conception ergonomique du système.

### II.9. Évolution des thèmes ergonomiques :

L'évolution des thèmes ergonomiques a suivi un parcours fascinant, marquant les changements sociaux, technologiques et les progrès dans la compréhension des interactions entre les individus et leur environnement de travail.

Au début de l'ergonomie, l'accent était mis principalement sur l'ergonomie physique, qui visait à ajuster les postes de travail, les outils et les environnements pour prévenir les blessures musculo-squelettiques et les tensions physiques. Cependant, au fil du temps, un changement s'est opéré vers l'ergonomie cognitive, qui s'intéresse à la manière dont l'humain interagit avec des systèmes complexes tels que les salles de contrôle, les logiciels, les interfaces utilisateurs et les processus de travail, dans le but d'optimiser la performance, la satisfaction et la sécurité [115], [116].

Cette section propose une synthèse de l'évolution progressive des thèmes ergonomiques :

- **Ergonomie classique** : En tant que discipline, l'ergonomie est née pendant la révolution industrielle au XIX<sup>e</sup> siècle, avec un intérêt initial porté sur l'efficacité et la sécurité au travail. Les premières recherches se concentraient sur l'adaptation des outils et des postures pour minimiser les blessures et les erreurs humaines.
- **Ergonomie cognitive** : Dans les années 1950 et 1960, l'ergonomie s'est élargie pour inclure des aspects cognitifs. Les chercheurs ont étudié comment les individus traitent l'information, prennent des décisions et interagissent avec les systèmes informatiques, ce qui a conduit à l'émergence de l'ergonomie cognitive, prenant en compte les aspects mentaux et perceptuels de l'interaction humain-machine.
- **Ergonomie participative** : Dans les années 1970, l'ergonomie participative a gagné en importance. Cette approche valorise la participation active des travailleurs dans la conception de leur environnement de travail, en les impliquant dans l'identification des problèmes ergonomiques et dans la recherche de solutions.
- **Ergonomie numérique** : Avec l'essor des technologies de l'information et de la communication, l'ergonomie numérique est devenue un domaine incontournable. Elle se concentre sur la conception intuitive des interfaces utilisateurs, des sites web, des logiciels et des appareils électroniques, dans le but de garantir une utilisation efficace et sans stress.

- **Ergonomie de la santé au travail** : L'ergonomie de la santé au travail s'est également développée, visant à prévenir les troubles musculo-squelettiques, les troubles de santé mentale liés au travail et autres problèmes de santé professionnels. Elle aborde aussi la gestion de la charge de travail et la promotion du bien-être au travail, contribuant ainsi à la réduction des maladies professionnelles.
- **Vieillesse de la population** : En réponse au vieillissement de la population dans de nombreuses régions du monde, l'ergonomie s'est orientée vers la conception de produits et d'environnements adaptés aux besoins des personnes âgées.
- **Ergonomie en période de pandémie** : La pandémie de COVID-19 a souligné l'importance de l'ergonomie dans le cadre du télétravail et des mesures de distanciation sociale. Les chercheurs ont exploré les meilleures pratiques pour l'ergonomie à domicile et la conception d'espaces de travail conformes aux exigences de sécurité sanitaire.
- **Ergonomie dans les environnements virtuels et augmentés** : L'essor de la réalité virtuelle (RV) et de la réalité augmentée (RA) a posé de nouveaux défis et ouvert des perspectives en ergonomie. Les chercheurs se sont intéressés à la création d'environnements virtuels et augmentés immersifs et conviviaux, tout en minimisant les risques de fatigue visuelle, de désorientation spatiale et de mal des transports.
- **Ergonomie organisationnelle et du travail** : En parallèle, la reconnaissance de l'importance de l'ergonomie organisationnelle et du travail a augmenté. Elle englobe l'optimisation des processus de travail, la gestion de la charge de travail, la conception des horaires et la promotion d'une culture de sécurité au sein des organisations.

L'évolution des thèmes ergonomiques a été marquée par l'élargissement de son champ d'application, passant de l'ergonomie physique traditionnelle à une approche plus globale, incluant l'ergonomie cognitive, organisationnelle et du travail, ainsi que des préoccupations émergentes liées aux nouvelles technologies et à la santé mentale au travail. L'ergonomie reste essentielle pour améliorer la qualité de vie au travail, la productivité, la sécurité des travailleurs, tout en favorisant une interaction optimale entre les individus et leur environnement.

**III. Chapitre III : La sécurité proactive en conception : une approche clé pour un monde numérisé pour des installations pétrolières et gazières**

**III.1. Introduction**

La sécurité proactive en conception met en lumière une approche très importante dans le développement de systèmes, produits et services dans notre monde de plus en plus numérisé. Cette approche est particulièrement pertinente dans les domaines où la sécurité et la fiabilité sont décisives, comme dans les secteurs pétroliers et gaziers, de l'industrie d'automobile, de l'aérospatiale, et de la santé [25].

En intégrant la sécurité dès les premières étapes de la conception, cette méthode a un impact significatif sur le cycle de vie des produits. Elle permet aux entreprises d'éviter les coûts et les risques associés aux modifications tardives, tout en accélérant la mise sur le marché. En anticipant les problèmes potentiels, les organisations peuvent prévenir les retards causés par des vulnérabilités découvertes en phase de test ou après le lancement.

Dans un environnement où les menaces de sécurité évoluent rapidement et deviennent de plus en plus complexes, une approche proactive offre un avantage concurrentiel. Elle permet d'incorporer des solutions flexibles et évolutives, capables de s'adapter à de nouvelles vulnérabilités et attaques, assurant ainsi une résilience accrue.

Cependant, la sécurité proactive en conception dépasse le cadre technologique. Elle inclut également la formation des employés, l'instauration d'une culture organisationnelle axée sur la sécurité, ainsi que la mise en œuvre de processus et de politiques soutenant cette démarche.

**III.2. Définition et bénéfices de la sécurité proactive en conception**

La sécurité proactive en conception consiste à intégrer des mesures de sécurité dès les premières étapes de la conception et du développement d'un système, produit ou service. Contrairement aux approches réactives, où les ajustements de sécurité interviennent après la conception initiale en réponse à des vulnérabilités, cette méthode vise à minimiser les risques dès le départ. Elle garantit ainsi un produit final plus robuste et résistant aux menaces.

Les avantages clés de cette approche incluent :

- **Réduction des vulnérabilités** : L'intégration précoce des mesures de sécurité limite les risques inhérents à la conception.
- **Optimisation des coûts** : Il est généralement moins coûteux de concevoir un système sécurisé dès le départ que de le modifier après un incident.

### Chapitre III : La sécurité proactive en conception : une approche clé pour un monde numérisé pour des installations pétrolières et gazières

---

- **Conformité réglementaire** : Cette démarche facilite le respect des normes et réglementations en matière de sécurité dès les premières étapes du projet.
- **Renforcement de la confiance des utilisateurs** : Les produits conçus avec une sécurité intégrée inspirent davantage de confiance grâce à leur fiabilité.
- **Favorisation de l'innovation** : En adoptant une sécurité proactive, les entreprises encouragent l'utilisation de technologies avancées et innovantes en matière de sécurité.

La sécurité proactive en conception n'est pas seulement un impératif pour répondre aux défis actuels de la sécurité, mais également une opportunité stratégique pour garantir la pérennité, l'efficacité et la compétitivité des organisations.

Elle est essentielle dans un monde industriel de plus en plus automatisés et complexes, car elle contribue à renforcer la résilience et la fiabilité des systèmes de production industrielles.

#### III.3. L'intégration de l'approche HSE dans la conception des installations

L'intégration de l'approche HSE « Health, Safety & Environment » dans la conception des nouvelles installations était toujours un défi pour les concepteurs. Dans cette étape l'ergonomie assure la connexion entre l'approche HSE et la conception. Souvent les ingénieurs essaient d'intégrer les problèmes ergonomiques dans la conception d'une installation seulement après avoir terminé le détail de la conception technique et la conséquence de cette pratique peut générer des installations mal adaptées avec les capacités de l'homme, ce qui va nous donner un système fragile et de faible performance, avec des conditions de travail dangereuses.

Le concepteur doit mettre dans la tête que l'ergonomie doit être intégrée dans toutes les étapes de la conception de nouveaux systèmes, cependant dans la pratique cette approche n'est pas appliquée [117], [25]. Si l'ergonomie a été utilisée dans la conception détaillée, il s'est étendu de citation des normes internationales au sujet anthropométrique aux niveaux d'éclairage et de bruit dans le lieu de travail. Tandis que ces normes sont importantes, elles ne présentent qu'une petite partie d'usage de l'ergonomie dans la conception détaillée. Le composant le plus important de l'ergonomie consiste en l'analyse de la tâche, suivie de la conception de l'installation la mieux adaptée aux capacités et limites des utilisateurs.

La seule manière pour que ces installations soient bien construites est une bonne compréhension de l'environnement de travail, des forces et limites de l'homme par les concepteurs ainsi que la compréhension des tâches de l'homme au sein du système. Le

### **Chapitre III : La sécurité proactive en conception : une approche clé pour un monde numérisé pour des installations pétrolières et gazières**

---

principe de concevoir des installations autour de la tâche humaine est le moteur principale guidant une stratégie ergonomique avec son implantation.

Les grandes compagnies pétrolières se rendent compte que leur capital le plus important est leur propre personnel. Ces compagnies encouragent leur main d'œuvre à maximiser leur potentiel de production et elles reconnaissent leurs efforts afin de maintenir la capacité concurrentielle dans le monde industrielle. Elles doivent faciliter le processus de développement en appliquant les qualifications et les connaissances de leur personnel. [118]. L'ergonomie donne l'occasion d'améliorer l'économie en employant les techniques qui enlèvent les barrières traditionnelles entre l'homme et la machine. C'est un processus qui exploite efficacement les qualifications de la main d'œuvre, en augmentant de ce fait le niveau de sécurité, la motivation et la satisfaction des employés aussi bien qu'améliorer la performance. La partie difficile de la mise en application de l'ergonomie réside dans la façon de l'incorporer dans un projet et comment l'intégrer dans l'organisation globale. Il n'y a aucune règle ou directives pour la mise en application de l'ergonomie, il y a seulement la bonne pratique. L'expérience montre que la marge de manœuvre des concepteurs est d'autant plus faible que l'état de réalisation d'une conception est avancé [119], [120], [121], [122], [123].

#### **III.4. Modèle cognitif de l'activité du concepteur**

Fournir un soutien efficace aux concepteurs reste complexe, notamment en raison du manque de connaissances approfondies sur la nature même de leur travail. **Lebahar** propose un modèle détaillé mettant en lumière l'équilibre entre les processus cognitifs du concepteur et la résolution des problèmes de conception, conduisant à une représentation finale [124]. Ce processus d'équilibrage est caractérisé par des échecs temporaires, des erreurs, des obstacles et des choix alternatifs.

Le modèle distingue deux mécanismes fonctionnels :

1. Production de solutions techniques : Le concepteur répond aux exigences techniques ou aux spécifications des clients en analysant, évaluant, puis en conservant ou éliminant les propositions en conséquence.
2. Création de solutions innovantes : Le concepteur génère des idées nouvelles pour surmonter les contraintes inévitables et garantir la réussite du projet.

### Chapitre III : La sécurité proactive en conception : une approche clé pour un monde numérisé pour des installations pétrolières et gazières

---

Selon la théorie de la connaissance scientifique [124], cette activité repose sur un processus dynamique de régulation de l'action, soutenu par une réflexion continue et par l'utilisation de simulations mentales. Le modèle couvre toutes les phases du processus de conception et souligne le rôle crucial de la créativité, démontrant comment contraintes et obstacles peuvent devenir des moteurs d'innovation [25], [26].

Les composantes principales de ce modèle cognitif incluent :

- **Perception et interprétation** : Compréhension du problème de conception, des objectifs, contraintes et besoins des utilisateurs.
- **Mémoire et connaissances** : Mobilisation de connaissances techniques, d'expériences passées et de principes de conception.
- **Raisonnement créatif et critique** : Exploration d'idées alternatives innovantes, suivie de leur évaluation selon leur faisabilité et les contraintes.
- **Prise de décision** : Sélection des meilleures alternatives en tenant compte des enjeux techniques et des parties prenantes.
- **Modélisation et simulation** : Utilisation d'outils pour visualiser et anticiper les comportements des conceptions.
- **Interaction avec l'environnement** : Collaboration avec outils, collègues, clients et utilisateurs finaux, influençant le processus.
- **Itération** : Cycles répétés de conception, test, feedback et révision.
- **Apprentissage et résolution de problèmes** : Enrichissement des compétences grâce à chaque expérience.

Ce modèle, à la fois dynamique et non linéaire, illustre la complexité de la pensée du concepteur et son engagement dans un processus itératif mêlant créativité, réflexion critique et résolution de problèmes. Bien qu'il puisse varier selon les disciplines, il offre une structure générale pour comprendre les mécanismes cognitifs sous-jacents à la conception.



### **III.5. L'aspect prévention durant la phase de conception**

Dans le contexte de la conception de projets ou de produits, l'aspect prévention durant la phase de conception est décisif. Cette approche, souvent appelée "conception préventive" ou "prévention par la conception", vise à anticiper et à atténuer les risques potentiels avant qu'ils ne se manifestent durant le cycle de vie du projet. Voici quelques éléments clés de cette démarche [25], [26] :

- **Analyse des Risques** : Dès les premières étapes de la conception, une analyse approfondie des risques potentiels est effectuée. Cela inclut l'identification, l'évaluation et la hiérarchisation des risques liés à l'utilisation, à la maintenance, et au cycle de vie du produit ou du projet.
- **Conception Ergonomique** : La conception préventive prend en compte l'ergonomie pour réduire les risques d'erreur, de blessures ou de maladies professionnelles. Cela implique de concevoir des produits ou des environnements de travail qui s'adaptent aux capacités et aux limites des utilisateurs.
- **Respect des Normes et Réglementations** : La conformité aux normes de sécurité et environnementales est essentielle. Cela implique de rester à jour avec les dernières réglementations et de les intégrer dans la conception.
- **Durabilité et Impact Environnemental** : La prévention comprend également la réduction de l'impact environnemental du produit tout au long de son cycle de vie, de la fabrication à la fin de vie, y compris la gestion des déchets et le recyclage.
- **Formation et Sensibilisation** : Sensibiliser les concepteurs, les ingénieurs et les utilisateurs finaux aux risques potentiels et aux moyens de les éviter est une partie intégrante de la prévention.
- **Tests et Évaluations** : Les prototypes et les conceptions sont soumis à des tests rigoureux pour identifier et corriger les faiblesses avant la production ou la mise en œuvre.
- **Retours d'Expérience** : L'analyse des incidents passés et des retours d'utilisateurs est utilisée pour améliorer continuellement les pratiques de conception préventive.

En intégrant ces principes dès la phase de conception, les organisations peuvent non seulement améliorer la sécurité et le bien-être des utilisateurs mais aussi réduire les coûts à long terme en évitant les problèmes qui pourraient surgir plus tard.

### **III.6. Enjeux réglementaires et défis liés à la prévention**

Selon la littérature, il semble que les clients (rédacteurs des Cahiers de charges) soient exemptés de l'obligation réglementaire de mettre en évidence la dimension "prévention" lors le processus de conception [25].

Le statut sécuritaire dans la phase de conception a reçu une attention particulière [125], [126], dont les principaux points sont résumés ci-dessous.

- Exemption de la dimension "prévention" pour les rédacteurs des cahiers de charges : Les rédacteurs (souvent les clients) ne sont pas tenus de manière réglementaire d'inclure des spécifications détaillées sur la sécurité ou la prévention dans les Cahiers de charges. Cela peut conduire à une lacune dans l'anticipation des questions de sécurité dès les premières étapes de la conception.
- Complexité et ambiguïté des normes techniques : La sécurité est réglementée par des normes techniques, mais leur complexité et ambiguïté rendent difficile leur mise en œuvre pratique. Cette complexité peut entraîner des interprétations variées et potentiellement des mises en œuvre incohérentes.
- Intégration de la sécurité par des experts : Souvent, la sécurité est intégrée dans le processus de conception par un expert en sécurité, mais cette intégration peut être perçue comme externe ou ajoutée, plutôt qu'inhérente au processus de conception.
- Opposition à la production : La sécurité peut parfois entraver le processus de production, ce qui la rend moins prioritaire par rapport aux exigences de fonctionnalité de l'équipement.
- Contrainte pour les concepteurs et utilisateurs : La sécurité est souvent vue comme une contrainte par les concepteurs (limite la créativité) et par les utilisateurs (entre en conflit avec les exigences implicites du travail).
- Problématique émergente en cours de projet : Les questions de sécurité peuvent devenir problématiques lorsqu'elles émergent tardivement dans un projet, sans avoir été intégrées dès le début.
- Intégration tardive dans le processus de conception : La sécurité est souvent intégrée dans la phase de développement, mais cette intégration tardive peut manquer de coordination avec la réglementation et les connaissances empiriques.
- Processus cognitif de l'intégration de la sécurité : L'intégration de la sécurité dans la phase de conception est un processus cognitif complexe qui peut influencer la manière dont la sécurité est perçue et intégrée dans le processus global de conception.

### **III.7. Vers une intégration proactive de la sécurité**

Il serait bénéfique d'examiner des méthodes pour mieux intégrer les considérations de sécurité dès les premières étapes de la conception, en tenant compte des différentes contraintes et exigences des parties prenantes. Pour améliorer la prévention, il est essentiel de développer des approches intégrées dès les premières étapes, notamment :

- Renforcer la prise en compte de la sécurité dans les cahiers des charges.
- Simplifier et clarifier les normes pour faciliter leur application.
- Intégrer la sécurité comme un élément central et non accessoire dans le processus de la conception.
- Promouvoir une collaboration étroite entre les concepteurs, les experts en sécurité et les parties prenantes.

Cette démarche proactive permettrait de surmonter les obstacles actuels tout en répondant aux attentes en matière de sécurité, d'innovation et de durabilité.

### **III.8. Les prescriptions des spécifications dans les cahiers des charges**

La conception dans un contexte industriel se caractérise par un processus cognitif complexe, amorcé par la traduction des besoins clients en spécifications techniques formalisées dans les cahiers des charges. D'après les travaux de [25], [26], [124], [125], [127], [128], [129], [130], ce processus se décline en plusieurs étapes et mobilise des méthodes visant à intégrer des exigences multiples, notamment en matière de sécurité et d'ergonomie, dans les systèmes à concevoir.

#### **III.8.1. Approches séquentielles et normatives**

L'approche traditionnelle repose sur l'application stricte des normes dans un cadre séquentiel. Cette démarche démarre par une analyse détaillée des besoins exprimés dans les cahiers des charges, avec un accent initial sur la robustesse des solutions techniques envisagées. Une fois le système conçu, des dispositifs additionnels de sécurité sont intégrés pour garantir un niveau de protection suffisant en vue de la mise en marché. Bien que méthodique, cette approche présente une limitation importante, elle considère la sécurité comme une contrainte additionnelle plutôt que comme une composante intrinsèque du processus de conception.

**III.8.2. Méthodes de conception innovantes**

En réponse aux limites des processus séquentiels, des méthodes modernes de conception, telles que l'ingénierie concourante et les « plateaux de conception », ont émergé. Ces approches privilégient une dynamique collaborative et itérative, exploitant les expériences et l'expertise des membres de l'équipe de conception. Bien qu'elles encouragent les initiatives individuelles et les compromis collectifs, elles peuvent être arbitraires, ce qui limite l'intégration systématique des normes de sécurité et la capitalisation des savoirs.

**III.8.3. Modèles cognitifs pour l'intégration de la sécurité**

Les modèles cognitifs décrits par [124], [125] mettent en lumière les mécanismes par lesquels les concepteurs construisent et enrichissent des structures de connaissances nouvelles. Ce processus repose sur une approche itérative d'évaluation et de raffinement des options et solutions. La représentation finale du système constitue le résultat d'une convergence progressive des représentations initiales et des apports collectifs des acteurs impliqués.

**III.8.4. Raisonnement basé sur les cas**

L'approche par raisonnement à base de cas (RBC) s'avère pertinente pour anticiper et résoudre des problèmes dans le processus de conception. Elle s'appuie sur des analogies avec des connaissances mémorisées pour élaborer des solutions adaptées aux objectifs définis. Toutefois, bien que cette méthode permette de simuler des scénarios variés, elle n'intègre pas toujours de manière systématique les dimensions sécuritaires et ergonomiques.

**III.8.5. Vers une intégration systématique de la sécurité et de l'ergonomie**

Un constat clé émerge de l'analyse des pratiques de conception : la sécurité et l'ergonomie sont encore souvent perçues comme des préoccupations secondaires, intégrées tardivement dans le processus. Cela souligne la nécessité de promouvoir des approches intégrées où ces dimensions deviennent des éléments constitutifs de la réflexion dès les phases amont de conception. Une telle évolution pourrait s'appuyer sur des cadres méthodologiques novateurs et sur une formalisation des interactions entre normes, besoins clients et objectifs techniques.

### **III.9. L'évolution des méthodes et approches de conception**

Les méthodes et approches de conception ont profondément évolué, redéfinissant les pratiques et les processus associés à la gestion des projets. Cette transformation peut être analysée à travers plusieurs axes majeurs [25], [26] :

- **De l'ingénierie traditionnelle à l'ingénierie concourante :**

Historiquement, les processus de conception suivaient un déroulement linéaire et séquentiel, chaque étape devant être finalisée avant d'entamer la suivante. Avec l'introduction de l'ingénierie concourante, cette méthodologie a laissé place à une approche intégrée où les phases se déroulent en parallèle. Cela permet une meilleure coordination et une accélération globale des projets.

- **Approches collaboratives et participatives :**

Les démarches modernes mettent l'accent sur la collaboration et l'implication active des parties prenantes. Des pratiques telles que les plateaux de conception, la conception distribuée et la conception participative permettent une synergie entre les experts de différents domaines dès le début du projet. Cette coopération favorise l'échange d'idées, l'innovation et la résolution de problèmes complexes.

- **Intégration des dimensions santé, sécurité et ergonomie :**

L'intégration précoce des aspects liés à la santé, à la sécurité et à l'ergonomie dans le processus de conception contribue à la création de produits et de systèmes plus sûrs, tout en améliorant le confort et la satisfaction des utilisateurs finaux.

- **Utilisation des technologies et des outils de simulation :**

Les avancées technologiques ont permis l'émergence de puissants outils de simulation et de modélisation. Ces outils permettent aux concepteurs de visualiser, tester et ajuster les conceptions avant leur mise en production, anticipant ainsi les problèmes potentiels et optimisant les performances du produit final.

- **Coopération et coordination interdisciplinaires :**

La gestion des projets complexes s'appuie désormais sur une coopération interdisciplinaire. La collaboration entre différentes spécialités est devenue un facteur clé de succès, garantissant une meilleure intégration des connaissances et des compétences nécessaires à la réussite des projets.

- **Évolution des dynamiques coopératives :**

La nature des interactions coopératives dans les projets de conception évolue au fil des étapes. Les débuts et fins de projets privilégient des approches communautaires favorisant des valeurs communes, tandis que les phases intermédiaires mettent l'accent sur l'exploitation des savoirs et des ressources issues d'autres domaines ou communautés.

Cette évolution témoigne d'un passage d'une approche centrée sur les processus à une vision plus holistique et intégrative, où la collaboration, la technologie et l'innovation jouent un rôle central. Ces nouvelles dynamiques permettent de répondre aux défis de plus en plus complexes auxquels les concepteurs sont confrontés.

### **III.10. Approche proactive dans la conception des systèmes techniques**

Dans les approches techniques classiques, les défauts de conception d'une installation opérationnelle sont corrigés de manière réactive. En règle générale, seuls les systèmes susceptibles d'avoir des conséquences importantes font l'objet de modifications correctives. La phase opérationnelle du système, au cours de son cycle de vie, sert de champ d'expérimentation afin d'identifier les défauts de conception. En revanche, l'approche proactive capitalise les connaissances acquises dans le cadre de projets antérieurs, qui servent de base au développement de nouveaux projets. Cette approche comprend un examen approfondi de l'environnement de travail attendu grâce à l'utilisation d'outils ergonomiques. Les déductions dérivées de cette analyse ergonomique complète devraient alors servir de base fondamentale à la conception de nouvelles installations [131], [25], [26]. L'ergonomie joue un rôle important dans une approche proactive de la conception, en particulier pour assurer la sécurité. La conception appropriée des interactions entre l'homme et le système est essentielle à la sécurité, à l'usabilité, à la productivité et à la santé [132]. L'intégration de l'ergonomie dans la méthodologie de conception peut aider à identifier et à atténuer les risques sur les utilisateurs. [133] L'ergonomie dans la conception fournit un examen complet des méthodes

### **Chapitre III : La sécurité proactive en conception : une approche clé pour un monde numérisé pour des installations pétrolières et gazières**

---

et techniques de conception ergonomiques, mettant l'accent sur l'importance d'incorporer les besoins de l'utilisateur et d'assurer une interaction saine, sûre, efficace et agréable entre l'homme et le système [134]. La conception centrée sur l'homme, étroitement liée à l'ergonomie, vise à optimiser le bien-être des personnes et les performances globales du système grâce à des interventions d'évaluation et de conception qui tiennent compte des caractéristiques, des capacités, des besoins et des attentes spécifiques des utilisateurs [135].

Combinée à des méthodes d'innovation, l'approche centrée sur l'humain favorise le développement de produits ou services conviviaux et attrayants, tout en améliorant la sécurité et l'expérience utilisateur [136].

L'intégration de l'ergonomie et de la sécurité dans une approche proactive est ainsi indispensable pour concevoir des systèmes, produits ou services non seulement fonctionnels et efficaces, mais également sûrs et confortables pour leurs utilisateurs.

Voici comment l'ergonomie et la sécurité sont généralement intégrées dans une approche proactive :

#### **III.10.1. Ergonomie**

- **Analyse des utilisateurs et de leurs tâches :**

Identifier les caractéristiques, les besoins et les limitations des utilisateurs afin de concevoir des produits parfaitement adaptés à leurs spécificités.

- **Conception centrée sur l'utilisateur :**

Placer l'utilisateur au cœur du processus de conception pour garantir que le produit soit intuitif, simple d'utilisation et qu'il réponde à leurs besoins spécifiques.

- **Tests et retours utilisateurs :**

Mettre en œuvre des tests réguliers avec les utilisateurs pour recueillir leurs feedbacks, puis améliorer les conceptions en fonction des informations recueillies.

- **Prévention de la fatigue et des blessures :**

Optimiser les conceptions pour réduire la fatigue physique et cognitive, en évitant les mouvements répétitifs et en améliorant les postures de travail.

### **III.10.2. Sécurité**

- **Analyse des risques :**

Identifier et évaluer les risques potentiels dès les premières étapes du processus de conception pour mieux les anticiper.

- **Conception infaillible :**

Adopter des stratégies de conception robustes qui réduisent les risques d'erreur humaine et atténuent les conséquences potentielles des erreurs.

- **Respect des normes et réglementations :**

Veiller à ce que la conception respecte les normes de sécurité en vigueur, les exigences réglementaires et les attentes des clients.

- **Plans d'urgence et de secours :**

Intégrer des dispositifs de sécurité permettant de faire face efficacement aux situations d'urgence ou aux pannes critiques.

### **III.10.3. Intégration dans une approche proactive**

- **Anticipation des besoins futurs :**

Concevoir des produits et systèmes avec une vision à long terme, en tenant compte des évolutions technologiques, des changements dans les comportements des utilisateurs et des nouvelles exigences en matière de sécurité.

- **Flexibilité et adaptabilité :**

Développer des systèmes pouvant être facilement ajustés ou mis à jour pour répondre à de nouveaux besoins ergonomiques ou sécuritaires des utilisateurs et travailleurs.

- **Innovation responsable :**

Garantir que les nouvelles technologies et les matériaux utilisés ne créent pas de problèmes inattendus en matière de sécurité ou d'ergonomie.

Généralement, une approche proactive intégrant l'ergonomie et la sécurité permet de concevoir des solutions durables, sûres et confortables, tout en anticipant les défis futurs. Elle assure que les produits, systèmes ou services soient à la fois performants et respectueux du bien-être des utilisateurs.



### **III.11. Prévion de l'usage futur dans la conception d'un système homme-machine**

La conception d'un système homme-machine nécessite une anticipation précise de son usage futur, permettant de prédire les réactions du système et les conditions physiques dans lesquelles il évoluera [137]. Pour cela, des ensembles multi-modèles combinant modèles numériques et algorithmes d'apprentissage automatique sont proposés [138].

#### **Points clés de l'approche proactive**

##### **1. Anticipation et innovation :**

- Intégrer des outils de prévision pour répondre aux besoins actuels et futurs des utilisateurs.
- Éviter la réutilisation systématique de solutions anciennes, qui peut limiter l'adaptation aux nouvelles exigences de sécurité et d'environnement [26], [25].

##### **2. Outils technologiques avancés :**

- **Modélisation et simulation** : Utilisation de modèles 3D et de simulations pour anticiper les activités futures et réduire les ajustements coûteux en phase d'exploitation.
- **Réalité virtuelle** : Technologie immersive pour tester des scénarios d'utilisation, prévenir les risques d'accidents et explorer différentes configurations avant la production physique.

- **Hypernetworks et modèles spécialisés** :

Le modèle Hypernetwork permet de représenter simultanément des points de vue multiples et des structures hiérarchiques dynamiques dans les systèmes homme-machine [139].

Le programme CAMMI (Cognitive Adaptive Man Machine Interface) dans l'aviation équilibre la charge de travail des opérateurs tout en répondant aux nouvelles exigences opérationnelles [140].

##### **3. Méthodologies d'ingénierie :**

La méthodologie HMSEM (Human-Machine System Engineering Methodology) identifie les faiblesses humaines et propose des recommandations pour minimiser les erreurs dans les systèmes complexes [141].

**4. Démarche pluridisciplinaire et centrée sur l'utilisateur :**

Combiner une évaluation technique approfondie et une approche centrée sur l'utilisateur permet de développer des équipements sûrs, efficaces et adaptés aux besoins réels.

Bien que cela demande un investissement initial plus important, cette démarche proactive réduit les ajustements post-lancement et les coûts associés.

**III.12. Prévion de l'évaluation ergonomique des conceptions**

Dans la conception d'un projet, la prévion de l'évaluation ergonomique de conception impliquant l'interaction homme-machine doit être réalisée afin d'améliorer la conception de point de vue ergonomique [118], [142]. Il est très avantageux d'impliquer les opérateurs qui exploiteront l'installation. Ils ont souvent de bonnes idées sur les contraintes et problèmes de conception actuelle et de la façon d'améliorer la conception et faciliter son usage pour eux et par conséquence réduire le potentiel de commettre des erreurs. Une bonne conception ergonomique doit au minimum inclure les points suivants :

1. Accès physique et cognitif aux secteurs de travail et aux équipements critiques ;
2. Identification d'équipement ;
3. Opérabilité des commandes ;
4. Éclairage ;
5. Lisibilité des instruments ;
6. Conditions thermiques (chaleur et froid);
7. Manutention de matérielle ;
8. Niveaux de bruit contre l'information audio ;
9. Complexité des affichages de l'information (indicateurs, écrans) ;
10. Complexité et synchronisation des actions critiques ;
11. Le confort de l'opérateur et les zones de repos ;
12. Affichage des informations ;
13. Ordre des actions pour les urgences.

Lors de la conception, la revue devrait examiner chaque facteur relatif à l'ergonomie et déterminer les conséquences possibles si un facteur n'est pas bien adressé. Si la conséquence n'affecte pas la sécurité du système, on peut garder le système sans modification de la conception initiale.

### Chapitre III : La sécurité proactive en conception : une approche clé pour un monde numérisé pour des installations pétrolières et gazières

---

Un exemple illustratif qui peut être fourni est le scénario dans lequel une vanne non critique nécessite une manipulation manuelle une fois tous les deux ans dans le but d'un arrêt général. La construction d'un échafaudage pour cette vanne particulière peut être extrêmement difficile et accablante voire des fois même impossible **Figure 03**. Cependant, il est important de noter que la mise en place d'une plate-forme permanente serait également une approche extrêmement coûteuse, compte tenu de la faible fréquence d'utilisation de la vanne. Une évaluation plus méticuleuse de la situation pourrait révéler que les dépenses liées à la construction d'un échafaudage seraient comparativement inférieures à celles liées à la construction d'une plate-forme permanente. La possibilité et les risques potentiels associés à la construction et à l'utilisation de l'échafaudage peuvent être estimés et quantifiés, ce qui facilite une analyse complète. En fin de compte, la décision finale concernant le choix d'un échafaudage ou d'une plate-forme permanente doit être prise après un examen approfondi de toutes les conséquences potentielles pouvant découler de la ligne de conduite choisie.

Si un risque existe encore, il est possible de l'adresser en moyennant d'autres approches. Par exemple il peut y avoir des pratiques spéciales ou des procédures afin de réduire le risque résiduel, mais il reste à signaler qu'une bonne stratégie de conception ne met jamais la sécurité du système en dépendance des qualifications physiques et mentales des opérateurs, et il est préférable de remédier la situation par une intervention automatique permanente et efficace comme l'exemple de l'ESD où le système intervient après une série de défaillance, car l'histoire nous a montré que la composante humaine est la plus vulnérable dans tous les systèmes.



**Figure 03 :** Vannes inaccessibles

### Chapitre III : La sécurité proactive en conception : une approche clé pour un monde numérisé pour des installations pétrolières et gazières

---

Un autre exemple qui peut être cité à titre d'illustration est la dimension et le positionnement d'un instrument de mesure. Les plans P&ID (schéma de tuyauterie et d'instrumentation) fournissent une représentation de l'instrument, mais ils ne fournissent aucune précision concernant les dimensions ou la position physique de cet indicateur. Si l'indicateur est de petite taille et n'est pas correctement aligné, l'opérateur trouvera des difficultés à lire avec précision les valeurs mesurées, ce qui entraîne des erreurs de lecture. **Figure 04**



**Figure 04 :** Deux conceptions pour la même situation

Une lecture erronée, en soi, ne présente pas de danger réel ; elle est plutôt l'amorçage de nombreux phénomènes qui peuvent aboutir à un incident non désiré, surtout si toutes les circonstances requises sont réunies. Il devient donc impératif de mettre en œuvre des mesures de précaution dans le processus de conception, afin d'interrompre la séquence d'événements potentiels qui pourraient finalement entraîner un accident.

La mise en place de barrières de sécurité permet de prévenir efficacement la survenue d'un accident. **Figure 05**

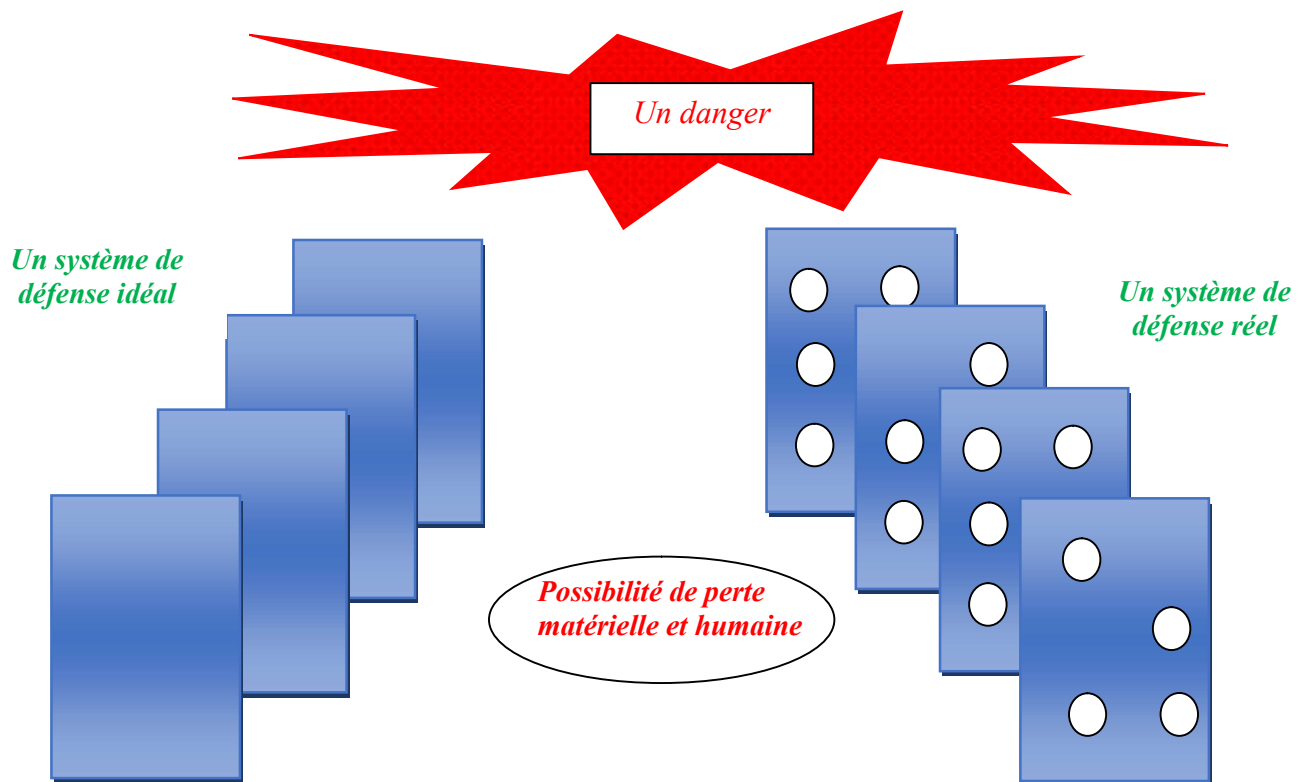


**Figure 05 :** La différence entre un système réel et système parfait

### **III.13. Définition du Système homme-machine**

Un système est une entité qui existe pour réaliser un certain but. Il est essentiel à la compréhension de l'ergonomie d'accepter un nouveau concept pour le terme "système".

Un système se compose de l'ensemble homme, machines et l'environnement de travail (tous ces éléments s'interagissent en synergie), ce système a pour accomplir un objectif, c'est à dire ces mêmes éléments ne pourraient pas fonctionner indépendamment [117], [25].

Dans un système homme-machine, le composant le plus variable, et le plus vulnérable, c'est l'homme. Par conséquent, pour aborder correctement la question de fiabilité de système, nous devons optimiser l'intégration et la compatibilité de ces composants (homme, machine) dans ce système.

Un système homme-machine est une combinaison d'un ou plusieurs êtres humains et un ou plusieurs composants physiques agissant l'un sur l'autre par l'introduction des entrées (consigne) pour avoir les réponses désirées. Dans la littérature, le concept commun de la

### Chapitre III : La sécurité proactive en conception : une approche clé pour un monde numérisé pour des installations pétrolières et gazières

---

machine est restreint et il devrait prendre virtuellement n'importe quel objet physique, dispositifs, instrument, équipement, installation afin de réaliser un objectif.

Le système homme-machine fait référence à l'interface entre l'homme et les machines, où l'homme interagit avec les machines et les contrôlent pour effectuer des tâches. Cela implique la conception de l'équipement, y compris l'interface homme-machine, les commandes, les écrans visuels et les écrans auditifs. Les exigences physiques des commandes de fonctionnement, telles que leur taille, leur forme et leur emplacement, sont des considérations importantes dans la conception du système homme-machine. Différents types de commandes, tels que des boutons, des commutateurs et des leviers, sont utilisés pour faire fonctionner les machines. Les étiquettes de commande et l'identification sont utilisées pour fournir des informations sur la fonction et le fonctionnement des commandes. **Les stéréotypes**, tels que le code couleur ou la forme, peuvent être utilisés pour transmettre un sens et faciliter la compréhension des commandes. L'accès pour faire fonctionner les machines doit être limité au personnel autorisé afin d'éviter tout fonctionnement accidentel. Les affichages visuels, tels que les écrans ou les indicateurs, fournissent des informations sur l'état et le fonctionnement des machines. Le montage des écrans dans un endroit et une orientation appropriée est important pour la visibilité et la facilité d'utilisation. La relation entre les commandes et les écrans visuels doit être intuitive et cohérente pour faciliter un fonctionnement efficace. Les écrans auditifs, tels que les alarmes ou les alertes, peuvent fournir des informations supplémentaires ou des avertissements aux opérateurs.

Une interaction typique entre l'homme et la machine est illustré dans la **Figure 06** ; d'après cette figure on constate comment les indicateurs et les affichages servent comme stimulant et ça va amorcer un processus d'information dans la tête de l'opérateur incluant la prise de décision, tout ça, va générer une action comme par exemple l'ouverture d'une vanne après avoir vu que le niveau dans un ballon est trop élevé.

#### III.13.1. Liens de Système

Les liens montrés dans la **Figure 06**, particulièrement entre l'homme et la machine, présentent un secteur dans lequel l'analyse des facteurs humains est souvent appliquée. Beaucoup de techniques sont conçues spécifiquement pour l'analyse de ces interactions et beaucoup de composants de cette figure ne peuvent pas être changés, comme la nature générale de la personne recevant et traitant l'information. Mais quelques composants peuvent être changés comme la conception d'une commande ou d'un afficheur pour présenter les

### Chapitre III : La sécurité proactive en conception : une approche clé pour un monde numérisé pour des installations pétrolières et gazières

informations de sorte qu'elles soient reçues et traitées d'une manière optimale. Souvent, dans la conception de beaucoup de systèmes, les liens de la **Figure 06** ne sont pas formellement considérés, menant ce dernier « qui est difficile à utiliser » à favoriser l'erreur humaine (système conducteur à l'erreur humaine) [118], [116].

Souvent les opérateurs sont blâmés de commettre des erreurs qu'on fait, les erreurs sont tout à fait prévisibles (comment cette information a été présentée). Cependant, nous disons toujours que l'erreur était due à l'erreur de l'opérateur, l'ergonomie essaie de réduire les conditions favorisant l'erreur humaine dans les systèmes en considérant la force et faiblesse de la composante humaine au cours de la conception pour minimiser l'occurrence des accidents.

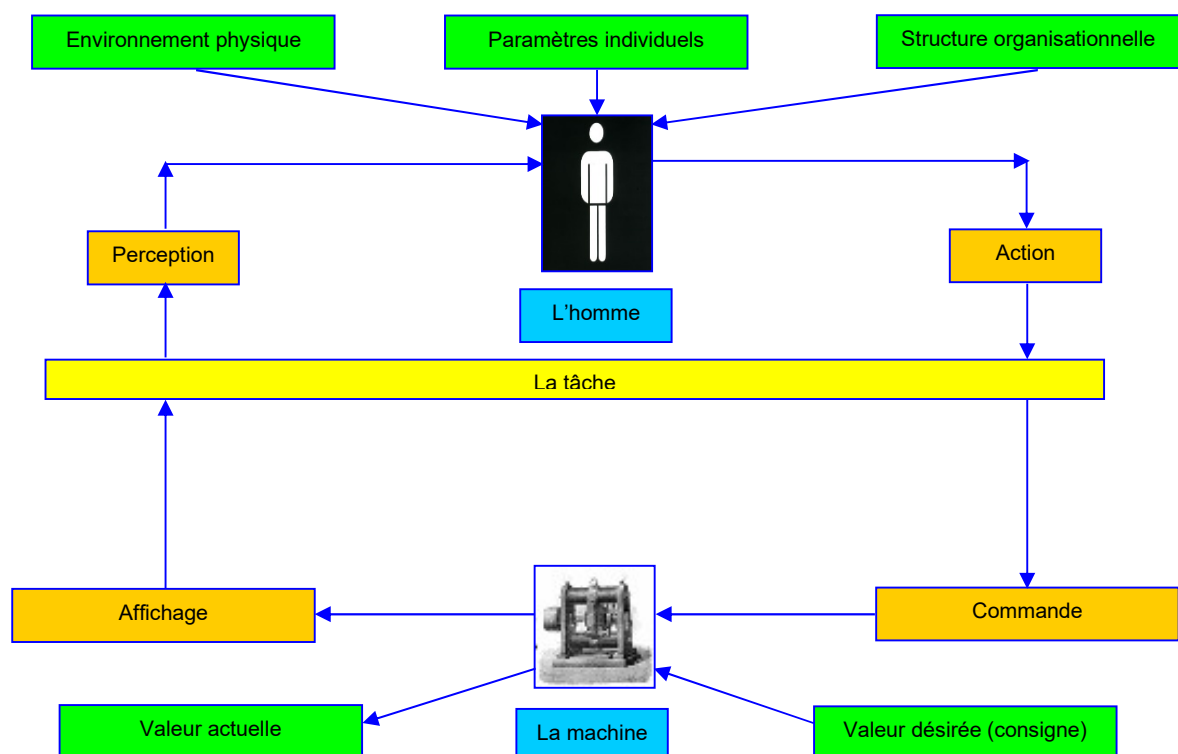


**Figure 06** Représentation schématique d'un système homme-machine

#### III.13.2. Description fonctionnelle de l'environnement du travail [143]

La **Figure 06** indique également que le système a lieu dans un contexte environnemental du travail. L'environnement du travail peut souvent jouer un rôle important dans le fonctionnement d'un système et ne devrait pas être ignoré. Selon la façon dont les frontières du système sont tracées, l'environnement peut s'étendre d'un poste de travail à un bureau, une salle de contrôle ou une organisation [143].

Notant que certains aspects de l'environnement physique dans lequel nous vivons et travaillons font partie de l'environnement naturel et ils ne peuvent pas être modifiés (on peut



### **Chapitre III : La sécurité proactive en conception : une approche clé pour un monde numérisé pour des installations pétrolières et gazières**

---

fournir une protection contre certaines conditions environnementales indésirables comme le froid, la chaleur et le bruit).

Bien que la nature de l'interaction des personnes avec leur environnement physique est essentiellement passif, l'environnement tend à imposer certaines contraintes à leur comportement (par exemple : la limitation de leur mobilité ou la restriction de leur champ de vision) ou pour prédéterminer certains aspects de comportement (comme se pencher vers le bas pour regarder dans un tiroir de dossiers). L'ergonomie essaye d'optimiser ces variables afin d'atteindre les objectifs voulus.

La description de l'environnement où se trouve un système est important à deux niveaux : le système peut être une cible d'agression de son environnement, et il peut être une source d'agression pour son environnement en cas d'accident. Comme il existe une interaction entre l'opérateur et son environnement physique de travail, il existe une autre interaction entre l'opérateur et son milieu sociale c.-à-d. les relations entre personnes.

L'environnement social dans lequel l'opérateur pratique son activité joue un rôle vital plus important que l'environnement physique pour augmenter la fiabilité et production d'une entité productive. Seulement par la bonne pratique, la bonne organisation, la bonne conception de poste de travail et la sélection d'une équipe cohérente, on peut améliorer l'environnement social de travail.

Les points suivant doivent être pris en considération dans la conception d'un poste de travail

- Chacun connaît son rôle dans le fonctionnement du système global
- Les interfaces entre les tâches sont bien définies
- Éviter qu'il y ait une compétition dans sens négatif pour ne pas tuer l'esprit de groupe par contre il faut promouvoir l'esprit de collaboration.
- Encourager le travail de groupe dans la conception des postes de travail.
- Éviter la contradiction entre les rôles de deux postes de travail.

#### **III.14. Prévision des critères ergonomiques dans la conception des milieux de travail**

##### **III.14.1. Introduction**

Cette section aborde trois facteurs clés qui influencent le bien-être et l'efficacité du personnel : la santé, la performance et le confort. La santé, en tant que priorité, inclut la gestion des risques professionnels, la prévention des maladies liées au travail et la promotion d'un mode de vie sain, contribuant ainsi à réduire les absences et à améliorer la satisfaction des employés. La performance, quant à elle, dépend directement de l'état physique et mental des



### **Chapitre III : La sécurité proactive en conception : une approche clé pour un monde numérisé pour des installations pétrolières et gazières**

---

employés : des collaborateurs en bonne santé et bien encadrés sont plus productifs, efficaces et engagés envers les objectifs de l'organisation. Enfin, le confort, qu'il soit lié à l'ergonomie des équipements ou à l'environnement de travail, influence le bien-être général, la motivation et la concentration.

L'interaction entre ces trois facteurs crée un cadre de travail propice à la productivité et au bien-être du personnel. Les conséquences de ces trois facteurs sont généralement combinées. Par exemple, une mauvaise santé peut entraîner une mauvaise performance et un confort réduit, ce qui rend le travailleur moins satisfait. Les facteurs de stress provenant de l'éclairage, de la température, du bruit, des vibrations ou de tout autre élément de l'environnement peuvent nuire aux personnels lorsqu'ils atteignent un certain niveau, même si l'effet ne peut pas apparaître ni pour la personne touchée ni pour l'observateur.

La plage optimale de confort et de performance est limitée. Par conséquent, essayer de s'adapter à des conditions situées à l'extérieur de l'intervalle idéale peut faire en sorte que les travailleurs utilisent plus d'efforts, ce qui peut entraîner une réduction des performances et du confort ; Par exemple, une personne qui essaie de voir les détails d'un schéma ou d'un plan lorsque le niveau d'éclairage est trop bas ou trop élevé par rapport à l'intervalle optimal d'éclairage.

#### **III.14.2. Température**

Le système de régulation thermique du corps humain est conçu pour maintenir une température interne relativement stable, communément appelée température centrale, qui se situe généralement entre 36,1 et 37,2 degrés Celsius. Cette plage est soigneusement maintenue pour éviter tout effet néfaste sur la santé et les performances, soulignant l'importance de maintenir la température de base dans une fourchette étroite et spécifique. Cependant, il convient de noter que la pratique d'activités physiques peut entraîner la génération de chaleur corporelle supplémentaire, ce qui complique encore le processus de régulation thermique du corps.

De plus, il est important de prendre en compte l'influence de l'humidité relative sur la température ambiante. Lorsque des niveaux d'humidité relativement élevés sont introduits, l'état qui en résulte peut entraîner de la fatigue et présenter divers risques pour la santé. Par conséquent, la combinaison d'une augmentation de la température ambiante et de l'humidité peut avoir des effets néfastes sur le corps humain, ce qui souligne l'importance de comprendre l'interaction entre ces variables.

### **Chapitre III : La sécurité proactive en conception : une approche clé pour un monde numérisé pour des installations pétrolières et gazières**

---

Afin d'atteindre l'équilibre thermique, le corps humain utilise plusieurs mécanismes. L'un de ces mécanismes implique l'augmentation du flux sanguin vers la peau, ce qui facilite le processus de transpiration, en particulier dans les périodes chaudes. La transpiration permet de dissiper l'excès de chaleur et de réguler la température du corps en réponse à des facteurs externes. À l'inverse, lorsqu'il fait face à des températures plus basses, le corps réduit le flux sanguin vers la peau et déclenche un processus de frisson pour maintenir la chaleur dans les extrémités. Ce mouvement de frisson aide à redistribuer la chaleur dans le corps, à prévenir les pertes de chaleur excessives et à assurer le maintien d'une température interne appropriée.

De plus, le corps produit de la chaleur par deux moyens principaux : le métabolisme et le travail physique. Le métabolisme fait référence aux processus chimiques qui se produisent dans le corps, tels que la dégradation des nutriments, qui produit intrinsèquement de la chaleur en tant que sous-produit. D'autre part, le travail physique, comme l'exercice ou le travail manuel, contribue également à la génération de chaleur dans le corps. Ensemble, ces processus jouent un rôle important dans le maintien de l'équilibre thermique et la régulation de la température interne.

Pour maintenir efficacement l'équilibre thermique interne, le corps procède à un échange de chaleur avec son environnement par le biais de quatre méthodes distinctes. Tout d'abord, la chaleur peut être gagnée ou perdue par conduction, qui implique le transfert de chaleur entre des objets en contact direct. Deuxièmement, l'échange de chaleur peut se produire par convection, la chaleur étant transférée par le mouvement de particules d'air ou de fluide. Troisièmement, le rayonnement constitue un autre moyen de transfert de chaleur, l'énergie thermique étant émise sous forme d'ondes électromagnétiques. Enfin, la chaleur peut être échangée par le biais du processus d'évaporation, qui implique la conversion de la sueur liquide en un état gazeux, dissipant ainsi la chaleur du corps. Ces quatre mécanismes d'échange de chaleur sont essentiels au maintien de l'équilibre délicat entre la température interne du corps et l'environnement extérieur.

- **Convection :**

La variation de température entre l'air ambiant et la peau joue un rôle important dans ce processus. Lorsque l'air est plus chaud que la peau, celle-ci absorbe la chaleur de l'air, entraînant ainsi un gain de chaleur pour le corps. En revanche, si la température de l'air est inférieure à celle de la peau, le corps perd de la chaleur.

- **Conduction :**

Cette modalité implique la disparité de température entre la surface de la peau et celle directement en contact. Par exemple, au contact d'une surface chaude, la peau absorbe la chaleur et peut subir des brûlures.

- **Évaporation :**

Le mécanisme de l'évaporation repose sur la différence entre la pression de vapeur d'eau de la peau et celle de l'environnement (ou l'humidité relative). Il s'agit d'un processus influencé par la transformation de l'eau de la peau en vapeur, dictée par les conditions atmosphériques.

- **Radiation :**

Ce processus fait référence à l'écart de température entre la peau et les surfaces environnantes. Par exemple, on se met debout au soleil, nous sommes exposés aux rayonnements solaires, qui sont absorbés par la peau.

#### **III.14.2.1. Effets de la chaleur sur la performance des tâches cognitives**

La chaleur et ses effets sur les performances ont été largement étudiés. Les températures élevées peuvent impacter les performances physiques et cognitives. Le stress thermique peut causer la fatigue et la faiblesse de la prise de décision [144]. Le type de tâches à accomplir détermine l'effet de la chaleur sur l'activité cognitive. 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 opérations de contrôle, comme la surveillance des procédés industriels sur le DCS pour les conditions dégradées. La chaleur n'affecte pas les performances dans les tâches cognitives simples. En fait, lorsque ces tâches cognitives simples ont été réalisées lors d'une brève exposition à la chaleur, une amélioration de la performance a été observée. D'autre part, la chaleur, qui commence entre 30 et 33 ° C, a un impact négatif sur les performances dans les tâches cognitives complexes.

L'impact de la chaleur sur la performance des tâches cognitives chez l'homme peut varier. Voici les aspects les plus courants :

**Diminution de la concentration :** Des températures élevées peuvent entraîner une diminution de la concentration et de l'attention. Les individus peuvent trouver plus difficile de se concentrer sur des tâches cognitives complexes.

### **Chapitre III : La sécurité proactive en conception : une approche clé pour un monde numérisé pour des installations pétrolières et gazières**

---

**Diminution de la vitesse de traitement :** La chaleur excessive peut ralentir la vitesse à laquelle le cerveau traite l'information. Cela peut se traduire par des retards dans la prise de décision et l'exécution des tâches.

**Fatigue :** L'exposition prolongée à des températures élevées peut provoquer une fatigue importante, ce qui peut rendre les individus moins vigilants et réactifs.

**Impact sur la mémoire :** La chaleur peut avoir un impact sur la mémoire, en particulier la mémoire de travail. Les individus peuvent avoir du mal à maintenir et à manipuler l'information temporaire nécessaire pour accomplir des tâches cognitives.

**Baisse de la motivation :** Les températures élevées peuvent également influencer la motivation. Les individus peuvent être moins enclins à entreprendre des tâches mentalement exigeantes lorsqu'il fait chaud.

**Stress thermique :** Lorsque la chaleur atteint des niveaux extrêmes, cela peut entraîner un stress thermique, qui peut compromettre davantage les capacités cognitives en provoquant une détresse physique.

Il est important de noter que la tolérance à la chaleur peut varier d'une personne à une autre, et des stratégies telles que l'hydratation adéquate, la ventilation et la régulation de la température ambiante peuvent atténuer certains de ces effets. En outre, la recherche sur ce sujet est en constante évolution, et de nouvelles découvertes peuvent apporter des nuances à notre compréhension des relations entre la chaleur et la performance cognitive.

#### **III.14.2.2. Effets de la chaleur sur la performance des activités physiques**

Les activités physiques, en particulier celles qui impliquent un effort important, lorsqu'elles sont pratiquées dans des environnements à la fois chauds et humides, peuvent provoquer des sentiments de fatigue extrême et d'épuisement complet à un rythme beaucoup plus rapide que lorsqu'elles sont pratiquées dans des conditions de nature plus modérée.

L'impact des températures élevées sur l'exécution des mouvements corporels et des efforts chez l'être humain se caractérise par une multitude de conséquences diverses et variées. Dans la section suivante, nous exposant les aspects les plus fréquemment observés :

**Augmentation de la fatigue :** Les températures élevées peuvent accélérer la fatigue physique, rendant l'exercice plus difficile et réduisant la capacité à maintenir des niveaux d'intensité élevés.

### **Chapitre III : La sécurité proactive en conception : une approche clé pour un monde numérisé pour des installations pétrolières et gazières**

---

**Déshydratation** : La chaleur peut entraîner une perte accrue de liquides par la transpiration, ce qui peut conduire à la déshydratation. Une déshydratation excessive peut avoir des effets néfastes sur la performance physique, y compris la réduction de l'endurance.

**Diminution de l'endurance** : Les températures élevées peuvent diminuer l'endurance en accélérant la fatigue musculaire. Cela peut entraîner une réduction de la capacité à maintenir des performances soutenues sur une période prolongée.

**Augmentation du stress thermique** : Lorsque la chaleur est combinée avec une activité physique intense, cela peut entraîner un stress thermique, mettant à rude épreuve le système de régulation de la température corporelle. Cela peut conduire à des problèmes tels que des coups de chaleur, qui sont des situations médicales d'urgence.

**Impact sur la performance cardiorespiratoire** : Les températures élevées peuvent augmenter la fréquence cardiaque et diminuer la capacité à prendre de grandes inspirations, ce qui peut influencer négativement la performance cardiorespiratoire.

**Réduction de la motivation** : La chaleur excessive peut entraîner une réduction de la motivation à s'engager dans des activités physiques, en particulier celles qui sont exigeantes sur le plan énergétique.

Pour améliorer les conditions dans lesquelles le travail est effectué et neutraliser l'impact négatif des températures élevées sur les performances au travail, il est important de garantir une régulation adéquate de la température ambiante et de garantir aux ouvriers un environnement confortable. Il est impératif de faire preuve de prudence lors de la pratique d'activités physiques, notamment en s'assurant d'une hydratation adéquate, en s'adaptant progressivement aux températures chaudes, en évitant de s'exposer à des températures excessivement élevées et en portant des vêtements appropriés. En outre, les individus doivent rester vigilants face aux symptômes du stress thermique et adopter des mesures appropriées pour se rafraîchir s'ils le jugent nécessaire.

#### **III.14.2.3. Effets du froid sur la performance**

Une augmentation de la température du corps peut entraîner un stress thermique, tandis qu'une légère réduction de la température corporelle peut provoquer un stress dû au froid. Néanmoins, le corps humain possède une plus grande capacité à supporter des niveaux de chaleur élevés qu'à compenser la dissipation thermique. Les professions impliquant le travail par temps froid comprennent l'exploitation des gisements pétroliers et gaziers, la réalisation et réparation des pipelines du transport du brut et du gaz, l'assainissement, et l'entreposage, en particulier dans les entrepôts frigorifiques. Tout comme l'impact de la chaleur sur les

### **Chapitre III : La sécurité proactive en conception : une approche clé pour un monde numérisé pour des installations pétrolières et gazières**

---

performances, les conséquences de l'exposition au froid sur diverses fonctions corporelles ne sont pas comprises de manière exhaustive, ce qui rend les résultats peu concluants. Cela peut être attribué aux facteurs d'interaction suivants : disparités dans le débit d'air, la température et l'humidité ; variations de la durée d'exposition ; différences dans le niveau d'exposition entre les différentes parties du corps ; et différences individuelles sur le plan des aspects biologiques et physiologiques.

#### **III.14.2.4. Effets du froid sur la performance des tâches cognitives**

Les études ; [145], [146] portant sur les répercussions du froid sur les fonctions cognitives ont dévoilé des conclusions diversifiées, surtout en ce qui concerne le temps de réaction et les activités mentales complexes. Néanmoins, ces résultats sont conditionnés par divers paramètres, tels que la température ambiante, la nature spécifique de la tâche accomplie, les compétences et l'expérience individuelles liées à cette tâche, ainsi que les modalités d'exécution dans des environnements froids. Une synthèse des observations sur l'effet du froid :

- Il a été constaté que les températures froides ont un impact défavorable sur les tâches cognitives, incluant l'attention, la mémoire et les aptitudes à la prise de décisions.
- L'exposition à des environnements froids peut induire une baisse des performances cognitives, car l'énergie du corps est dirigée vers le maintien de la température corporelle centrale.
- La vasoconstriction déclenchée par le froid restreint le flux sanguin vers le cerveau, ce qui peut influencer sur la fonction cognitive.
- Ces études ont démontré que les individus travaillant dans des environnements froids présentent des temps de réaction plus lents et une précision réduite dans les tâches cognitives.
- Ralentissement de la vitesse cognitive : Le froid peut influencer négativement la rapidité avec laquelle le cerveau traite l'information, entraînant une diminution de la célérité de la pensée et de la réactivité cognitive.
- Diminution de la vigilance : Les températures froides peuvent occasionner une baisse de la vigilance et de l'attention, rendant plus difficile le maintien de la concentration sur des tâches cognitives.
- Impact sur la mémoire : Le froid peut influencer sur la mémoire, notamment la mémoire de travail, conduisant les individus à éprouver des difficultés à maintenir et à

manipuler l'information temporaire nécessaire pour accomplir des tâches cognitives complexes.

- **Augmentation de la fatigue mentale :** Les conditions froides peuvent accroître la fatigue mentale, rendant ainsi les tâches cognitives plus exigeantes et potentiellement réduisant la performance au fil du temps.
- **Stress thermique :** Bien que le froid puisse induire un stress thermique différent de celui associé à la chaleur, des conditions extrêmement froides peuvent également générer des situations de stress physique, impactant négativement la performance cognitive.

Il est important de noter que la réaction individuelle au froid peut varier en fonction de divers facteurs, tels que la tolérance au froid, le choix de vêtements appropriés, et la durée d'exposition. Des stratégies, comme le port de vêtements chauds, le maintien d'une circulation sanguine adéquate, et la prise de pauses pour se réchauffer, peuvent atténuer certains de ces effets. Les effets néfastes du froid sur les tâches cognitives peuvent être mitigés en fournissant des vêtements de protection appropriés et en assurant un chauffage adéquat dans les lieux de travail.

Il est primordial que les employeurs prennent en considération l'impact du froid sur les performances cognitives et mettent en place des mesures pour en minimiser les conséquences, afin de préserver la productivité et la sécurité des travailleurs.

#### **III.14.2.5. Effets du froid sur la performance des activités physiques**

L'impact du froid sur le travail physique est très important. Une diminution de la température des membres ou du corps diminue les capacités physiques d'une personne. **John, et al.**, a expliqué qu'un facteur pouvant contribuer à la baisse de performance observée dans les tâches nécessitant une motricité fine et des mouvements précis, telles que les activités de dextérité, pourrait être la survenue de frissons [147]. Les aspects les plus observés sont :

- **La motricité :** L'exposition à des environnements froids peut entraîner une diminution des performances physiques et une détérioration des capacités motrices
- **Rigidité musculaire :** Les muscles peuvent avoir tendance à se contracter dans des conditions froides, ce qui peut réduire la souplesse et augmenter le risque de blessures musculaires.
- **Diminution de la vitesse et de la force musculaire :** Les températures froides peuvent ralentir la vitesse de contraction musculaire et réduire la force générée par les

### Chapitre III : La sécurité proactive en conception : une approche clé pour un monde numérisé pour des installations pétrolières et gazières

---

muscles, ce qui peut affecter la performance dans des activités exigeant une grande force ou rapidité.

- **Réduction de l'endurance** : Le froid peut augmenter la perception de l'effort physique, ce qui peut conduire à une fatigue perçue plus rapidement, diminuant ainsi l'endurance lors d'activités physiques prolongées.
- **Réduction de la coordination** : Les conditions froides peuvent altérer la coordination motrice, ce qui peut affecter la précision des mouvements et la performance dans des activités nécessitant une coordination fine.
- **Vasoconstriction** : La vasoconstriction provoquée par le froid peut réduire le flux sanguin vers les muscles, ce qui entraîne une diminution de la force et de l'endurance.
- **Risque de blessures** : Les muscles et les articulations peuvent être plus susceptibles aux blessures par le froid en raison de la réduction de la flexibilité et de la diminution de la sensibilité aux stimuli sensoriels. L'exposition prolongée au froid léger ou à un froid extrême peut augmenter le risque de blessures accidentelles et peut provoquer le décès dans les environnements durs et exigeants associés aux températures basses.
- **Hypothermie** : En outre, l'exposition prolongée au froid peut entraîner une hypothermie, une condition où la température corporelle baisse en dessous de la normale. Cela peut entraîner une diminution de l'énergie disponible pour les muscles, entraînant une fatigue plus rapide et une diminution des performances physiques.

En pratique, les gants et les chaussures spécifique et vêtements thermiques peuvent protéger les opérateurs dans les conditions de travail à basse température. Dans des températures extrêmement basses, 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. Afin de minimiser ces effets néfastes, il est primordial de prendre des mesures préventives telles que le port de vêtements appropriés, l'échauffement adéquat avant l'exercice, et la surveillance attentive des conditions météorologiques lors de la planification d'activités physiques en environnements froids en évitant une exposition prolongée à des conditions extrêmement froides.

Les employeurs devraient considérer l'impact des températures froides sur la performance physique et prendre des mesures pour prévenir les dégradations de la performance par des interventions nutritionnelles ou pharmaceutiques. Les adaptations individuelles et les stratégies d'ajustement à l'environnement froid peuvent varier d'une personne à une autre.



**III.14.2.6. Effets de l'environnement chaud sur la santé**

Une chaleur élevée a des effets négatifs sur la cognition, l'apprentissage et l'exécution des tâches, et elle augmente le risque de blessures et de maladies liées au travail. Il a été démontré que les températures élevées sont à l'origine d'un plus grand nombre de sinistres, en particulier chez les travailleurs manuels des industries en plein air. Les femmes, les travailleurs âgés et les travailleurs dans les zones hostiles sont les plus touchés par la chaleur. Les vagues de chaleur sont associées à des taux accrus de morbidité et de mortalité dans les populations humaines. Les travailleurs de la construction sont aux prises avec des problèmes de santé physique et psychologique en raison d'une exposition excessive à la chaleur, ce qui peut nuire à la productivité et augmenter le nombre d'accidents. Les mesures relatives à la santé et à la sécurité sur le lieu de travail, notamment les repos, l'hydratation et la climatisation dans lieu de travail fermé, peuvent atténuer l'incidence des blessures et des accidents liés à la chaleur [148][149][150][151][152].

L'exposition à la chaleur peut avoir deux effets sur la santé. Tout d'abord, une augmentation de la température à la surface de la peau peut provoquer des brûlures tissulaires. En observant et en incitant les gens à s'éloigner de la source de chaleur, cette situation est généralement contrôlable.

La seconde façon dont la chaleur peut nuire à la santé est plus grave et risquée. Elle se manifeste par une augmentation de la température corporelle, qui peut atteindre les 42 °C. Cela provoque une hyperthermie. Le métabolisme est accéléré par cette augmentation de la température corporelle, qui produit de la chaleur qui doit être dissipée. La poursuite de ce processus peut être fatale. Ce phénomène est appelé effet Q10 (effet coefficient de la température) qui signifie qu'une augmentation de 1 °C de la température du corps profond augmente le métabolisme de 10 % [153]. La chaleur produite n'est pas éliminée du corps pour deux raisons : l'exposition à des conditions chaudes et humides qui réduit l'évaporation de la sueur et l'utilisation de certains équipements de protection qui agissent comme des isolants.

Une exposition prolongée à des conditions environnementales chaudes et le stress thermique qui en découle peuvent entraîner une variété de maladies thermiques, le coup de chaleur étant la plus grave d'entre elles.

L'éruption cutanée, également appelée chaleur piquante, survient lorsque la peau présente une éruption de boutons rouges accompagnée de démangeaisons et de picotements intenses. Les crampes de chaleur, en revanche, sont caractérisées par des contractions musculaires résultant de la perte de sel. Ces contractions peuvent être très inconfortables et gêner les activités

### **Chapitre III : La sécurité proactive en conception : une approche clé pour un monde numérisé pour des installations pétrolières et gazières**

---

quotidiennes. Passant à l'épuisement dû à la chaleur, il résulte de la déshydratation et se caractérise par une sensation générale de maux de tête et une diminution des performances globales due à une faiblesse musculaire. De plus, les personnes qui souffrent d'épuisement dû à la chaleur peuvent également ressentir des vertiges et même vomir. Dans certains cas graves, les personnes peuvent même subir une perte de conscience pouvant entraîner la mort. Les blessures causées par la chaleur sont principalement le résultat d'un travail physique intense ou d'un exercice physique dans des conditions chaudes, où la durée d'exposition à des sources de chaleur accablantes et la présence de personnes très motivées et compétitives jouent un rôle important. De plus, la sensibilité au stress thermique et la capacité à le tolérer varient d'une personne à une autre en raison de plusieurs facteurs.

Tout d'abord, le sexe joue un rôle important dans la détermination de la tolérance d'une personne aux conditions environnementales chaudes, car les femmes présentent généralement des niveaux de tolérance inférieurs à ceux des hommes, ce qui les rend plus vulnérables aux maladies thermiques. Deuxièmement, l'âge influe également sur la vulnérabilité d'une personne aux maladies liées à la chaleur, les personnes âgées étant plus fragile aux personnes plus jeunes.

De plus, la forme physique est un autre déterminant de la tolérance à la chaleur, car les personnes qui sont en meilleure forme physique ont tendance à avoir une plus grande tolérance aux conditions ambiantes chaudes, jusqu'à un certain seuil. Cela peut être attribué au fait qu'une meilleure forme physique améliore la capacité du corps à réguler la température et à faire face plus efficacement au stress thermique. De plus, la quantité de graisse corporelle qu'un individu possède joue également un rôle dans la tolérance à la chaleur. La graisse corporelle agit comme une couche isolante qui empêche la libération de chaleur par le corps, ce qui rend plus difficile pour les personnes ayant des pourcentages de graisse corporelle plus élevés de dissiper efficacement la chaleur. De plus, le fait de transporter un excès de graisse corporelle augmente le niveau d'activité physique requis, ce qui entraîne une augmentation de la production de chaleur corporelle et des dépenses énergétiques.

Enfin, la consommation d'alcool peut avoir des effets néfastes sur la tolérance à la chaleur. La consommation d'alcool affecte la fonction nerveuse périphérique, diminuant ainsi la capacité de l'organisme à réagir au stress thermique et à réguler efficacement la température. De plus, l'alcool agit comme un diurétique, ce qui entraîne une augmentation de la perte de liquide et de la déshydratation, ce qui accroît le risque de maladies liées à la chaleur.

**III.14.2.7. Effets de l'environnement froid sur la santé**

L'exposition au froid peut entraîner une diminution de la température interne du corps, ce qui peut à son tour présenter un risque important pour la santé et le bien-être des travailleurs. Lorsque la température corporelle centrale baisse en dessous du seuil critique de 35 °C, on parle d'hypothermie ou de stress dû au froid. Lorsque la température corporelle descend en dessous de ce point critique, le risque de désorientation, d'hallucinations et même de perte de conscience augmente considérablement. De plus, cette situation dangereuse peut entraîner une arythmie cardiaque, un arrêt cardiaque, si la température interne continue de chuter.

Lorsqu'une personne est exposée au froid, le corps déclenche immédiatement une série de réponses physiologiques pour combattre les effets néfastes de la baisse de température. La première réaction est communément appelée frisson, qui se caractérise par une activité musculaire accrue et des contractions visant à générer rapidement de la chaleur. L'intensité et la fréquence des frissons augmentent à mesure que la température ambiante diminue, ce qui entraîne une réaction de frisson exhaustive. Cependant, une fois que la température corporelle atteint 30 à 33 °C, le tremblement progressif des frissons est remplacé par une rigidité musculaire. La deuxième réponse physiologique au stress dû au froid est la constriction des vaisseaux sanguins, également appelée vasoconstriction. Ce processus entraîne un rétrécissement important des vaisseaux sanguins périphériques, principalement ceux situés dans la peau et les extrémités. À mesure que la température corporelle continue de baisser, le flux sanguin vers ces régions peut cesser complètement, ce qui entraîne une augmentation de la pression artérielle. Les principaux objectifs de ce mécanisme de vasoconstriction sont doubles : tout d'abord, rediriger le sang chaud loin de la peau froide, comme les mains, les doigts et le visage, et vers les organes internes. Cette redistribution du sang permet de minimiser la perte de chaleur corporelle. Deuxièmement, la constriction des vaisseaux sanguins augmente la capacité d'isolation de la peau jusqu'à six fois en limitant le flux sanguin. Cependant, à mesure que la constriction des vaisseaux sanguins s'intensifie et que le flux sanguin est restreint, les zones exposées, notamment les mains, les doigts, les orteils, le visage et le nez, se rapprochent rapidement de la température de l'air ambiant. Cette situation critique peut entraîner le gel des tissus corporels, ce qui peut entraîner des blessures dues au froid.

L'exposition au froid peut avoir des effets néfastes sur l'organisme et présenter des risques suivants :

### **Chapitre III : La sécurité proactive en conception : une approche clé pour un monde numérisé pour des installations pétrolières et gazières**

---

- Les basses températures peuvent avoir divers effets sur la santé, notamment un risque accru d'hypothermie et d'engelures.
- L'exposition au froid peut également entraîner des problèmes respiratoires, tels que des bronchites et des crises de l'asthme.
- Le froid peut provoquer une vasoconstriction, ce qui peut entraîner une augmentation de la pression artérielle et du rythme cardiaque.
- Une exposition prolongée au froid peut affaiblir le système immunitaire et rendre les travailleurs plus vulnérables aux infections.
- Le froid peut également avoir des effets psychologiques, tels qu'une augmentation des sentiments de dépression et d'anxiété.

Il est important de prendre des mesures appropriées pour se protéger du froid, notamment en s'habillant convenablement, en évitant l'exposition prolongée au froid, en prenant des précautions supplémentaires pour les travailleurs vulnérables. Les signes d'hypothermie ou d'autres problèmes liés au froid doivent être traités sérieusement et rapidement.

#### **III.14.3. L'éclairage au milieu du travail :**

L'optimisation de l'éclairage dans les contextes professionnels s'avère essentielle pour garantir la sécurité, la productivité et le bien-être des travailleurs. Une conception réfléchie de l'éclairage peut avoir des répercussions remarquables sur les performances et le confort des travailleurs. Divers aspects doivent être pris en compte pour assurer un environnement lumineux optimal. Il est important de maintenir des niveaux d'éclairage appropriés, les recommandations variant en fonction des types de tâches effectuées, mais généralement plus élevées pour des activités détaillées. Une distribution uniforme de la lumière dans tout l'espace de travail est fondamentale pour éviter les zones d'ombre et les contrastes excessifs, potentiellement sources de fatigue oculaire.

Réduire l'éblouissement est primordial, nécessitant l'évitement de sources lumineuses directes et l'utilisation d'équipements anti-éblouissement. La personnalisation des espaces de travail en permettant aux employés de régler leur éclairage selon leurs besoins favorise le confort et la productivité, notamment avec l'utilisation de lampes de bureau ajustables.

L'intégration de lumière naturelle dans la mesure du possible, par le positionnement judicieux de fenêtres, peut améliorer l'ambiance générale et contribuer au bien-être des travailleurs.

Enfin, des évaluations régulières de l'éclairage en milieu professionnel sont nécessaires pour s'assurer de sa conformité aux besoins des travailleurs, en tenant compte des ajustements liés

### **Chapitre III : La sécurité proactive en conception : une approche clé pour un monde numérisé pour des installations pétrolières et gazières**

---

aux évolutions des tâches et aux retours d'expérience des travailleurs. Ainsi, une planification réfléchie de l'éclairage peut contribuer à l'amélioration de la santé, du confort, et de la productivité des travailleurs, tout en favorisant un environnement de travail sécurisé.

#### **III.14.4. Bruit**

Le bruit peut provenir de diverses sources telles que les activités industrielles, les transports, la construction ou même les activités quotidiennes. Il est important de comprendre l'impact du bruit et de prendre des mesures pour en atténuer les effets, en particulier dans les environnements de travail. Le bruit est un élément qui imprègne notre environnement de travail et de vie quotidienne, émanant de divers équipements, machines et outils [154]. Le bruit est généralement défini comme un son indésirable et désagréable qui peut avoir des effets néfastes sur les individus et sur l'environnement. Il est souvent associé à des connotations négatives, telles que le fait d'être perturbateur, nocif et polluant moderne affectant la santé et le bien-être. Bien que le son soit généralement perçu comme un signal acoustique agréable, le bruit se caractérise par sa nature disharmonique, ses interférences avec la concentration et son potentiel de provoquer des problèmes à court terme tels que des troubles auditifs, le stress et le manque de sommeil, ainsi que des conséquences à long terme, notamment des problèmes cardiovasculaires, endocriniens et comportementaux. La perception du bruit est passée d'une focalisation uniquement sur le contrôle à la prise en compte de ses rôles positifs potentiels et de son utilisation, mettant en évidence la nécessité d'une compréhension et d'une gestion complètes du bruit dans divers contextes.

La classification d'une source sonore comme étant du bruit ou non, repose sur la réaction subjective des individus. En outre, une source sonore considérée comme du bruit à une occasion ne sera pas nécessairement classée comme telle à une autre occasion ou dans un contexte différent.

Le son, quant à lui, est défini par deux paramètres clés : la fréquence et l'intensité. Cela est dû au fait que le son se manifeste par une stimulation vibratoire transmise par l'air. La fréquence désigne l'énergie acoustique qui correspond au nombre de vibrations survenant en une seconde, mesuré en Hertz (Hz). Un seul hertz correspond à un cycle par seconde.

Les limites de fréquence de l'oreille humaine sont délimitées par une plage de 2 à 20 000 Hz. Subjectivement, les individus perçoivent la fréquence comme une étape discrète. L'intensité, quant à elle, est étroitement liée à la fluctuation de la pression acoustique générée par la source sonore. Les gens perçoivent subjectivement l'intensité comme un son. L'intensité est quantifiée en termes de niveau de pression acoustique (SPL-sound pressure level), exprimé en

### **Chapitre III : La sécurité proactive en conception : une approche clé pour un monde numérisé pour des installations pétrolières et gazières**

---

unités logarithmiques appelées décibels (dBA). Compte tenu de la nature logarithmique, chaque augmentation de 10 dBA de puissance (intensité) entraîne une multiplication par dix. Par exemple, 60 dBA sur l'échelle des décibels ne sont pas deux fois plus intenses que 30 dBA, mais mille fois plus intenses.

L'impact du bruit dans les contextes professionnels est significatif sur la santé, la sécurité, et le bien-être des travailleurs, justifiant la nécessité d'une gestion adéquate des niveaux sonores pour instaurer un environnement de travail optimal. Plusieurs aspects doivent être pris en compte dans cette démarche. En premier lieu, les niveaux de bruit admissibles, régissant les normes établies par les agences de santé et de sécurité, visent à prévenir des problèmes tels que la perte auditive, le stress, la fatigue, et une baisse de la performance cognitive. Une évaluation des risques liés au bruit, incluant l'identification des sources sonores, des niveaux de décibels, et de la durée d'exposition, permet de formuler des stratégies de gestion adaptées. En vue de protéger les travailleurs, l'offre d'équipements de protection auditive, tels que des bouchons d'oreilles ou des casques antibruit, dans les zones bruyantes est préconisée, bien que la priorité soit accordée à des solutions réduisant le bruit à la source. L'aménagement acoustique des espaces de travail, impliquant l'utilisation de matériaux absorbants, contribue à minimiser la réverbération et à créer un environnement moins bruyant. Une organisation judicieuse des espaces, à travers l'utilisation de cloisons, de tapis, et d'autres éléments d'aménagement, vise à réduire la propagation du bruit. Des politiques internes de gestion du bruit, intégrant des directives sur l'usage d'équipements bruyants, des horaires de travail flexibles pour atténuer l'exposition au bruit, et la délimitation d'espaces dédiés aux activités sonores, sont recommandées. La sensibilisation des employés aux risques associés au bruit et l'information sur les mesures de protection et les meilleures pratiques représentent des aspects essentiels, tout comme la réalisation régulière de mesures des niveaux sonores pour garantir l'efficacité des mesures de gestion mises en place, avec des ajustements si nécessaires. En privilégiant une approche proactive, les entreprises peuvent contribuer à améliorer la qualité de vie au travail tout en assurant la santé et la productivité de leur personnel.

#### **III.14.4.1. Effets du bruit sur la santé :**

Le bruit, défini comme un son indésirable, peut avoir de nombreuses répercussions négatives sur la santé et le bien-être. Une exposition prolongée à des niveaux sonores excessifs peut endommager le système auditif et entraîner une perte d'audition. Sur le lieu de travail, la pollution sonore constitue une source de stress et de fatigue, réduisant ainsi la productivité des employés. De plus, le bruit peut avoir des effets physiologiques notables, notamment en

### **Chapitre III : La sécurité proactive en conception : une approche clé pour un monde numérisé pour des installations pétrolières et gazières**

---

contribuant à l'augmentation de la pression artérielle et du rythme cardiaque, ce qui accroît les risques de troubles cardiovasculaires. Enfin, il perturbe les habitudes de sommeil et provoque des troubles du sommeil, nuisant à la santé globale et aux capacités cognitives des travailleurs.

#### **III.14.5. Vibration**

Les vibrations font référence au mouvement constant ou intermittent d'un objet en position fixe. Les vibrations prédictibles, comme celles observées dans des équipements tels que des pompes, des compresseurs ou des scies électriques, exhibent une forme d'onde récurrente suivant un schéma cohérent. En revanche, les vibrations aléatoires se distinguent par leur caractère irrégulier et imprévisible, et se manifestent fréquemment dans des situations pratiques, comme les vibrations perçues dans les véhicules tels que les camions, les tracteurs, et les trains. Les vibrations sur le lieu de travail peuvent provenir de diverses origines, allant des machines industrielles et des outils électriques aux véhicules et aux activités humaines. Les répercussions de ces vibrations sur la santé et le bien-être des travailleurs sont importants et entraînent de conséquences néfastes.

Les éléments complets qui doivent être pris en compte en ce qui concerne les vibrations sur le lieu de travail comprennent plusieurs aspects [155]. Tout d'abord, une exposition constante aux vibrations peut entraîner une multitude de problèmes de santé, notamment des troubles musculo-squelettiques, des lésions nerveuses et des problèmes de dos. Ces conséquences sont souvent étroitement liées à des activités qui génèrent des vibrations fréquentes et prolongées. Des institutions telles que les organismes de réglementation et les organisations de normalisation ont mis en œuvre des normes et des règlements pour limiter l'exposition des travailleurs aux vibrations.

- Un exemple est l'Organisation internationale de normalisation (ISO), qui a élaboré des normes telles que ISO 2631 et ISO 5349 qui fournissent des lignes directrices pour évaluer et contrôler l'exposition humaine aux vibrations.
- L'Office de la sécurité et de la santé au travail (OSHA) a établi des règlements, tels que la norme de contrôle de l'énergie dangereuse, qui comprend des dispositions pour contrôler l'exposition aux vibrations.
- Dans l'Union européenne, la directive européenne 2002/44/CE établit des exigences minimales en matière de santé et de sécurité en ce qui concerne l'exposition des travailleurs aux risques découlant des vibrations.

### Chapitre III : La sécurité proactive en conception : une approche clé pour un monde numérisé pour des installations pétrolières et gazières

Ces normes et règlements visent à protéger les travailleurs contre les effets néfastes des vibrations sur la performance et la santé en fournissant des lignes directrices pour l'évaluation des risques, les mesures de contrôle et les limites d'exposition.

L'une des stratégies les plus efficaces pour atténuer les effets des vibrations consiste à diminuer leur intensité à la source, ce qui implique l'utilisation d'équipements équipés de systèmes d'absorption des vibrations.

De plus, la mise en œuvre de matériaux isolants et d'amortisseurs peut contribuer de manière significative à diminuer la transmission des vibrations aux structures et aux équipements.

La formation des travailleurs concernant les risques associés aux vibrations et la fourniture d'une formation sur les pratiques optimales pour atténuer les effets indésirables constituent une étape importante dans ce domaine.

Une surveillance constante de l'exposition aux vibrations, associée à des évaluations complètes, joue un rôle essentiel pour garantir l'efficacité des mesures de contrôle, en mettant l'accent sur la santé des personnes exposées à de telles vibrations.

En fin de compte, la conception de postes de travail ergonomiques, comprenant des sièges et des espaces de travail adaptés, peut contribuer de manière significative à réduire l'exposition des travailleurs aux vibrations. Il demeure primordial de mettre en œuvre des mesures adaptées à chaque environnement professionnel, en tenant compte des types d'équipements utilisés et des tâches effectuées. **Figure 07 :**

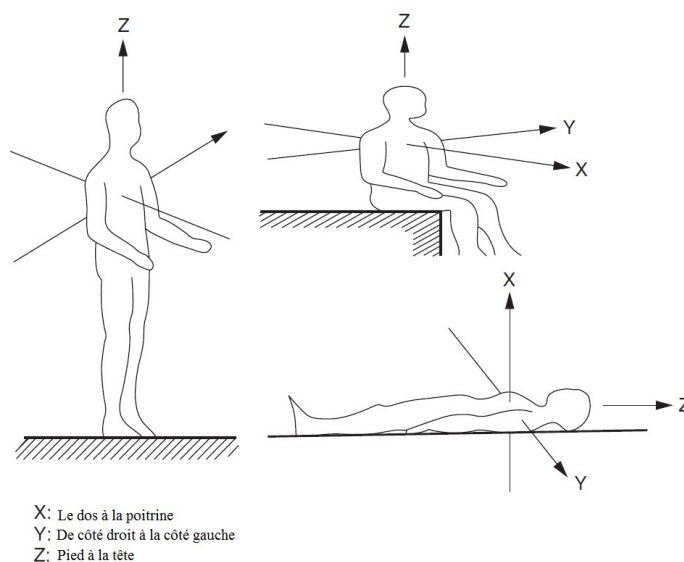


**Figure 07 :** La direction de vibration par rapport au torse



#### **III.14.5.1. Effets des vibrations sur la santé**

Les vibrations sur le lieu de travail ont été identifiées comme un risque professionnel important ayant des effets néfastes sur la santé des employés. Des études ont montré que l'exposition à des vibrations industrielles peut entraîner une mauvaise adaptation mentale, des troubles psycho-émotionnels et une mauvaise qualité de vie, ainsi que des problèmes physiques tels que des troubles cardiovasculaires, des perturbations du système nerveux et une perte auditive professionnelle [156][157][158][159][160][161][162]. Une exposition prolongée aux vibrations des machines et des outils peut entraîner des affections telles que le syndrome des vibrations main-bras et des effets des vibrations sur l'ensemble du corps, provoquant des douleurs et une réduction de l'apport sanguin aux extrémités. L'intensité du bruit et des vibrations sur les lieux de travail modernes, notamment en raison des masses rotatives déséquilibrées et des machines à grande vitesse, constitue une grave menace pour le bien-être général des travailleurs, ce qui souligne l'importance de mettre en œuvre des mesures de contrôle efficaces pour atténuer ces risques pour la santé.

#### **III.14.6. Le Stress au travail**

##### **III.14.6.1. Introduction**

Une certaine dose de stress est essentielle au bon fonctionnement du corps humain. Cependant, un stress excessif peut avoir des effets néfastes sur l'état physique et mental d'une personne et, en fin de compte, compromettre son état de santé général et son bien-être. Bien que le stress soit largement reconnu comme une composante courante de la vie moderne, définir précisément le stress, identifier ses causes, symptômes et effets, demeure une question complexe. On le décrit fréquemment comme une réponse élémentaire, émanant de la période préhistorique, aux éléments organisationnels et sociaux contemporains désignés sous le terme de facteurs de stress.

##### **III.14.6.2. Définitions du stress**

Le stress professionnel peut être défini comme étant des réactions physiologiques et psychologiques néfastes qui se manifestent lorsque les demandes professionnelles ne correspondent pas aux compétences, aux atouts ou aux besoins du travailleur. Cette forme de stress peut avoir des conséquences préjudiciables sur le bien-être du travailleur, pouvant entraîner des complications pour la santé et des dommages physiques [163].

#### **III.14.6.3. Les effets du stress**

Dans des situations normales, les individus devraient avoir la capacité de trouver de nouveaux équilibres et d'ajuster leurs réponses à de nouvelles circonstances. Le stress ne doit pas être automatiquement perçu comme un phénomène négatif, et il serait erroné de se focaliser uniquement sur ses aspects défavorables. Un niveau modéré de stress peut agir comme un moteur important de motivation, facilitant l'adaptation à des situations inédites.

En considérant la santé comme un équilibre dynamique, le stress est intégré à ce processus. Une interaction avec autrui et l'environnement est inévitable pour maintenir la santé. Seuls les excès de stress devraient être considérés comme potentiellement pathologiques. Un certain niveau de stress est normal et bénéfique, tant dans le cadre professionnel que personnel. Cependant, si le stress est excessif, persistant, récurrent, et qu'une personne ne parvient pas à le gérer, le stress peut alors devenir problématique, entraînant des troubles physiques et psychologiques.

La réaction au stress des humains est innée et génétiquement programmée pour les préparer à une activité physique intense comme le combat ou la fuite. Cela accélère le rythme cardiaque et respiratoire et dirige le sang vers les muscles plutôt que vers d'autres organes. Pour fournir une énergie nécessaire, la libération d'adrénaline et de noradrénaline augmente les niveaux d'acides gras et de glucose dans le sang. Ces réponses naturelles ne sont plus efficaces face aux pressions quotidiennes rencontrées en vie professionnelle et familiale. En conséquence, des niveaux de stress malsains peuvent provoquer divers troubles, tels que la dépression, la fatigue chronique, l'anxiété, l'insomnie, les migraines, les troubles émotionnels, les allergies et l'abus de consommation du tabac et de l'alcool. Les problèmes de santé tels que les maladies cardiaques, l'hypertension, les accidents vasculaires cérébraux, les ulcères peptiques, les maladies inflammatoires de l'intestin et les troubles musculo-squelettiques peuvent être causés par le stress à long terme.

#### **III.14.6.4. Le Stress au travail et autres facteurs**

Le stress lié au travail affecte inévitablement chacun à un moment donné. Bien que ce phénomène ne soit pas nouveau, il prend une dimension de plus en plus mondiale, touchant toutes les nations, professions et catégories de travailleurs, qu'ils soient employés de bureau ou manuels, tout en impactant les familles et la société dans son ensemble. Des données indiquent que de nombreuses professions, couvrant un large éventail, sont de plus en plus exposées au stress professionnel.

### **Chapitre III : La sécurité proactive en conception : une approche clé pour un monde numérisé pour des installations pétrolières et gazières**

---

Divers autres facteurs contribuent à la vulnérabilité au stress, tels que l'âge (les adolescents et les travailleurs âgés étant souvent moins aptes à gérer les situations stressantes), le genre, le handicap, et le contexte de vie et de travail dans des conditions socio-économiques difficiles, souvent en l'absence de soutien social. Une combinaison de facteurs, à la fois liés au travail et à des aspects extérieurs, contribue souvent à rapprocher les individus du point où ils ne peuvent plus faire face efficacement au stress professionnel. Une interaction fréquente se produit notamment entre les pressions professionnelles et les responsabilités familiales.

Le stress au travail est un problème courant dans divers environnements de travail, en raison de facteurs tels que la charge de travail, les mauvaises conditions de travail, le manque de contrôle et l'instabilité de l'emploi. Le stress au travail peut entraîner des symptômes physiques, psychologiques et comportementaux, ayant un impact négatif à la fois sur les employés et sur les organisations. Dans des contextes spécifiques, des facteurs internes tels que les habitudes d'exercice et des facteurs externes tels que les exigences professionnelles jouent un rôle important dans l'influence du niveau de stress au travail chez les travailleurs. De plus, les facteurs de stress peuvent être classés en aspects personnels, physiques, sociaux, liés aux tâches, structurels et liés aux jeux de rôle, les difficultés professionnelles étant un facteur de stress majeur. Il est essentiel de lutter contre le stress au travail par des interventions aux niveaux individuel et organisationnel pour améliorer le bien-être et la productivité des employés. Diverses études ont établi des liens entre le stress au travail, la violence au travail, la toxicomanie, y compris la consommation de drogues et d'alcool, et la consommation de tabac. Ces résultats indiquent que le stress au travail influe de manière significative sur l'émergence de facteurs néfastes, tant au niveau individuel qu'organisationnel [164].

#### **III.14.6.5. Le coût du stress**

Le stress entraîne des dépenses importantes, tant pour les individus que pour les établissements, et exerce ainsi une influence sur la société dans son ensemble.

Au niveau individuel, outre les graves problèmes de santé qu'elle entraîne, l'incapacité à faire face à la situation professionnelle et sociale peut entraîner une baisse des résultats professionnels, affectant les perspectives d'avancement professionnel et potentiellement la sécurité de l'emploi. Le stress peut entraîner une tension importante dans les relations familiales et personnelles, ce qui pourrait éventuellement aboutir au découragement ou à des conséquences encore plus graves, telles que la mort ou le suicide.

### Chapitre III : La sécurité proactive en conception : une approche clé pour un monde numérisé pour des installations pétrolières et gazières

Pour les établissements et les entreprises, les dépenses liées au stress peuvent se matérialiser de différentes manières. Cela englobe l'absentéisme, l'augmentation de la rotation du personnel et les coûts connexes liés au recrutement et à la formation du nouveau personnel. De plus, le stress peut avoir des répercussions importantes sur la productivité et l'efficacité, nuisant ainsi à la performance globale de l'organisation.

#### III.14.6.6. Sources et causes du stress

Le stress au travail peut provenir de diverses sources et causes, comme le soulignent les travaux de recherche [165][166][167][168]. Les facteurs qui contribuent au stress au travail sont notamment les relations interpersonnelles, les obstacles au développement de carrière, la structure organisationnelle et les problèmes climatiques, les conflits hiérarchiques, les possibilités d'avancement limitées, une spécialisation et une centralisation élevées, une mauvaise communication, des évaluations de performance inexactes et une rétroaction inadéquate. Certaines professions telles que les conducteurs de transport, les cadres, les professionnels de santé et les personnes exerçant des professions dangereuses sont particulièrement exposées au stress professionnel, ce qui entraîne une mauvaise adaptation psychologique et le développement de mauvaises habitudes en tant que mécanismes d'adaptation. De plus, les exigences professionnelles, telles que la surcharge de travail, l'ambiguïté des rôles, le manque de soutien des collègues et le manque de possibilités d'évolution de carrière, contribuent de manière significative au niveau de stress des employés de diverses organisations du travail. Il est essentiel de comprendre ces diverses sources de stress pour mettre en œuvre des mesures préventives et des interventions efficaces visant à atténuer l'impact négatif du stress au travail sur les individus et les organisations. **Le tableau 01** de la littérature fournit une compilation succincte d'exemples illustratifs de sources de stress.

**Tableau 01. Sources de stress [143]**

| Catégorie                        | Facteurs                                                                                                                                                                                                                                      | Mène à                                                                                                                                                            |
|----------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Environnement de lieu de travail | <ul style="list-style-type: none"><li>• Manque de contrôle</li><li>• Manque de gestion et de soutien équitables.</li><li>• Surcharge de travail en termes de quantité (trop à faire ou sous un délai strict et court) et de qualité</li></ul> | <ul style="list-style-type: none"><li>✓ Insatisfaction professionnelle</li><li>✓ Tension émotionnelle et physiologique</li><li>✓ Augmentation du stress</li></ul> |

### Chapitre III : La sécurité proactive en conception : une approche clé pour un monde numérisé pour des installations pétrolières et gazières

|                           |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
|---------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                           | <p>(les exigences de tâches dépassent les capacités individuelles où l'individu se sent incapable)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Sous-charge du travail : les connaissances et les capacités de l'individu dépassent de loin les exigences professionnelles</li> <li>• L'incertitude du travail, l'ambiguïté des tâches, les changements technologiques et l'insécurité de l'emploi</li> <li>• Manque d'engagement organisationnel envers les employés, en termes de loyauté, de développement de carrière (formation, compétences, sécurité)</li> <li>• Insécurité de l'emploi liée à la rationalisation des entreprises, des fusions, de la réduction des effectifs, de la faillite et des pratiques d'entreprise non conformes à l'éthique</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Augmentation du stress et de la vulnérabilité aux ulcères de l'estomac et à l'hypertension artérielle</li> <li>✓ Augmentation du stress, de l'ennui</li> <li>✓ Diminuer les sentiments de compétence et d'estime de soi</li> <li>✓ Augmentation du stress</li> <li>✓ Augmentation du stress, des plaintes pour la santé, insatisfaction professionnelle, faible performance, absence</li> <li>✓ Augmentation du stress</li> </ul> |
| Environnement physique    | Bruit, faible éclairage, vibration chaleur / froid                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Contribuer à l'augmentation du stress</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
| Différences individuelles | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Personnalité</li> <li>• Manque d'expérience et de connaissances</li> <li>• Manque de compétences</li> <li>• Santé de l'individu</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Contribuer à l'augmentation du stress</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |

#### **III.14.6.7. Troubles musculo-squelettiques**

Les troubles musculo-squelettiques (TMS) englobent un ensemble de conditions qui impactent les muscles, les articulations, les tendons, les ligaments, et d'autres composants du système musculo-squelettique. Ces problèmes peuvent être déclenchés par divers facteurs tels que des gestes répétitifs, des postures inconfortables, des charges lourdes, le stress physique, et différentes situations de travail. Il est important de noter plusieurs points essentiels relatifs aux TMS.

Premièrement, les TMS regroupent des affections variées telles que la tendinite, le syndrome du canal carpien, l'épicondylite, la lombalgie, la cervicalgie, et d'autres troubles affectant muscles, articulations et nerfs.

Ensuite, certains secteurs professionnels exposent davantage aux TMS en raison de mouvements répétitifs, de postures inconfortables, de charges lourdes, de vibrations, et autres éléments. Les travailleurs dans des domaines tels que l'exploitation pétrolière et gazière, l'informatique, la construction, la manutention, la santé, sont particulièrement susceptibles.

Les symptômes des TMS incluent des douleurs, des raideurs, des gonflements, des engourdissements, des picotements, et des limitations de mouvement, se manifestant progressivement.

La prévention des TMS nécessite une approche globale impliquant l'ergonomie au travail, la formation des employés sur les bonnes pratiques, la rotation des tâches pour éviter la répétitivité, l'utilisation d'équipements ergonomiques, et la mise en œuvre de pauses régulières pour permettre le repos. L'adaptation du poste de travail aux besoins individuels des travailleurs, comprenant l'ajustement des hauteurs de bureau, l'utilisation de chaises ergonomiques, et l'installation d'équipements facilitant des mouvements confortables, peut contribuer à réduire les risques de TMS.

La gestion des TMS requiert une approche holistique, combinant prévention sur le lieu de travail et prise en charge médicale. En mettant l'accent sur l'ergonomie et la sensibilisation des employés, il est possible de réduire les risques et de favoriser la santé musculo-squelettique au travail. Les tâches de manipulation manuelle impliquent le déplacement d'objets par les travailleurs, tels que le soulèvement, l'abaissement, le transport, la poussée ou la traction. Ces tâches dans les installations pétrochimiques comprennent diverses activités telles que le soulèvement et le versement de sacs d'additif dans un mélangeur, la récupération de boîtes d'huile de moteur depuis une palette, le déplacement de palettes chargées, la manipulation des

### Chapitre III : La sécurité proactive en conception : une approche clé pour un monde numérisé pour des installations pétrolières et gazières

---

tambours de produits chimiques, l'ouverture et la fermeture manuelles de vannes, le versement de liquide dans un mélangeur, la connexion des tuyaux à une station de distribution.

Les risques associés à ces tâches impliquant la manutention manuelle sont nombreux. Ils comprennent le soulèvement ou l'accroupissement répété, la torsion latérale excessive du corps, le travail dans des espaces confinés qui restreignent les postures naturelles, la technique de manipulation, les caractéristiques individuelles des travailleurs et l'environnement de travail sont des facteurs qui déterminent la sécurité de ces tâches. Pour réduire les risques, il est essentiel d'éviter le travail statique autant que possible, d'analyser et de redéfinir les tâches de manutention manuelle si nécessaire, de fournir une assistance mécanique lorsque les forces manuelles dépassent les limites des travailleurs et de concevoir les tâches pour éviter les torsions excessives du corps. Ces directives générales peuvent favoriser un travail plus sûr et ergonomique dans les installations pétrolières, gazières et pétrochimiques.

#### III.14.6.8. Activité physique au travail

L'activité physique au travail revêt plusieurs aspects : Les ports de charge (manutentions manuelles) ; les gestes de façonnage ; les mouvements générés par l'asservissement à un dispositif mécanique [143].

Cette activité pratiquée dans de bonnes conditions peut participer à entretenir une bonne santé, au même titre que la pratique d'un sport. Mais elle peut aussi s'effectuer dans des conditions non étudiées, qui peuvent entraîner des effets néfastes sur la santé.

L'activité se pratique dans des conditions diverses : forte intensité (charges lourdes ; efforts violents...) ; répétitivité ; durée du geste mais aussi de la carrière du sujet. Les effets néfastes sur la santé peuvent être immédiats ou différés dans le temps, c'est un accident ou une maladie professionnelle.

- **L'accident** peut provenir soit de la violence de l'effort (élongation, claquage...), soit de la chute ou du mouvement intempestif d'un objet manutentionné (coupure aux mains, traumatisme des membres inférieurs...). Il peut survenir aussi lors d'une répétition fréquente d'un geste jugé banal, mais aussi dans le cas d'une posture ou d'un effort maintenu sur une trop longue durée.
- **La maladie professionnelle** se manifeste par des troubles musculo-squelettiques tels que tendinites, lumbagos chroniques ou aigus, hygroma du genou, rétrécissement du canal carpien.

### Chapitre III : La sécurité proactive en conception : une approche clé pour un monde numérisé pour des installations pétrolières et gazières

La démarche ergonomique a pour objectifs de découvrir les moyens techniques, organisationnels et humains, propres pour éviter les risques liés à l'activité physique, mais aussi de rendre l'activité physique acceptable par le sujet en lui faisant éprouver un sentiment de bien-être au travail. La démarche ergonomique agira sur les méthodes de travail (processus, rythmes...), les outils, machines et équipements (position des vannes et leurs niveaux orientations, plans de travail, claviers, poignées...), sur les caractéristiques de l'environnement du poste de travail (éclairage, bruit, couleurs, odeurs...) **Figure 08**, mais aussi, si nécessaire, sur l'environnement psycho-social (équipe, hiérarchie)

#### III.14.6.8.1. Travail statique et travail dynamique

Généralement l'accomplissement d'une tâche nécessite l'intervention de l'homme soit par un travail dynamique soit par un travail statique. Le travail statique et le travail dynamique se réfèrent à deux types différents de tâches ou d'activités au travail, en fonction de la nature des mouvements effectués par le travailleur. Ces concepts sont souvent utilisés pour décrire la variété des charges physiques imposées aux travailleurs dans différents environnements professionnels.



**Figure 08** l'environnement physique au travail



**III.14.6.9. Travail Statique :**

Le travail statique consiste généralement à adopter des positions immobiles ou peu variées sur de longues périodes, sollicitant les muscles de manière constante sans mouvements significatifs. Cela inclut des activités telles que rester assis à un bureau pendant de longues heures, rester debout sans bouger ou maintenir une posture fixe lors de l'exécution de tâches spécifiques. Le travail statique entraîne une sollicitation musculaire constante, où les muscles sont maintenus dans une position spécifique pendant de longues périodes, ce qui peut provoquer une fatigue musculaire. Cela augmente le risque de douleurs musculo-squelettiques, notamment au dos, au cou, aux épaules et dans d'autres parties du corps. De plus, rester dans une position statique prolongée peut perturber la circulation sanguine. Un aménagement ergonomique du poste de travail, incluant l'ajustement de la hauteur du bureau, l'utilisation de sièges ergonomiques et l'introduction de pauses actives, permet de réduire la fatigue liée au travail statique. De plus, des exercices d'étirement réguliers contribuent à prévenir la raideur musculaire et à améliorer le bien-être général des travailleurs.

**III.14.6.10. Travail Dynamique :**

Le travail dynamique se caractérise par des mouvements fréquents et variés, impliquant des changements réguliers de position ou d'activité. Les travailleurs sont engagés dans des métiers tels que la construction, l'entretien, ou d'autres activités nécessitant des déplacements constants, le levage de charges, l'exécution de gestes répétitifs ou une mobilité continue. Les travailleurs dynamiques profitent de la variété des mouvements, réduisant ainsi la fatigue musculaire causée par des positions fixes. La charge physique étant répartie de manière variable sur différentes parties du corps, cela contribue à prévenir les douleurs musculo-squelettiques liées à la fatigue. Les activités dynamiques favorisent ainsi une meilleure santé physique et réduisent les risques de troubles musculo-squelettiques. L'introduction de la rotation des tâches contribue également à prévenir la fatigue liée aux mouvements répétitifs en variant les activités et en sollicitant différentes parties du corps.

Il est souvent recommandé de trouver un équilibre entre le travail statique et dynamique pour prévenir la fatigue et les problèmes de santé liés à la charge physique. Des pauses régulières, des ajustements ergonomiques et une sensibilisation aux bonnes pratiques de mouvement sont des éléments clés pour assurer le bien-être des travailleurs.

**III.14.7. La maintenance :**

La maintenance désigne les activités menées pour maintenir l'équipement en état de fonctionnement optimal, y compris la maintenance préventive, la maintenance corrective et la maintenance prédictive.

La maintenance, d'autre part, se réfère à la facilité et à la rapidité avec lesquelles l'équipement peut être réparé ou restauré à son état de fonctionnement après une défaillance ou une panne. Cela implique des facteurs tels que l'accessibilité, la disponibilité de pièces de rechange et les compétences et les connaissances du personnel de maintenance. Des pratiques efficaces d'entretien et de maintenance peuvent aider à minimiser les durées d'arrêt, à réduire les coûts et à améliorer les performances et la fiabilité générales de l'équipement. Les organisations devraient prendre en considération les facteurs de maintenance et de maintenance au cours des phases de conception et de planification des équipements et des systèmes afin d'assurer leur fonctionnalité à long terme et leur facilité d'entretien.

La gestion de la maintenance lors de la conception ergonomique des installations industrielles joue un rôle important dans l'amélioration de l'efficacité et la réduction de la fatigue et des blessures des travailleurs. L'ergonomie contribue de manière significative à la productivité et au bien-être des travailleurs en optimisant l'utilisation des ressources et en minimisant la charge de travail manuelle. La mise en œuvre de principes ergonomiques dans les opérations de maintenance et la conception des postes de travail peut atténuer les risques associés à la monotonie du travail et améliorer la santé et la sécurité générales des travailleurs. En outre, une méthodologie systématique intégrant des facteurs ergonomiques et des modifications de conception est essentielle pour la conception de produits visant à faciliter les tâches de maintenance et à réduire les temps d'arrêt des équipements. L'intégration des technologies améliore encore les pratiques de maintenance en permettant l'autosurveillance et les notifications de maintenance proactives, ce qui conduit finalement à des processus de maintenance plus efficaces et autonomes [169].

La conception des équipements dans une installation industrielle est élaborée de manière à faciliter l'entretien et à assurer leur durabilité. Les dysfonctionnements des équipements peuvent compromettre la productivité, entraînant des coûts liés aux temps d'arrêt et aux frais de remplacement ou de réparation. Ainsi, il est essentiel de choisir et d'installer les équipements en tenant compte de leur facilité de maintenance.

L'influence de la conception appropriée des équipements et de l'installation sur l'efficacité de la maintenance est plus significative que les compétences ou la formation des techniciens.

### **Chapitre III : La sécurité proactive en conception : une approche clé pour un monde numérisé pour des installations pétrolières et gazières**

---

Lors de la sélection des équipements, la conception doit être prise en compte pour favoriser la maintenance et la durabilité. Il est très important que les équipements soient conçus en prenant en considération la sécurité et la santé du personnel utilisant l'équipement ainsi que de ceux qui en assurent l'exploitation et la maintenance.

La maintenance est une considération très importante pour assurer la fiabilité et les performances des équipements et des systèmes dans les diverses installations pétrolières et gazières.

#### **III.14.8. Principes de conception ergonomique des lieux de travail**

Dans la pratique courante [170], [142] les compagnies d'engineering, dans un projet donné, essayent de répondre aux exigences de clients rédigées dans les cahiers de charges. La méconnaissance des problèmes ergonomique par le client et même par le concepteur fait ressortir une conception pauvre du point de vue ergonomique. Pour corriger cette situation le client doit être conscient de l'importance de l'aspect ergonomique dans le cycle de vie de l'installation (sécurité ; productivité ; santé de personnel) [143].

La conception des lieux de travail repose sur une série de principes fondamentaux, organisés hiérarchiquement en principes, sous-principes et directives. Il est primordial pour le concepteur de reconnaître que chaque individu fait partie d'une population distincte. Au sein des entreprises multinationales, une unité donnée peut regrouper plusieurs populations présentant des différences de nationalité, d'âge, de sexe, d'expérience, de taille, de langue, de formation, de santé, de capacité physique, de culture, de traditions, voire de coutumes.

En général, l'accomplissement d'une tâche implique l'intervention humaine, que ce soit à travers un travail dynamique ou statique.

Il est essentiel que le concepteur comprenne qu'une activité statique est plus fatigante et ennuyeuse qu'une activité dynamique, et que le besoin de repos pour une activité statique est dix fois plus important par rapport à une activité dynamique. Cette prise de conscience est vitale pour concevoir des espaces de travail qui tiennent compte de la diversité des activités et des caractéristiques individuelles, favorisant ainsi le bien-être et l'efficacité des travailleurs.

##### **III.14.8.1. Une conception pour tous les utilisateurs :**

Les caractéristiques individuelles diverses des hommes jouent un rôle important pour les concepteurs. Il est essentiel que ces derniers développent des solutions adaptées à une multitude de besoins présentés par un large éventail d'utilisateurs. Par exemple, lorsqu'il s'agit d'installer une porte, l'objectif principal du concepteur est de déterminer la hauteur optimale

### **Chapitre III : La sécurité proactive en conception : une approche clé pour un monde numérisé pour des installations pétrolières et gazières**

---

qui permettra à la majorité des utilisateurs de passer aisément. Cette situation met en évidence l'importance d'identifier la posture idéale des personnes qui utiliseront cette porte. Ainsi, le concepteur cherche à identifier les individus les plus grands parmi les utilisateurs et à évaluer s'ils peuvent utiliser la porte confortablement sans risque de collision avec la tête. En conséquence, le concepteur doit sélectionner avec soin les dimensions qui permettront à la plupart des utilisateurs de franchir la porte en toute fluidité, sans qu'ils soient obligés de se pencher. Ce processus garantit que la solution de conception est inclusive et répond aux diverses caractéristiques physiques de la population des utilisateurs. En accordant la priorité à ces considérations, les concepteurs peuvent créer des solutions fonctionnelles et conviviales adaptées à un large éventail d'utilisateurs aux besoins et aux caractéristiques variés. L'objectif global est de promouvoir l'inclusivité et l'accessibilité dans la conception, améliorant ainsi l'expérience utilisateur globale et la facilité d'utilisation de l'espace conçu. Cette approche souligne l'importance de prendre en compte les différences individuelles et les diverses exigences dans le processus de conception [170], [171], [172].

#### **III.14.8.2. Une conception adaptable aux utilisateurs :**

La conception du lieu de travail doit prendre en compte avec soin les caractéristiques uniques des personnes qui composent la population d'utilisateurs, y compris leurs capacités physiques, leurs préférences personnelles et leurs besoins spécifiques. Cela est essentiel pour créer un environnement de travail propice à la productivité, au confort et à la satisfaction globale. L'un des moyens d'y parvenir consiste à ajuster stratégiquement l'emplacement des outils et du matériel de travail afin de garantir l'accessibilité et la facilité d'utilisation pour tous les employés. Par exemple, en positionnant les commandes et les écrans à portée de main et à des hauteurs appropriées, les personnes ayant des capacités physiques différentes peuvent bénéficier d'une facilité d'utilisation adaptée [173][174][175].

En outre, la conception de postes de travail et des outils de travail réglables peut jouer un rôle important dans leurs adaptations aux utilisateurs de tailles différentes, favorisant ainsi le confort et favorisant les pratiques ergonomiques. Cette approche reconnaît que chaque individu peut posséder des caractéristiques physiques uniques qui nécessitent des solutions personnalisées. Cependant, il est important de noter que la conception du lieu de travail ne doit pas se concentrer uniquement sur les aspects physiques ; elle doit également prendre en compte les caractéristiques cognitives et sensorielles de la population d'utilisateurs. En intégrant des fonctionnalités telles qu'une signalisation claire et en minimisant les distractions, les employés peuvent naviguer dans l'espace de travail de manière plus efficace et efficiente.

### **Chapitre III : La sécurité proactive en conception : une approche clé pour un monde numérisé pour des installations pétrolières et gazières**

---

En tenant compte des caractéristiques de la population d'utilisateurs et en les intégrant dans la conception des espaces de travail, les organisations peuvent favoriser l'inclusivité, améliorer la productivité et, en fin de compte, accroître la satisfaction et l'efficacité des utilisateurs. Grâce à l'ajustement stratégique des lieux de travail, des outils et des matériaux en fonction des besoins et des préférences spécifiques des employés, les lieux de travail peuvent créer un environnement accueillant et accommodant pour tous. Cette approche reconnaît qu'une approche universelle ne suffit pas et que la personnalisation est essentielle pour garantir que les employés peuvent effectuer leurs tâches de manière optimale.

#### **III.14.8.3. L'accessibilité physique des équipements**

L'accessibilité physique des équipements est un aspect fondamental à considérer pour garantir à la fois l'ergonomie et la sécurité sur le lieu de travail. Les critères d'ergonomie visent à optimiser l'interaction entre l'homme et la machine, en veillant à ce que les équipements soient conçus et disposés de manière à être facilement accessibles et utilisables par le maximum des opérateurs. Cela implique non seulement de rendre les équipements physiquement accessibles, mais aussi de les rendre accessibles de manière ergonomique, en tenant compte des capacités et des besoins des travailleurs. Par conséquent, il est essentiel de concevoir les équipements de manière à ce que les opérateurs puissent les atteindre, les utiliser et les entretenir efficacement et en toute sécurité. Cela peut inclure des éléments tels que des commandes bien placées et facilement manipulables, des zones de travail dégagées permettant une liberté de mouvement adéquate, ainsi que des dispositifs de levage ou de soutien pour faciliter le chargement et le déchargement des matériaux. De plus, la sécurité des opérateurs doit être prise en compte à chaque étape du processus de conception, en identifiant et en atténuant les risques potentiels d'accidents ou de blessures liés à l'utilisation des équipements. Cela peut impliquer des mesures telles que l'installation de dispositifs de protection, la signalisation appropriée des zones dangereuses. [171].

#### **III.14.8.4. Allées et couloirs**

La conception ergonomique des allées et couloirs dans les installations industrielles joue un rôle important dans la sécurité, l'efficacité et le bien-être des travailleurs. Ces espaces doivent être conçus de manière à permettre une circulation fluide et sûre des personnes, des équipements et des matériaux tout en tenant compte des critères ergonomiques [170].

Les allées et couloirs doivent être suffisamment larges pour permettre le passage facile et sans encombrement des travailleurs ainsi que le déplacement sûr des chariots, des équipements et

### **Chapitre III : La sécurité proactive en conception : une approche clé pour un monde numérisé pour des installations pétrolières et gazières**

---

des véhicules industriels. Une largeur appropriée des allées réduit les risques de collisions et de blessures causées par des déplacements restreints ou des manœuvres difficiles.

En outre, il est essentiel que les allées soient dégagées de tout obstacle potentiel, tels que des fils électriques, des tuyaux ou des débris, qui pourraient entraver la circulation ou présenter des risques de trébuchement ou de chute pour les travailleurs.

La hauteur des plafonds dans les couloirs doit également être prise en compte pour permettre une circulation confortable et éviter toute sensation de confinement. Des plafonds bas peuvent entraîner une gêne et une tension pour les travailleurs, en particulier lorsqu'ils manipulent des charges lourdes ou encombrantes. Enfin, l'éclairage des allées et couloirs est un aspect critique de leur conception ergonomique.

#### **III.14.8.5. Agencement des équipements**

La gestion adéquate des distances entre les équipements et leurs parties adjacentes est essentielle pour garantir à la fois l'utilisabilité et la sécurité dans un environnement de travail. Les critères d'ergonomie impliquent la conception des équipements de manière à ce qu'ils s'adaptent aux besoins et aux capacités physiques des travailleurs, minimisant ainsi les contraintes et les risques de blessures liées à des mouvements répétitifs ou inadaptés [172]. En ce sens, maintenir des distances appropriées entre les équipements dans une installation permet aux opérateurs de se déplacer librement et confortablement tout en effectuant leurs tâches. Cependant, pour répondre aux critères de sécurité, il est également important d'évaluer les risques potentiels associés à chaque équipement et de prendre des mesures appropriées pour les atténuer. Les équipements présentant des surfaces chaudes, froides ou tranchantes nécessitent une distance supplémentaire pour assurer la sécurité des opérateurs. De plus, la nature spécifique des tâches effectuées sur les équipements doit également être prise en compte. Par exemple, si un opérateur doit accéder à des parties spécifiques d'un équipement pour effectuer une tâche spécifique d'exploitation ou de maintenance, il est impératif de maintenir une distance adéquate pour permettre un mouvement sûr et efficace.

#### **III.14.8.6. Échelles, escaliers, rampes, caillebotis, et plateformes**

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.

### Chapitre III : La sécurité proactive en conception : une approche clé pour un monde numérisé pour des installations pétrolières et gazières

---

Les échelles, escaliers, rampes, caillebotis et plateformes jouent un rôle important dans les installations pétrolières et gazières. Ces éléments sont essentiels pour assurer la sécurité des travailleurs, faciliter l'accès à différentes parties des installations, et permettre l'entretien et l'inspection des équipements.

**Échelles :** Les échelles sont utilisées pour fournir un accès vertical entre différentes hauteurs. Elles peuvent être fixées aux structures, aux réservoirs ou aux tours pour permettre aux travailleurs d'atteindre des niveaux supérieurs ou inférieurs en toute sécurité.

**Escaliers :** Les escaliers sont utilisés pour fournir un accès plus aisé entre différentes plateformes ou niveaux. Contrairement aux échelles, les escaliers offrent une montée et une descente plus stables et confortables et sont souvent utilisés dans les zones où un flux plus important de travailleurs est attendu.

**Rampes :** Les rampes sont utilisées pour faciliter le déplacement des équipements et des véhicules entre différents niveaux. Elles peuvent être utilisées pour les chariots, les chariots élévateurs et d'autres véhicules nécessaires à l'exploitation des installations. La plupart des recherches [173], [172] suggèrent que les rampes devraient être employées quand l'angle d'ascension et de descente est entre 0° et 20°.

**Caillebotis :** Les caillebotis sont des surfaces de marche constituées de grilles métalliques. Ils sont souvent utilisés dans les zones où la circulation d'air, la lumière ou le drainage sont nécessaires. Les caillebotis offrent également une surface antidérapante, ce qui les rend adaptés aux endroits exposés à des conditions météorologiques difficiles ou à des liquides potentiellement glissants, courants dans les installations pétrolières et gazières.

**Plateformes :** Les plateformes sont des surfaces horizontales surélevées utilisées pour le travail, l'inspection ou l'accès à des équipements spécifiques. Elles peuvent être équipées de garde-corps pour assurer la sécurité des travailleurs.

Tous ces éléments doivent être conçus, installés et entretenus conformément aux normes de sécurité industrielles. Ils contribuent à minimiser les risques d'accidents, à assurer la conformité réglementaire et à faciliter les opérations au sein des installations pétrolières et gazières.

Les échelles, les escaliers, les rampes, les caillebotis, et les plateformes sont très importants dans la conception des unités industrielles. Les usines de process 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

### **Chapitre III : La sécurité proactive en conception : une approche clé pour un monde numérisé pour des installations pétrolières et gazières**

---

les plateformes [172]. La conception adéquate des escaliers, des rampes, des échelles, des caillebotis, et des plateformes améliore la sûreté et l'efficacité du travail.

Une conception adéquate améliore la sûreté et l'efficacité du travail. La décision d'utiliser rampes, escaliers ou échelles dépend de l'angle d'ascension/descente et de la nature de la tâche. Les rampes sont recommandées pour des angles jusqu'à 20°, tandis que les escaliers sont installés pour des angles de 30° à 50° et les échelles pour des angles de 50° à 90° (OSHA, 1997). Une nouvelle génération d'échelles combinant escalier et échelle est utilisée pour les déplacements entre plusieurs niveaux. Les réservoirs à toit flottant, avec des angles de 0° à 90°, servent d'exemple.



**IV. Chapitre IV : Retour d'expérience de la mauvaise prise en charge des critères ergonomique et l'occurrence des accidents**

La structuration du retour d'expérience dans la conception est essentielle pour améliorer les futurs systèmes en se basant surtout sur les rapports des accidents et les leçons apprises. Elle commence par la définition claire des objectifs, visant à identifier ce qui a correctement fonctionné ou presque correctement et ce qui a échoué et il nécessite d'être amélioré. D'une manière générale, le processus de retour d'expérience, soit les informations recueillies auprès des utilisateurs, n'est pas systématiquement intégré dans le processus d'amélioration des conceptions ou dans la prise en compte des exigences d'utilisation. Souvent, les concepteurs jangent que cela dépasse leur domaine de responsabilité [25], [26], [176], [177], [178].

Dans le processus de recueils des données, il est important de constituer une équipe impliquant toutes les parties prenantes, comme les concepteurs, les ingénieurs et les utilisateurs finaux des différents clients. La collecte des données se fait ensuite par le biais de retours d'expérience des utilisateurs et d'analyses de performance. Une fois les données rassemblées, une analyse approfondie permet d'identifier les succès, les échecs, et les causes profondes des problèmes rencontrés. Actuellement, la majorité des données disponibles pour les concepteurs proviennent après des accidents graves via les rapports d'incidents qui généralement indiquent que l'erreur humaine est la cause principale de l'accident, mais ces données ne sont pas suffisantes pour générer une conception adaptée aux diverses situations de travail en dépassant les limites des conditions prévues. Le processus de retour d'expérience dans la conception ergonomique, bien qu'essentiel pour améliorer la qualité des interfaces, des installations et des équipements, est confronté à plusieurs contraintes. La collecte de données est limitée en raison de l'accès difficile aux utilisateurs, d'un échantillonnage non représentatif ou du manque de retours d'expérience qualitatifs approfondis. Les ressources disponibles, en termes de temps, de coûts et de compétences, peuvent également être insuffisantes, rendant le processus long, coûteux et parfois difficile à mettre en œuvre correctement. De plus, la résistance au changement au sein des organisations et les problèmes de communication peuvent freiner l'intégration des leçons apprises dans les futurs projets de conception. Le contexte évolutif de l'ergonomie, marqué par des changements rapides des technologies et des standards, ainsi que par la variabilité des besoins des utilisateurs et le contexte d'utilisation de chaque système, peut rendre certaines conclusions de retour d'expérience, rapidement obsolètes ou inapplicables.

La mise en œuvre des recommandations issues du retour d'expérience peut être compliquée par des conflits avec d'autres exigences du projet, comme les contraintes de coûts, de délais

ou les objectifs commerciaux, ainsi que par la complexité d'intégrer des améliorations ergonomiques dans la conception des équipements ou des installations existants. Le retour d'expérience doit clairement différencier entre deux types de retour d'expérience. Le premier concerne le fonctionnement quotidien, incluant les difficultés et risques constatés en exploitation et maintenance quotidiennes. Ces retours d'expérience sont essentiels pour identifier les problèmes récurrents, les inefficacités et les risques potentiels qui peuvent affecter la performance et la sécurité au quotidien. Ils permettent de mettre en place des améliorations continues et des mesures préventives. Cela peut être traité en interne par l'implantations des mesures préventives et des petites corrections du système, sans nécessité des grands changements de la structure des systèmes. Ce genre de retour d'expérience est limité si ce n'est pas enregistrée automatiquement par le système comme DCS où les problèmes peuvent être documentés et analysés si le fournisseur du système a un lien de garantie avec le client. Le second type de retour d'expérience concerne les événements redoutés, tels que les incident, les accidents. Ces événements nécessitent une analyse approfondie pour comprendre les causes profondes et mettre en place des actions correctives immédiates et mettre plus de barrières de sécurité afin de prévenir leur récurrence. En distinguant ces deux types de retour d'expérience, le processus de retour d'expérience devient plus structuré et permet une gestion ciblée des risques opérationnels et des incidents critiques. Généralement dans ces situations, des rapports d'incident ou accident sont généré par les utilisateurs. Ces rapports peuvent être un outil des révisions des futur conception pour les concepteurs.

L'idée d'un « ARBRE LOGIQUE » en tant qu'outil de retour d'expérience structuré sur la conception des futures installations pourrait potentiellement améliorer la communication, la cohérence et l'efficacité dans les contextes industrielle et informatiques, en s'appuyant sur les principes décrits dans les travaux de recherche [179].

Cet outil permet de visualiser clairement les relations entre différents éléments et idées, facilitant ainsi la compréhension du raisonnement derrière certaines décisions pour les concepteur et utilisateurs. En fournissant une structure commune, il aide à éviter les malentendus et à maintenir une communication efficace. Sur le plan de la cohérence, un arbre logique permet de suivre les étapes du raisonnement et de la conception, garantissant que chaque étape est alignée avec les précédentes et qu'aucune étape critique n'est omise. Il assure également une uniformité des retours d'expériences, rendant leur formulation et interprétation plus cohérentes.

## **Chapitre IV : Retour d'expérience de la mauvaise prise en charge des critères ergonomique et l'occurrence des accidents**

---

En termes d'efficacité, un arbre logique aide à identifier rapidement les problèmes et incohérences, facilitant leur correction immédiate dans les futures conceptions. Il permet aussi une documentation continue des décisions et modifications, soutenant une amélioration continue grâce à l'analyse rétrospective. De plus, cet outil favorise une collaboration étroite entre les intervenants en fournissant une base structurée pour les discussions et échanges d'idées. Bien que ces méthodes soient principalement axées sur la conception d'interfaces et de logiciels, de nombreux principes sont transposables à la conception d'équipements industriels et de systèmes organisationnels. En intégrant un outil comme un arbre logique dans les processus de feedback, la manière dont les informations sont partagées, interprétées et utilisées serait transformé, menant à des pratiques plus structurées et réfléchies, augmentant ainsi l'efficacité et la cohérence des résultats finaux.

### **IV.1. La relation de la mauvaise prise en charge des critères ergonomiques et l'occurrence des accidents**

Une mauvaise gestion des critères ergonomiques peut avoir un impact significatif sur la survenue d'accidents dans diverses industries. Les recherches soulignent l'importance de mettre en œuvre les principes ergonomiques lors de la phase de conception des nouvelles installations industrielles pour prévenir les accidents et les maladies professionnelles [180]. Des études soulignent que le manque d'attention accordée à l'ergonomie organisationnelle et cognitive, en plus de l'ergonomie physique, peut entraîner des conditions de travail dangereuse pour les travailleurs et compromettre la sécurité [181]. En outre, l'application de la gestion de la santé et de la sécurité au travail (SST) et ses exigences jouent un rôle important dans l'élimination des accidents du travail, en particulier dans les secteurs à haut risque tels que la construction, l'exploitation des gisement miniers et pétroliers [182]. Négliger les facteurs ergonomiques sur les lieux de travail, tels que les contraintes physiques, les contraintes cognitives et la satisfaction au travail, augmente considérablement la probabilité d'erreurs menant à des accidents du travail [183].

L'incorporation inadéquate de l'ergonomie 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 un équipement qui a été installé dans un endroit étroit et mal éclairé cela va engendrer une difficulté à l'accès pour l'exploitation et aux différents travaux de maintenance. L'intervention sur cet équipement va prendre plus de temps, plus de main d'œuvre et beaucoup de travail dur.

## Chapitre IV : Retour d'expérience de la mauvaise prise en charge des critères ergonomique et l'occurrence des accidents

---

Une conséquence plus grave peut être des blessures aux opérateurs. Un exemple commun de ceci est une vanne qui est placée sur une conduite élevée sans plateforme d'accès. Quand cette vanne doit être opérée pendant une situation critique, très probablement l'opérateur utilisera d'autres conduites comme étant une plateforme pour atteindre la vanne. Cette situation va créer un risque significatif d'une chute en effectuant ce travail urgent et des dégâts graves sont très probables dans cet incident. Allant plus loin dans l'échelle de gravité de la mauvaise conception ergonomique, on peut avoir comme conséquence, la perte des biens et probablement des vies humaines. Ceci peut être le résultat de quelque chose de très simple comme un commutateur d'un équipement qui fonctionne différemment à un autre dans le même site. Un nouvel opérateur en urgence ne rend pas compte de cette différence et l'éteint quand il devrait être allumé. Tandis qu'un commutateur en lui-même ne peut pas être susceptible de causer directement un accident, il peut être l'action finale (erreur active) dans la série d'événements menant à l'accident.

Il y a également des problèmes plus compliquée 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.

Le modèle **James Reason Swiss Cheese** est un cadre permettant de comprendre les causes des accidents dans des systèmes complexes. Cela suggère que les accidents se produisent lorsqu'une série de facteurs causaux s'alignent, comme dans le cas des trous dans l'alignement du fromage suisse. Ces facteurs incluent les défaillances latentes et les conditions de déclenchement qui surmontent les défenses du système [184]. 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 plus d'attention et poursuivre les procédures. Les facteurs de contribution réels y compris la mauvaise conception ergonomique, et les autres défaillances latentes ne sont ni signalées ni corrigées. Donc le prochain accident attendrait son tour pour se reproduire. 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 augmentent la probabilité de l'occurrence des erreurs humaines. Ces facteurs devraient être éliminés dès la phase de conception, pour ne pas être obligé de les corriger dans les étapes avancées du projet.

C'est normal que l'opérateur commette 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 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.

## **IV.2. Facteurs contributifs aux incidents critiques**

Les incidents graves peuvent être causés par une variété de facteurs liés à la performance humaine, à la conception de l'équipement elle-même et à des facteurs externes [185].

### **IV.2.1. Facteurs liés aux performances humaines**

- **Communication verbale :**

La communication verbale, qui englobe l'échange d'informations par le biais de la langue parlée, peut entraîner des malentendus importants ou des erreurs de compréhension lorsque les instructions fournies manquent de clarté ou sont caractérisées par un degré d'ambiguïté qui laisse place à de multiples interprétations. En outre, la transmission ou la réception d'informations critiques peuvent se produire de manière inappropriée ou inexacte, influençant ainsi négativement l'exécution efficiente et efficace des tâches essentielles pour atteindre les résultats souhaités.

- **Procédures et documents écrits :**

Les procédures et documents écrits jouent un rôle essentiel dans le bon déroulement des tâches. Des procédures peu claires, incomplètes, obsolètes ou difficiles à suivre peuvent entraîner des erreurs, tout comme une mauvaise interprétation des instructions écrites ou un manque de documentation adéquate.

- **Interface homme-machine :**

L'interface homme-machine peut fortement influencer la performance des opérateurs. Des interfaces mal conçues peuvent provoquer de la confusion ou des erreurs, tandis qu'une réponse inadéquate des affichages peut entraîner des actions incorrectes.

- **Conditions environnementales :**

Les conditions environnementales jouent un rôle important dans la concentration et la performance des travailleurs. Des distractions ou des dangers présents dans la zone de travail peuvent perturber leur attention, tandis que des températures extrêmes, un

éclairage insuffisant ou un bruit excessif peuvent affecter leur efficacité et leur sécurité.

- **Horaires de travail :**

La structuration et l'organisation des horaires de travail peuvent souvent contribuer de manière significative à la fatigue physique et mentale, ainsi qu'à des niveaux de stress significatif, en particulier lorsque la durée des journées de travail s'allonge considérablement et que les périodes de repos adéquates sont insuffisantes pour récupérer. En outre, lorsque le temps consacré à l'exécution de diverses tâches et responsabilités est insuffisant, cela peut aboutir à un scénario dans lequel les personnes sont obligées d'exécuter leur travail de manière précipitée, ce qui aboutit finalement à des résultats soit de nature prématurée, soit, dans certains cas, totalement incomplets et ne présentant pas la qualité escomptée.

- **Pratiques de travail :**

Les pratiques de travail peuvent parfois inclure des méthodes non sécurisées ou des raccourcis pris par les travailleurs (**shunter des sécurité**). De plus, l'application inconsistante des meilleures pratiques et des protocoles de sécurité peut entraîner des risques lors de l'exécution des tâches.

- **Organisation et planification du travail :**

Des organisation inefficaces et mal structurés, associés à un manque de planification systématique, peuvent finalement conduire à un scénario caractérisé par des niveaux de préparation inadéquats ainsi qu'une distribution et une allocation insuffisantes des ressources nécessaires pour un fonctionnement optimal. En outre, lorsqu'il existe un écart ou un décalage significatif entre les tâches spécifiques assignées et les aptitudes ou compétences correspondantes possédées par le personnel, cela peut réduire considérablement à la fois l'efficacité opérationnelle et la qualité globale des résultats générés par le travail effectué.

#### **IV.2.2.Facteurs liés aux équipements**

- **Configuration et analyse de conception :**

La conception de l'équipement joue un rôle important dans la performance humaine. Des défauts dans la configuration et l'analyse de conception peuvent créer des vulnérabilités qui compromettent l'efficacité opérationnelle et la sécurité. Un agencement inadéquat des affichages et des systèmes de contrôle peut entraîner des confusions et des erreurs, affectant ainsi la performance des opérateurs. Une

conception ergonomique et intuitive est essentielle pour garantir que les opérateurs puissent interagir avec l'équipement de manière efficace et sûre, minimisant ainsi les risques d'erreurs et améliorant la performance humaine.

- **État de l'équipement :**

L'usure progressive de l'équipement peut entraîner sa dégradation au fil du temps, augmentant ainsi le risque de défaillances. Par ailleurs, un entretien inadéquat peut engendrer des dysfonctionnements, ce qui accroît les chances de pannes.

- **Conditions environnementales :**

Les conditions environnementales peuvent avoir un impact significatif sur la performance de l'équipement. Des conditions physiques défavorables, telles que des environnements marins, corrosifs, poussiéreux ou humides, peuvent entraîner des dommages importants à l'équipement, affectant ainsi son fonctionnement optimal.

- **Spécification, fabrication et construction de l'équipement :**

Les déficiences dans les processus de spécification, de fabrication ou d'installation peuvent compromettre la qualité de l'équipement. L'utilisation de matériaux de qualité inférieure ou de pratiques de construction inadéquates peut également contribuer à des défauts importants, affectant ainsi la performance et la durabilité de l'équipement.

- **Maintenance :**

Des pratiques de maintenance et de test inappropriées peuvent en effet entraîner des problèmes importants en ne détectant pas les problèmes potentiels et en aggravant les défaillances des équipements. Les erreurs de maintenance et d'inspection constituent des facteurs de risque dans les accidents, avec un regroupement notable d'accidents liés à la maintenance survenant peu de temps après les activités de maintenance. De plus, l'impact de mauvaises performances de maintenance sur l'instrumentation et les équipements électriques peut réduire considérablement les performances de sécurité des processus sur les sites industriels, soulignant la nécessité d'améliorer systématiquement la gestion de la maintenance afin d'améliorer la fiabilité et la sécurité globale. Par conséquent, des inspections régulières et approfondies, ainsi que des programmes de maintenance bien exécutés, sont essentiels pour identifier et résoudre les problèmes potentiels de manière proactive, afin d'atténuer le risque de défaillance des équipements et de garantir la fiabilité et la sécurité opérationnelles.

- **Exploitation du système :**

L'exploitation du système peut être compromise par des pratiques opérationnelles qui dépassent les limites de conception de l'équipement. De plus, une mauvaise utilisation

ou une utilisation incorrecte de l'équipement peut entraîner des défaillances qui peuvent mener à l'occurrence des accidents graves.

### IV.3. Le rôle des erreurs humaines dans l'avènement des accidents

Les gestionnaires doivent posséder une connaissance approfondie de l'impact potentiel des erreurs humaines dans l'occurrence des incidents graves. Les taux d'erreur humaine pour différentes tâches varient considérablement, allant d'une probabilité très faible à une probabilité élevée. Lorsque des erreurs humaines peuvent avoir des conséquences graves, il est critique pour les gestionnaires de comprendre la variété des réponses possibles et de s'assurer que les tâches sont conçues pour favoriser des réponses correctes [185].

Certains environnements sont particulièrement propices aux erreurs, tout en étant intolérants à ces erreurs. Dans de telles conditions, des actions préventives doivent être mises en place pour éviter efficacement les avènements des incidents graves. Généralement dans les secteurs industriels pétrochimiques des arrêts imprévus dus à des perturbations opérationnelles peuvent créer des environnements stressants et favoriser les erreurs. Le modèle de **JAMES REASON** « **SWISS CHEESE** » explique bien l'occurrence d'un accident après une série de défaillances. **Figure 09**. Ce model montre que des actions préventives et des procédures supplémentaires sont essentielles pour augmenter la sécurité des installations industrielles.

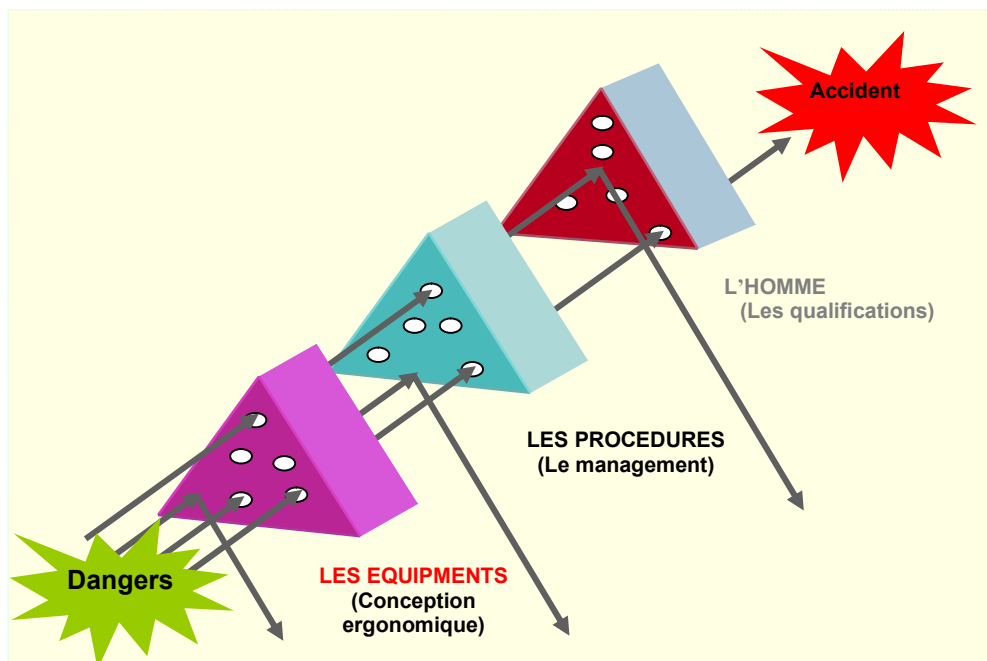


Figure 09 : Modèle de Fromage SWISS (James Reason)



## Chapitre IV : Retour d'expérience de la mauvaise prise en charge des critères ergonomique et l'occurrence des accidents

---

Quelques soit le type d'opération, il est essentiel de se concentrer sur l'identification et la mise en œuvre d'actions spécifiques pour réduire le risque d'incidents dus à des erreurs humaines. Bien que les accidents aient généralement plusieurs causes, les enquêtes révèlent souvent une forme d'échec humain dans la séquence d'événements menant à l'incident. Certaines erreurs humaines ont un impact immédiat sur la sécurité du travail et entraînent directement un incident. Ces erreurs sont souvent commises par le personnel de première ligne au point de contrôle et sont appelées actes dangereux ou comportements « à risque ». D'autres types de défaillances humaines critiques créent des conditions dites latentes. Ces conditions peuvent persister pendant des années avant de se combiner avec des comportements à risque et d'autres circonstances aléatoires pour provoquer un incident catastrophique. Ces conditions latentes incluent une mauvaise conception, des lacunes dans la supervision, des déficiences de formation, des procédures inexactes, une planification défaillante, une maintenance réduite et un équipement défectueux.

Tandis que les actes dangereux ayant un impact négatif direct, sont généralement le fait du personnel de terrain, les conditions latentes sont souvent attribuables à des échecs dans les niveaux supérieurs de l'organisation. Comprendre les risques de sécurité d'une organisation nécessite à la fois une compréhension des actions « à risque » pouvant directement entraîner des incidents et du rôle des conditions latentes, qui sont comme des prédateurs attendant le moment propice pour attaquer sa victime.

Souvent un accident résulte de la combinaison de ces deux types de défaillances, les erreurs latentes créant un terrain propice à la survenue de défaillances actives. Par exemple, l'accident de Three Mile Island a été causé par :

- **Défaillance Active** : Les opérateurs n'ont pas réussi à diagnostiquer une vanne bloquée ouverte.
- **Défaillance Latente** : La mauvaise conception du panneau de contrôle a contribué à ce mauvais diagnostic.

Les actions ou inactions humaines sont responsables de jusqu'à 80% des accidents de travail. Plusieurs catastrophes de grande envergure ont mis en lumière le rôle critique de l'erreur humaine :

- **Accident nucléaire de three mile island (1979)** : Libération de radiations due à une erreur de l'opérateur.
- **Catastrophe ferroviaire de clapham junction (1988)** : collision de trains causée par des erreurs de signalisation.

- **Catastrophe de bhopal (1984)** : libération de méthyl isocyanate par union carbide, entraînant environ 2 500 décès.
- **Explosion de piper alpha (1988)** : explosion d'une plateforme pétrolière causée par des erreurs de procédure

#### **IV.4. Évaluation de la fiabilité humaine lors de la phase de conception**

Il est essentiel de prendre en compte les erreurs humaines dès la phase de conception des systèmes. Une approche efficace pour faire l'évaluation de la fiabilité humaine, qui vise à identifier les erreurs potentielles, estimer la fréquence probable de ces erreurs, et gérer les risques associés en les prévenant ou en atténuant leur impact. Cette méthode permet d'améliorer la conception en intégrant des mesures proactives pour minimiser les erreurs humaines, garantir une performance plus fiable du système et minimiser la probabilité des incidents. Lors de la phase de conception des systèmes, la gestion des risques se déroule en plusieurs étapes clés. Tout d'abord, il est important de définir le problème en examinant la conception et en identifiant les erreurs humaines potentielles. Ensuite, l'analyse de la tâche permet de déterminer les actions spécifiques nécessaires pour accomplir le travail. À chaque étape, il est important d'identifier et de corriger les erreurs en posant des questions simples pour anticiper et résoudre les problèmes possibles. La probabilité et la gravité des erreurs doivent être évaluées pour comprendre leur impact potentiel. Enfin, le contrôle consiste à mettre en œuvre des mesures pour réduire les risques, notamment par l'amélioration de la conception des équipements, la prévision des formations nécessaires et le développement de procédures appropriées.

#### **IV.5. Gestion des erreurs humaines au travail durant la conception des systèmes**

Généralement, lorsque les systèmes fonctionnent correctement pour une longue durée, les erreurs souvent sont attribuées aux hommes, et on les qualifie de manque d'expérience et d'assiduité et même de compétence [186]. Cette approche, qui consiste simplement à identifier et discipliner la personne responsable, est erronée pour plusieurs raisons :

- **Inévitabilité de l'erreur humaine** : Trevor Kletz souligne que même les meilleurs opérateurs peuvent commettre des erreurs qui parfois apparaissent banales. Il suggère qu'au lieu de se concentrer uniquement sur l'élimination des erreurs humaines, les efforts devraient être dirigés vers l'amélioration de la conception des équipements, des procédures et des contrôles en milieu de travail afin d'atténuer l'impact de ces erreurs [187].

- **Investigation superficielle** : Cette méthode se concentre sur l'identification et la culpabilisation des individus plutôt que sur la compréhension des problèmes systémiques qui contribuent à l'avènement de l'incident.
- **Sanctions disciplinaires** : il semble simple de sanctionner l'opérateur pour ne pas avoir suivi les procédures, mais cette approche est non seulement injuste mais aussi contre-productive. Elle pourrait créer une culture de la peur où les travailleurs sont moins motivés pour signaler les incidents ou les presque-accidents, entravant la capacité de l'organisation à tirer des leçons de ces événements pour connaître les causes réelles des accidents et prendre les mesures correctives pour les éviter dans le futur.
- **Compréhension et prévention incomplètes** : En se concentrant uniquement sur l'erreur humaine immédiate et en ne se penchant pas sur les problèmes systémiques plus profonds, les organisations manquent l'occasion d'identifier les causes profondes des incidents. Ce manque de compréhension empêche la mise en œuvre de mesures efficaces pour éviter l'occurrence des futurs accidents, ce qui peut entraîner la récurrence des incidents, des pertes matériels et environnementale voire humaines.

Cette approche vise à découvrir les facteurs invisibles contribuant aux incidents, permettant ainsi le développement de stratégies préventives plus efficaces, elle suggère d'examiner et d'améliorer la conception globale des équipements, le fonctionnement des procédures tout en incluant les critères ergonomiques pour créer un environnement de travail plus sûr et plus fiable. Les postes de travail et les équipements doivent être conçus pour fonctionner en sécurité tout en tenant compte de la possibilité que l'homme commette des erreurs, par contre les équipements et les méthodes de travail doivent être conçus pour minimiser la probabilité des erreurs humaines et mettre la possibilité d'atténuation et rattrapage pour éliminer les conséquences graves des erreurs humaines. Dans les cas extrêmes, l'élimination des erreurs pourrait passer par une automatisation complète du travail, éliminant ainsi la nécessité d'un opérateur humain. Lorsque cela n'est pas possible, il faut recourir à l'insertion des systèmes d'autocontrôle pour empêcher toute action incorrecte menant à des accidents graves.

#### **IV.6. Le rôle de l'ergonomie dans l'amélioration de la Sécurité et la réduction des accidents**

L'ergonomie occupe une place essentielle dans les environnements industriels, contribuant à réduire les accidents en analysant et en corrigeant divers facteurs tels que les interfaces de systèmes mal conçues, l'identification inadéquate des instruments, vannes et équipements, les

postes de travail mal adaptés, les postures corporelles inconfortables, ainsi que l'exécution de tâches pouvant engendrer des erreurs. Ces problèmes, qui affectent également l'accessibilité physique et cognitive aux différents systèmes et équipements, peuvent non seulement entraîner des accidents, mais aussi une diminution globale de la productivité. Le risque d'accidents peut être réduit en améliorant l'intégration des critères ergonomique dans la conception des installations industrielles. La création d'un environnement de travail ergonomique, la prise en compte de facteurs tels que l'éclairage, le bruit, l'accessibilité physique et cognitive, le confort physique, thermique et les vibrations peuvent contribuer à la prévention des accidents [188], [189], [190], [191], [192]. Les organisations peuvent créer des environnements de travail plus sûrs et plus sains en adoptant des conceptions appropriées et des pratiques ergonomiques et en tenant compte de divers facteurs ergonomiques, ce qui réduit le risque d'accidents. L'ergonomie constitue donc une approche proactive visant à créer des environnements de travail plus sûrs et plus efficaces, contribuant ainsi à la prévention des accidents et à l'amélioration de la santé et de la sécurité générales sur le lieu de travail [193]. Comprendre et atténuer les erreurs humaines est un travail délicat pour prévenir l'occurrence des accidents dans les sites industriels.

- **Conception centrée sur l'utilisateur :**

La conception centrée sur l'utilisateur repose sur la participation active des utilisateurs finaux tout au long du processus de conception, l'objectif principal étant de développer des systèmes faciles à utiliser et résistants aux erreurs. Cette approche vise à concevoir des systèmes faciles à utiliser, en tenant compte des exigences et des contraintes des utilisateurs, afin de réduire la probabilité d'erreurs humaines. En intégrant **les retours d'expérience** dès les premières phases du processus de conception, une relation plus harmonieuse entre les équipements et leurs utilisateurs est établie, ce qui permet de renforcer les mesures de sécurité et l'efficacité opérationnelle du système. L'intégration des entrées des utilisateurs dès le départ garantit que l'équipement est adapté pour répondre efficacement aux besoins des utilisateurs, favorisant ainsi une expérience utilisateur plus fluide et plus productive.

- **Conception ergonomique :**

La conception ergonomique vise à garantir que les équipements et les espaces de travail sont adaptés aux capacités et aux limites humaines, tout en étant tolérants aux erreurs humaines [194], [195]. L'intégration des considérations ergonomiques lors de la phase de conception prendra en charge les probabilités des erreurs humaines durant l'exécution des tâches et mettra des possibilités de rattraper ou corriger les erreurs.

- **Retours d'expériences :**

Les boucles de rétroaction consistent à établir des mécanismes permettant aux travailleurs de signaler les quasi-accidents et les incidents. L'objectif est d'utiliser les retours d'expériences des travailleurs pour identifier les problèmes potentiels réels et les résoudre avant qu'ils ne causent des accidents. Ce processus continu d'amélioration permet de perfectionner la conception des systèmes et de renforcer la sécurité sur le lieu de travail en tirant parti des observations et des expériences directes des travailleurs.

- **Automatisation :**

L'automatisation consiste à automatiser les tâches répétitives ou à haut risque autant que possible pour minimiser l'implication humaine et par conséquent le potentiel de commettre des erreurs. L'objectif est de minimiser les risques en éliminant les interventions humaines dans les tâches où les erreurs sont fréquentes avec des conséquences dangereuses. Cela permet non seulement de protéger les travailleurs des dangers potentiels, mais aussi d'améliorer l'efficacité et la précision des opérations.

- **Systèmes de contrôle et surveillance :**

Les systèmes de surveillance impliquent l'installation de dispositifs de surveillance en temps réel et de systèmes d'alerte pour détecter et corriger les erreurs avant qu'elles ne s'aggravent. L'objectif est d'utiliser la technologie pour surveiller en continu les opérations et intervenir rapidement en cas de problème, augmentant ainsi la sécurité et l'efficacité et évitant les accidents. Ces systèmes permettent une réactivité immédiate face aux anomalies, réduisant ainsi le risque d'accidents graves et améliorant globalement les performances opérationnelles.

Ces mesures permettent de réduire les erreurs humaines et de créer un environnement de travail plus sûr et plus efficace.

#### **IV.7. Exemples réels de la mauvaise conception ergonomique**

L'ergonomie, discipline visant à optimiser l'interaction entre l'humain et son environnement, joue un rôle critique dans la prévention des accidents. Cependant, une conception défectueuse des interfaces, des équipements ou des systèmes peut entraîner des erreurs humaines aux conséquences parfois tragiques. L'histoire est pleine d'exemples où des mauvaises intégrations des paramètres ergonomiques dans la conception, qu'ils concernent l'affichage d'informations, la disposition des commandes, la mauvaise accessibilité physique et cognitive ou la clarté des signaux d'alerte, ont conduit à des accidents graves. Ces incidents mettent en

## **Chapitre IV : Retour d'expérience de la mauvaise prise en charge des critères ergonomique et l'occurrence des accidents**

---

lumière l'importance d'une conception centrée sur l'utilisateur pour assurer la sécurité et minimiser les risques dans les environnements complexes.

Voici quelques exemples d'accidents récurrents causés par des fautes ergonomiques de conception dans divers secteurs :

### **IV.7.1.Chutes de hauteur dans le secteur de la construction**

Les chutes de hauteur dans le secteur de la construction sont souvent liées à des problèmes ergonomiques découlant d'une conception inadéquate des échafaudages et des plateformes de travail. Lorsque ces équipements sont mal conçus ou installés, ils compliquent l'accès sécurisé aux zones en hauteur, mettant les travailleurs en danger. Par exemple, un employé peut perdre l'équilibre en essayant d'atteindre une zone difficilement accessible, ce qui peut entraîner des chutes graves, voire fatales. Une étude réalisée par la Health and Safety Executive (HSE) au Royaume-Uni a révélé que de nombreuses chutes dans ce secteur sont directement attribuables à des échafaudages ne répondant pas aux normes ergonomiques nécessaires, compromettant ainsi la sécurité des travailleurs [196].

### **IV.7.2.Troubles musculosquelettiques (TMS) dans industrie manutentionnaire et logistique**

Les troubles musculosquelettiques (TMS) sont fréquents dans l'industrie de la manutention et de la logistique, en grande partie en raison de la mauvaise conception ergonomique des postes de travail. Ces postes obligent souvent les employés à soulever des charges lourdes de manière répétitive, sans assistance mécanique appropriée, ce qui entraîne une pression excessive sur le corps. En conséquence, les travailleurs développent divers TMS, tels que des lombalgies ou des tendinites, ce qui conduit souvent à des arrêts de travail prolongés. Une étude réalisée par l'Institut National de Recherche et de Sécurité (INRS) a montré que les postes de préparation de commandes mal conçus, en raison de postures inconfortables et de mouvements répétitifs, augmentent considérablement le risque de développer ces troubles musculosquelettiques [197].

### **IV.7.3.Explosion et incendie dans l'industrie pétrolière et gazière**

Dans l'industrie pétrolière et gazière, les explosions et incendies sont souvent liés à des problèmes d'ergonomie, en particulier concernant la disposition des panneaux de commande et des indicateurs de pression. Une mauvaise conception de ces dispositifs rend difficile l'accès rapide et précis aux commandes d'urgence en cas de situation critique. Cette

configuration défaillante peut entraîner un retard dans la réponse de l'opérateur, augmentant ainsi le risque d'explosion ou d'incendie. [198] Un rapport de la **Chemical Safety Board (CSB)** aux États-Unis a révélé plusieurs incidents où la mauvaise conception ergonomique des salles de contrôle a été un facteur contributif dans des accidents industriels majeurs, soulignant l'importance d'une interface claire et accessible en temps de crise.

#### **IV.7.4. Blessures graves dans le secteur de la production industrielle**

Dans le secteur de la production industrielle, les blessures graves sont souvent causées par des problèmes d'ergonomie liés à la conception des machines. En effet, certaines machines obligent les travailleurs à accéder aux parties mobiles sans disposer de protections adéquates, augmentant ainsi les risques d'accidents. Un opérateur peut ainsi subir des blessures sévères en manipulant des machines mal sécurisées. [199] Une enquête menée par l'Occupational Safety and Health Administration (OSHA) aux États-Unis a révélé que de nombreux accidents survenant dans les usines de production sont dus à l'absence ou à la mauvaise conception des dispositifs de sécurité, exposant les travailleurs aux dangers des parties mobiles des équipements.

#### **IV.7.5. Système de vidange mal conçu**

Dans une vieille unité de polymérisation, un problème de design du système de vidange a conduit à un grave accident. Le polymère synthétisé dans un réacteur autoclave était transféré à une série de ballons séparateurs haute pression, puis à un ballon de décantation. Le polymère condensé au fond du ballon de décantation était récupéré manuellement par un opérateur. Un jour, lors de la vidange, une défaillance du système de dépressurisation a provoqué des éclaboussures de polymère fondu, causant à l'opérateur de graves brûlures.

Les problèmes identifiés incluent un défaut de conception du système de vidange, nécessitant une intervention manuelle qui exposait les opérateurs à des risques élevés. Le processus de dépressurisation n'était pas sécurisé, ce qui pouvait entraîner des vidanges sous pression avec des éclaboussures de polymère fondu. De plus, il y avait un manque de mesures de sécurité, notamment l'absence de dispositifs de protection pour les opérateurs en cas de défaillance du système de dépressurisation, ainsi que l'absence de critères ergonomiques, augmentant ainsi le risque de blessures. Pour remédier à ces problèmes, un rideau métallique a été installé afin de protéger les opérateurs des éclaboussures de polymère chaud. Par ailleurs, une procédure stricte a été mise en place, imposant le port d'une tenue spéciale aux opérateurs lors des opérations de vidange, dans le but de réduire les risques de brûlures.

Pour améliorer la sécurité, plusieurs recommandations supplémentaires sont proposées. Il est suggéré d'automatiser le processus de vidange et de dépressurisation en remplaçant les vannes manuelles par des vannes automatiques contrôlées par un système centralisé, garantissant ainsi une dépressurisation contrôlée et sécurisée. De plus, l'intégration de capteurs de pression et de température permettrait de surveiller les conditions en temps réel et de déclencher automatiquement les mesures de sécurité en cas de dépassement des seuils critiques.

Par ailleurs, la formation régulière des opérateurs sur les procédures de sécurité, l'utilisation adéquate des équipements de protection individuelle (EPI) et la manipulation des systèmes de vidange et de dépressurisation est importante. Il est aussi important de mettre en place des procédures de sécurité strictes et documentées, incluant des check-lists et des protocoles d'urgence. Enfin, un programme de maintenance préventive pour les vannes, capteurs et systèmes de sécurité doit être instauré, accompagné d'inspections régulières pour s'assurer de leur bon fonctionnement et de leur conformité aux normes de sécurité en vigueur.

L'incident survenu souligne l'importance d'un design adéquat et sécurisé pour les systèmes de vidange dans les unités de polymérisation. Bien que l'installation d'un rideau métallique et l'obligation de porter des tenues spéciales soient des mesures correctives importantes, il est important d'aller plus loin pour automatiser les processus, améliorer les dispositifs de protection et renforcer les procédures de sécurité et de formation. Ces actions permettront de créer un environnement de travail plus sûr et de minimiser les risques pour les opérateurs.

#### **IV.7.6. Ouverture de la mauvaise vanne peut causer un incendie**

##### **IV.7.6.1. Description de l'incident**

La pompe alimentant un flux d'huile dans les tubes du four est tombée en panne. L'opérateur a fermé la vanne d'huile et avait l'intention d'ouvrir la vanne de vapeur pour purger les tubes du four. Cependant, il a ouvert la mauvaise vanne, ce qui a conduit à l'absence de flux de vapeur vers le four. Les tubes ont été alors surchauffés et se sont effondrés. Cet incident est typique de ceux qui étaient attribués à une défaillance humaine : l'opérateur était considéré comme responsable, et personne d'autre n'aurait pu faire quoi que ce soit. Cependant, une analyse approfondie a révélé plusieurs facteurs contributifs à l'avènement de cet accident :

- **Accès à la Vanne de Vapeur :**
  - L'accès à la vanne de vapeur était difficile, et il était compliqué de distinguer la bonne vanne. Cette mauvaise conception ergonomique a augmenté la probabilité d'erreur de l'opérateur.
- **Indication en Salle de Contrôle :**



- Il n'y avait aucune indication sur la console de contrôle pour montrer qu'il n'y avait pas de flux de vapeur à travers les serpentins du four. L'absence de cette information critique a empêché l'opérateur de réaliser rapidement qu'il n'y avait pas du flux de vapeur.
- **Alarme de Faible Débit :**
  - Il n'y avait pas d'alarme de faible débit ou de déclenchement automatique sur le four. Une telle alarme aurait pu avertir l'opérateur de l'absence de flux de vapeur et prévenir la surchauffe des tubes et leurs effondrements.

Plutôt que de blâmer exclusivement l'opérateur pour cet incident, il est essentiel de reconnaître les défaillances systémiques et d'améliorer la conception ergonomique pour éviter des erreurs similaires à l'avenir. Il est important d'améliorer l'accès et la visibilité des vannes critiques pour les rendre plus faciles à les repérer et plus sûres à manipuler. De plus, la mise en place d'indicateurs en salle de contrôle pour surveiller les flux dans les systèmes critiques et l'installation d'alarmes de faible débit et de dispositifs de sécurité automatisés peuvent prévenir la surchauffe et la défaillance du système. En intégrant ces éléments ergonomiques et technologiques, on pouvait réduire significativement le risque d'erreurs humaines et améliorer la sécurité opérationnelle de cette installation.

#### **IV.7.7. Anthropométries d'une nouvelle installation**

L'importation de main-d'œuvre moins chère est souvent motivée par de nombreux facteurs socio-économiques. Dans de nombreux cas, les pays importateurs de cette main-d'œuvre sont confrontés à une pénurie de travailleurs qualifiés. Les travailleurs étrangers peuvent également être plus rentables à recruter que les travailleurs locaux, ce qui peut être attrayant pour les employeurs qui cherchent à réduire leurs coûts de production (OPEX). En outre, certains travailleurs étrangers sont recrutés pour leurs compétences spécifiques dans des domaines où il existe un besoin particulier et où la main-d'œuvre nationale est insuffisamment qualifiée. Dans une nouvelle unité conçue sur la base des critères anthropométrique d'une population locale, après la finalisation de la construction, elle s'est trouvée exploitée par un personnel multinational de sud et de sud-est de l'Asie.

La première conception a été faite pour convenir un personnel local qui a des paramètres anthropométriques similaires au pays originaire de conception. Mais quand il s'agit d'un personnel de l'Asie, il y a lieu de signaler qu'il y a une grande différence entre la taille moyenne locale où l'unité est installée et la taille moyenne du personnel du sud-est de l'Asie.

Dans le cadre d'une investigation sur l'implantation des critères ergonomique, la constatation la plus remarquable est que le personnel trouve beaucoup de difficultés dans l'exploitation quotidienne surtout avec l'élévation des vannes et les instruments de mesure qui paraissent plus élevées (inaccessibles) par rapport à la taille moyenne des travailleurs.

#### **IV.7.8.Mauvaise dimension des vannes de by-pass :**

Les vannes de contrôle sont utilisées généralement pour le contrôle d'un paramètre procédé tel que la pression, la température, le débit, le niveau.

Généralement le contrôle automatique du procédé se fait à travers ces vannes de contrôle. Dans les installations pétrochimiques, gazières et pétrolières, on trouve ces vannes munies de by-pass pour permettre les opérateurs d'intervenir en mode manuel.

Le fonctionnement de ces vannes se base sur les informations suivantes :

- La lecture de paramètre à contrôler (pression, température, débit, niveau) par le biais de transmetteurs PT ; TT ; FT ; LT.
- La consigne process à suivre.

Dans le cas où la vanne automatique n'est pas disponible pour une quelconque raison (maintenance, défaillance) l'opérateur doit isoler cette dernière et contrôler manuellement le procédé par la vanne de by-pass.

L'intervention de l'opérateur se base soit sur la lecture de paramètre à contrôler soit directement en visuel s'il s'agit du niveau dans un ballon ou il reçoit l'information d'un autre opérateur ou de la salle de control par le biais d'un radio.

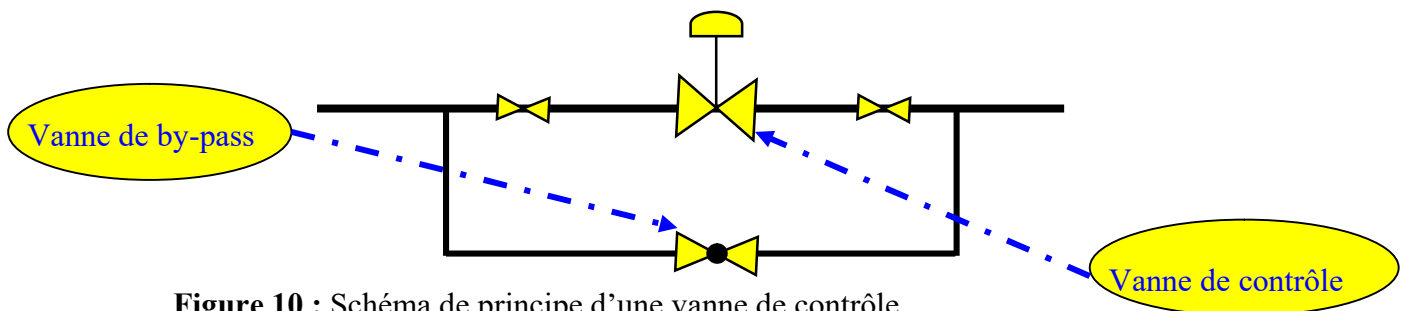


**Figure 10 : Schéma de principe d'une vanne de contrôle**

La conception de vannes de contrôle suit des calculs et des procédures de la boîte d'ingénierie puis vient la confirmation du fournisseur de ces vannes. En ce qui concerne le dimensionnement des vannes de by-pass, la conception se base surtout sur les bonnes pratiques industrielles et sur les guidelines, les standards et les normes internationaux, La norme API 553 indique que : *'B. Pour la contrôlabilité, la dimension de la vanne de by-pass*

*ne doit pas dépasser de façon significative la vanne de contrôle. Il n'est pas rare de faire des by-pass plus petits que celles de la ligne principale.*''

La norme ici n'a pas donné en précision qu'est ce qu'on doit mettre. Donc les compagnies d'ingénierie ont un intervalle libre de mettre ce qu'elles veulent comme dimension pour le dimensionnement des vannes de by-pass. mais il est clair que la vanne de by-pass doit être inférieure ou égale à la vanne de contrôle principale.

Dans un projet pétrochimique, la compagnie d'ingénierie responsable de la réalisation, a doublé la dimension de la vanne de by-pass par rapport à la vanne de contrôle. De point de vue ergonomique et pour rendre le contrôle manuel faisable et pratique aux opérateurs, la taille de cette vanne doit être égale ou légèrement inférieure à celle de la vanne de contrôle. La compagnie d'engineering a installé plusieurs vannes de by-pass dépassant largement la dimension de la vanne de contrôle (en plusieurs cas la taille est doublée). Généralement la plupart des compagnies d'engineering n'installent pas les vannes de by-pass au-dessus de certaine dimension parce que une fois la dimension de la vanne de by-pass dépasse une certaine valeur, le contrôle manuel devient très difficile voire impossible et même de point de vue ergonomique dès que la vanne dépasse 10 pouces, la manipulation de la vanne devient difficile et fatigante.

L'analyse de ces données nous indique que 45 % des vannes de by-pass ne sont pas conformes ce qui est inacceptable pour les raisons suivantes :

- Baisse de la productivité
- Les opérateurs mettent plus d'effort pour pouvoir contrôler
- Génération des situations désagréable pour les opérateurs.

Les raisons possibles qui poussent cette compagnie d'engineering à choisir cette option et commettre ces erreurs sont dans ce cas :

- La méconnaissance de standard de conception et les bonnes pratiques et le non-respect aux règles de conception.
- Réduire la charge du travail parce qu'un design ergonomique nécessite beaucoup de temps pour l'analyse.
- Le client n'a pas spécifié ses exigences en matière d'ergonomie.

Ces exemples illustrent l'importance de la conception ergonomique pour prévenir les accidents et les blessures dans divers secteurs. Une attention insuffisante aux critères ergonomiques lors de la phase de conception peut non seulement nuire à la santé et à la sécurité des travailleurs, mais aussi entraîner des coûts importants pour les entreprises en raison des arrêts de travail, des soins médicaux et des litiges juridiques à cause des accidents.

## **IV.8. Étude des Risques et de l'Opérabilité (HAZOP) et Human-HAZOP**

### **IV.8.1. Introduction**

Dans le domaine de la sécurité industrielle et de l'ergonomie, les méthodes d'analyse des risques jouent un rôle crucial pour identifier et prévenir les dangers potentiels. Parmi ces méthodes, l'HAZOP (Hazard and Operability Study) et le Human-HAZOP se distinguent comme des outils essentiels pour évaluer les risques techniques et humains.

### **IV.8.2. HAZOP: Hazard and Operability Study**

#### **IV.8.2.1. Définition et objectifs**

L'HAZOP est une méthode structurée et systématique utilisée pour identifier les risques potentiels dans les systèmes industriels, en particulier dans les processus chimiques, pétroliers ou de production. Son objectif principal est de détecter les écarts par rapport aux conditions normales d'exploitation qui pourraient entraîner des dangers pour les personnes, l'environnement ou les équipements. Initialement développée pour l'industrie chimique, cette méthode a été adaptée à divers secteurs grâce à son approche rigoureuse et collaborative.

#### **IV.8.2.2. Principes de base**

L'HAZOP repose sur l'analyse des écarts par rapport aux conditions de fonctionnement prévues. Pour ce faire, une équipe pluridisciplinaire examine chaque composant du système en utilisant des mots-guides (par exemple, "pas de", "plus de", "moins de", "autre que") pour explorer les causes et les conséquences des écarts possibles. Cette approche permet une évaluation exhaustive des risques en se concentrant sur des paramètres clés tels que la température, la pression, le débit et la concentration.

#### **IV.8.2.3. Étapes de la méthode**

##### **1. Préparation :**

- Définir le système à analyser et établir les objectifs de l'étude.
- Constituer une équipe pluridisciplinaire (ingénieurs, opérateurs, experts en sécurité, etc.).
- Collecter la documentation nécessaire (schémas de procédés, procédures d'exploitation, données de conception).

##### **2. Identification des nœuds :**

- Diviser le système en sections fonctionnelles appelées "nœuds" (ex. : une pompe, un échangeur, une vanne).
- Chaque nœud est analysé séparément pour garantir une étude détaillée.

3. Application des mots-guides :

- Utiliser des mots-guides pour explorer les écarts possibles par rapport aux conditions normales de fonctionnement.
- Examiner les causes et les conséquences potentielles de chaque écart.

4. Analyse des causes et conséquences :

- Identifier les risques pour la sécurité, l'environnement et l'efficacité opérationnelle.
- Évaluer les conséquences (arrêt de production, dommages matériels, pollution, blessures).

5. Recommandations :

- Examiner les protections existantes (capteurs, alarmes, soupapes de sécurité).
- Proposer des mesures correctives ou d'amélioration pour réduire les risques identifiés.

6. Documentation :

- Consigner les résultats de l'analyse dans un rapport détaillé.
- Prioriser les actions correctives et définir un plan de mise en œuvre et le responsable de l'action.

7. Suivi de la mise en œuvre :

- Suivre l'application des mesures correctives décidées.
- Mettre à jour la documentation et les procédures opérationnelles.

#### **IV.8.2.4. Applications**

L'HAZOP est largement utilisé dans les industries à haut risque, telles que la pétrochimie, la pharmacie et l'énergie. Il permet d'améliorer la sécurité des installations, de garantir la conformité aux réglementations et de réduire les risques d'accidents majeurs.

#### **IV.8.2.5. Limites**

Bien que l'HAZOP soit efficace pour identifier les risques techniques, il présente certaines limites :

- Subjectivité : La méthode repose sur le jugement humain.
- Complexité : La mise en œuvre peut être longue et coûteuse, notamment pour des installations complexes.
- Facteurs humains : L'HAZOP ne prend pas en compte de manière exhaustive les erreurs humaines, d'où l'émergence du Human-HAZOP.

### **IV.8.3. Human-HAZOP : Intégration des facteurs humains**

#### **IV.8.3.1. Définition et objectifs**

Le Human-HAZOP est une adaptation de la méthode HAZOP qui se concentre spécifiquement sur les erreurs humaines et les facteurs ergonomiques dans les systèmes industriels. Son objectif est d'identifier les risques liés à l'interaction entre les opérateurs et les systèmes, en tenant compte des aspects cognitifs, physiques et organisationnels.

#### **IV.8.3.2. Principes de base**

Le Human-HAZOP intègre des concepts issus de l'ergonomie et de la psychologie cognitive pour analyser les erreurs humaines potentielles. Il examine comment les opérateurs interprètent les informations, prennent des décisions et interagissent avec les interfaces. Cette méthode utilise des mots-guides spécifiques (ex. : "erreur de perception", "décision incorrecte", "action manquée") pour explorer les erreurs possibles.

#### **IV.8.3.3. Étapes de la méthode**

##### **1. Préparation :**

- Identifier les tâches critiques et les interfaces homme-machine (IHM) à analyser.
- Constituer une équipe pluridisciplinaire incluant des ergonomes et des psychologues.

##### **2. Identification des erreurs humaines :**

- Utiliser des mots-guides spécifiques pour explorer les erreurs possibles.
- Analyser les causes des erreurs humaines (fatigue, stress, mauvaise conception des interfaces).

##### **3. Analyse des causes et conséquences :**

- Examiner les impacts des erreurs humaines sur le système.
- Évaluer les risques pour la sécurité et l'efficacité opérationnelle.

##### **4. Recommandations :**

- Proposer des améliorations ergonomiques pour réduire les risques liés aux erreurs humaines.
- Intégrer des mesures de récupération pour les opérateurs.

##### **5. Documentation :**

- Consigner les résultats dans un rapport détaillé.
- Prioriser les actions correctives et définir un plan de mise en œuvre.

## Chapitre IV : Retour d'expérience de la mauvaise prise en charge des critères ergonomique et l'occurrence des accidents

---

### IV.8.3.4. Applications

Le Human-HAZOP est particulièrement utile dans les industries où les erreurs humaines peuvent avoir des conséquences graves, comme l'aviation, le nucléaire ou les transports. Il permet d'améliorer la conception des interfaces et de réduire les risques liés aux facteurs humains.

### IV.8.3.5. Limites

Le Human-HAZOP présente certaines limites :

- Expertise requise : La méthode nécessite une expertise en ergonomie et en facteurs humains.
- Coût et temps : Elle est souvent plus coûteuse et longue à mettre en œuvre que l'HAZOP traditionnel.
- Subjectivité : Cela signifie que les résultats de l'analyse dépendent en grande partie des perceptions, des expériences et des interprétations des personnes qui la réalisent. Il n'y a pas de critères purement objectifs ou mathématiques pour déterminer les conclusions.

### IV.8.4. Comparaison entre HAZOP et Human-HAZOP

| Critère                   | HAZOP                                      | Human-HAZOP                                      |
|---------------------------|--------------------------------------------|--------------------------------------------------|
| <b>Objectif principal</b> | Identifier les risques techniques          | Identifier les risques liés aux erreurs humaines |
| <b>Focus</b>              | Systèmes et processus industriels          | Interaction homme-machine et ergonomie           |
| <b>Mots-guides</b>        | Techniques (ex. "pas de", "plus de")       | Ergonomiques (ex. "erreur de perception")        |
| <b>Équipe</b>             | Ingénieurs, chimistes, techniciens         | Ergonomistes, psychologues, ingénieurs           |
| <b>Applications</b>       | Industries à haut risque (chimie, pétrole) | Secteurs critiques (nucléaire, aviation)         |
| <b>Limites</b>            | Ne traite pas les facteurs humains         | Nécessite une expertise en ergonomie             |

### IV.8.5. Synthèse et perspectives

L'HAZOP et le Human-HAZOP sont des méthodes complémentaires qui permettent d'aborder les risques sous des angles différents : technique et humain. Alors que l'HAZOP se concentre sur les défaillances des systèmes, le Human-HAZOP met l'accent sur les erreurs humaines et les aspects ergonomiques. Ensemble, ces méthodes offrent une approche holistique pour améliorer la sécurité et la fiabilité des systèmes industriels.

Dans un contexte où les systèmes deviennent de plus en plus complexes et automatisés, l'intégration des facteurs humains dans les analyses de risques est essentielle. Le Human-HAZOP représente une avancée significative dans ce domaine, mais son adoption nécessite une formation adéquate et une collaboration étroite entre ingénieurs et ergonomes. [23], [24]



## Chapitre IV : Retour d'expérience de la mauvaise prise en charge des critères ergonomique et l'occurrence des accidents

Dans le tableau suivant on illustre exemple de l'étude Human-**HAZOP** adapté à l'industrie pétrolière et gazière, intégrant les erreurs humaines possibles qui peuvent causer des incendies ou explosions.

| Tâche analysée                          | Guide word            | Déviation                                                           | Erreurs humaines possibles                                                                                                                                                                        | Conséquences potentielles                                                               | Mesures d'atténuation                                                                                                                                                                                              |
|-----------------------------------------|-----------------------|---------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Maintenance des équipements             | Mauvaise exécution    | Mauvaise isolation ou étanchéité des équipements                    | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Non-respect des procédures de permis de travail</li> <li>- Erreurs dans l'installation de vannes ou joints</li> <li>- Distraction ou fatigue.</li> </ul> | Fuite de gaz ou de liquide inflammable menant à un incendie ou une explosion.           | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Renforcer les procédures de vérification</li> <li>- Former régulièrement les techniciens</li> <li>- Superviser les tâches critiques.</li> </ul>                           |
| Contrôle des opérations                 | Ignoré                | Alarme ignorée ou mal interprétée                                   | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Manque de vigilance des opérateurs</li> <li>- Confiance excessive dans des systèmes automatiques</li> <li>- Formation insuffisante.</li> </ul>           | Accumulation de pression ou de gaz non détectée, entraînant une fuite ou une explosion. | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Automatiser les réponses critiques</li> <li>- Réaliser des simulations de scénarios d'urgence</li> <li>- Optimiser les interfaces homme-machine.</li> </ul>               |
| Stockage de produits dangereux          | Mauvaise évaluation   | Dépassement des limites de température ou pression                  | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Surveillance inadéquate</li> <li>- Mauvais calcul des seuils d'alerte</li> <li>- Oubli de procédures régulières.</li> </ul>                              | Incendie dû à la libération incontrôlée de substances volatiles.                        | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Installer des systèmes de surveillance continue</li> <li>- Réaliser des audits réguliers</li> <li>- Mettre en place des procédures d'urgence adaptées.</li> </ul>         |
| Manipulation de substances inflammables | Mauvaise manipulation | Déversement ou émission incontrôlée de gaz ou liquides inflammables | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Mauvaise utilisation des équipements</li> <li>- Omission d'outils antidéflagrants</li> <li>- Manque de coordination entre les équipes.</li> </ul>        | Libération de produits entraînant un incendie ou une explosion.                         | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Sensibiliser les équipes aux dangers - Vérifier l'utilisation d'équipements adaptés</li> <li>- Clarifier les responsabilités des équipes.</li> </ul>                      |
| Démarrage/redémarrage des systèmes      | Oubli                 | Omission de vérifier la configuration des systèmes avant démarrage  | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Ignorer ou sauter des étapes critiques</li> <li>- Stress ou pression pour redémarrer rapidement - Mauvaise communication entre équipes.</li> </ul>       | Accumulation de gaz ou activation involontaire de systèmes inflammables.                | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Créer des check-lists standardisées - Appliquer des délais suffisants pour les contrôles</li> <li>- Organiser des sessions de briefing après chaque opération.</li> </ul> |

## Chapitre IV : Retour d'expérience de la mauvaise prise en charge des critères ergonomique et l'occurrence des accidents

|                               |        |                                           |                                                                                                      |                                                                                                           |                                                                                                                                                                   |
|-------------------------------|--------|-------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Gestion des permis de travail | Manque | Permis de travail incomplet ou inexistant | - Non-respect des procédures d'autorisation - Erreurs administratives - Négligence des superviseurs. | Incendie ou explosion causée par des travaux non sécurisés (ex. soudure à proximité de gaz inflammables). | - Mettre en place un système numérique de gestion des permis<br>- Former les superviseurs aux exigences des permis<br>- Vérifier la conformité avant les travaux. |
|-------------------------------|--------|-------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

La contribution possible des erreurs humaines à l'apparition d'accidents

| Action ou tâche analysée         | Accident                                                                                                                                                                       | Déviatio<br>(scénario)                     | Erreurs humaines possibles                                                                                                        | Conséquences                                                                                | Mesures d'atténuation possibles                                                                                                   |
|----------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Gestion des démarrages et arrêts | Explosion de Texas City (BP, 2005)<br><br><b>Texas City</b> : La précipitation pour redémarrer l'installation a conduit à des erreurs critiques.                               | Mauvaise gestion du redémarrage des unités | - Ignorance des procédures de démarrage<br>- Décisions sous pression (manque de temps)<br>- Mauvaise communication entre équipes. | Explosion causant 15 morts et 180 blessés.                                                  | - Mettre en place des checklists strictes pour les phases critiques<br>- Assurer une supervision renforcée lors des redémarrages. |
| Surveillance des équipements     | Catastrophe de Bhopal (Union Carbide, 1984)<br><br><b>Bhopal</b> : La désactivation des alarmes et le manque de maintenance ont joué un rôle clé dans l'ampleur de l'accident. | Ignorance des alarmes                      | - Désactivation des systèmes d'alarme<br>- Manque de maintenance préventive<br>- Négligence des inspections régulières.           | Fuite de gaz toxique causant des milliers de morts et des impacts environnementaux massifs. | - Installer des systèmes d'alarme fiables et redondants<br>- Former les équipes à répondre rapidement aux alarmes.                |
| Gestion des permis de            | Explosion de Piper Alpha (Occidental,                                                                                                                                          | Omission de consignes critiques            | - Non-respect des procédures de permis de                                                                                         | Explosion et incendie causant 167 morts.                                                    | - Automatiser la gestion des permis de travail                                                                                    |

## Chapitre IV : Retour d'expérience de la mauvaise prise en charge des critères ergonomique et l'occurrence des accidents

|                                   |                                                                                                                                                                    |                                                       |                                                                                                                                                   |                                                                                   |                                                                                                                           |
|-----------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| travail                           | 1988)<br><br><b>Piper Alpha</b> : Une mauvaise gestion des permis a conduit à des conditions dangereuses de passer inaperçues.                                     | avant travaux de maintenance                          | travail<br>- Absence de coordination entre les équipes de maintenance et d'exploitation- Superviseurs non vigilants.                              |                                                                                   | - Imposer des inspections croisées avant début des travaux.                                                               |
| Contrôle des stocks de carburants | Incendie de Buncefield (Hertfordshire, 2005)<br><br><b>Buncefield</b> : Une erreur dans la surveillance des réservoirs a entraîné un débordement et une explosion. | Dépassement des niveaux critiques dans les réservoirs | - Inattention des opérateurs à la jauge de niveau<br>- Absence de vérification manuelle<br>- Erreur de programmation des systèmes automatiques.   | Explosion et incendie causant des dégâts massifs et des impacts environnementaux. | - Renforcer la surveillance automatisée et manuelle des niveaux<br>- Installer des systèmes de détection de débordement.  |
| Gestion des fuites de gaz         | Fuite de gaz sur Elgin (Total, 2012)<br><br><b>Elgin</b> : La gestion inadéquate des fuites a retardé la réponse nécessaire pour contenir l'incident.              | Retard dans la détection et la gestion d'une fuite    | - Détection tardive du problème<br>- Mauvaise interprétation des données de surveillance<br>- Absence de protocoles clairs pour gérer les fuites. | Fuite massive de gaz mettant en danger les travailleurs et l'environnement.       | - Améliorer les protocoles de réponse aux incidents<br>- Former les opérateurs à détecter et gérer rapidement les fuites. |

## Chapitre IV : Retour d'expérience de la mauvaise prise en charge des critères ergonomique et l'occurrence des accidents

### Cas réel des études HAZOP dans une installation industrielle

| Déviaton                  | Causes                                                                                                                                         | Conséquences                                                                                                                                                                                                  | Mesures de sécurité en place                                                                                                                                                                             | Recommandations                                                                                                                                      | Resp             |
|---------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------|
| Flux inversé / mal dirigé | La ligne de déviation du coalesceur de gaz d'alimentation laissée ouverte par erreur.                                                          | Entraînement potentiel de condensats / solides vers l'aval (compresseur de gaz d'alimentation). Risque potentiel de dommages au compresseur.                                                                  | Un ballon d'aspiration du compresseur est équipé d'un contrôleur de niveau (LIC) et d'un déclenchement en cas de niveau très haut (LAHH) pour le compresseur de gaz d'alimentation.                      |                                                                                                                                                      |                  |
|                           |                                                                                                                                                |                                                                                                                                                                                                               | En cas de by pass du compresseur de gaz d'alimentation, un autre ballon de flash est prévu en amont du lit de de garde de mercure.                                                                       |                                                                                                                                                      |                  |
|                           |                                                                                                                                                |                                                                                                                                                                                                               | Un filtre d'aspiration est prévu pour le compresseur de gaz d'alimentation, avec une alarme de pression différentielle élevée (PDI) et un déclenchement en cas de pression différentielle élevée (PALL). |                                                                                                                                                      |                  |
|                           | Erreur de l'opérateur en maintenant l'alimentation en gaz de dégivrage connectée lorsque le collecteur est utilisé pour le service de l'azote. | Tout retour de flux depuis le processus peut entraîner l'intrusion d'hydrocarbures (HC) dans le système d'azote. Il s'agit d'un risque potentiel de sécurité lorsque l'azote est utilisé à des fins de purge. | Une procédure est en place pour isoler la ligne de gaz de dégivrage à l'aide d'un double bloc.                                                                                                           | Envisager la mise en place d'un joint plein entre les deux vannes de blocage sur la connexion du gaz de dégivrage (en aval de la vanne de contrôle). | Entrepreneu<br>r |

## Chapitre IV : Retour d'expérience de la mauvaise prise en charge des critères ergonomique et l'occurrence des accidents

| Déviatio                                  | Causes                                                                    | Conséquences                                                                                                                               | Mesures de sécurité en place                                                                                                                                                                          | Recommandations | Resp |
|-------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------|------|
| Niveau élevé                              | Vidange de l'amine de 2 trains GNL en raison d'une erreur de l'opérateur. | Le 02-MF21 est conçu pour un seul train. Risque de remplissage excessif du 02-MF21, ce qui pourrait entraîner une surpression potentielle. | Une alarme de niveau élevé provenant de 02-LI-0002 est installée sur le 02-MF21.                                                                                                                      |                 |      |
|                                           |                                                                           |                                                                                                                                            | Une ligne de débordement est prévue pour le 02-MF21 et est adaptée à ce cas.                                                                                                                          |                 |      |
|                                           |                                                                           | Déversement de la solution d'amine dans l'atmosphère.                                                                                      | Le réservoir de stockage de solvant 02-MF21 est situé dans une cuvette de rétention (partagée avec d'autres réservoirs de stockage et ayant un volume suffisant pour contenir le contenu du 02-MF21). |                 |      |
| Changement de composition / Contamination | Présence de CO2/H2O dans le gaz de dégivrage.                             | Possibilité de colmatage des tubes de l'échangeur de chaleur lorsqu'il est mis en ligne.                                                   | Un analyseur en ligne de CO2/H2O est prévu pour le gaz d'alimentation sec.                                                                                                                            |                 |      |
|                                           |                                                                           |                                                                                                                                            | Procédure pour vérifier la qualité du gaz de dégivrage avant de commencer l'opération de dégivrage.                                                                                                   |                 |      |
|                                           |                                                                           |                                                                                                                                            | Échantillonnage régulier du gaz d'évent de chaque équipement pendant l'opération de dégivrage pour contrôler la teneur en humidité.                                                                   |                 |      |

## Chapitre IV : Retour d'expérience de la mauvaise prise en charge des critères ergonomique et l'occurrence des accidents

| Déviatio                       | Causes                                                                                                                                         | Conséquences                                                                                                                                                                                                                   | Mesures de sécurité en place                                                                         | Recommandations                                                                                                                                                                              | Resp             |
|--------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------|
| Plus de débit                  | Fonctionnement simultané des deux pompes du séparateur (A/B) en raison d'une erreur de l'opérateur.                                            | Plus de débit vers le brûleur de rejet liquides, avec un impact potentiel sur les performances du système de brûlage.                                                                                                          | Le système de brûleur est dimensionné pour le fonctionnement simultané des deux pompes en parallèle. | Examiner le système de brûleur de rejet de liquides en ce qui concerne les systèmes de contrôle, les dispositifs de sécurité et toute possibilité d'obstruction sur la ligne d'alimentation. | Entrepreneu<br>r |
| Flux inversé / flux mal dirigé | La ligne d'appoint de propane à partir du ballon d'aspiration HHP vers la boucle de réfrigération (vanne manuelle) laissée ouverte par erreur. | Perte de l'inventaire du système de propane vers la boucle MR, entraînant une perte de niveau dans l'accumulateur 16-MD06. Finalement, perte de circulation du propane, ce qui pourrait conduire à un arrêt de l'installation. | Une alarme de niveau bas provenant de 16-LI-0032 est installée dans l'accumulateur 16-MD06.          |                                                                                                                                                                                              |                  |
|                                |                                                                                                                                                |                                                                                                                                                                                                                                | Une installation d'appoint de propane est fournie depuis la sphère de propane.                       |                                                                                                                                                                                              |                  |

## Chapitre IV : Retour d'expérience de la mauvaise prise en charge des critères ergonomique et l'occurrence des accidents

| Déviation | Causes                                                                                                                        | Conséquences                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | Mesures de sécurité en place                                                               | Recommandations | Resp |
|-----------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------|------|
|           |                                                                                                                               | Perturbation de la composition de la boucle MR et risque de perturbation dans l'échangeur de chaleur.                                                                                                                                                                                                                       |                                                                                            |                 |      |
|           | La ligne d'appoint de propane de la sphère de propane vers le ballon d'aspiration LP (16-HV-0184) laissée ouverte par erreur. | Augmentation de l'inventaire dans la boucle de propane entraînant une hausse du niveau dans l'accumulateur de propane.<br>En conséquence immédiate, la pression d'aspiration de l'étage LP ainsi que dans les échangeurs de chaleur de propane LP, va augmenter. Cela affectera la température du gaz résiduel et de la MR. | L'alarme de haut niveau est fournie dans l'accumulateur.                                   |                 |      |
|           |                                                                                                                               |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | Alarme de haute température à la sortie de l'échangeur.                                    |                 |      |
|           |                                                                                                                               |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | Alarme de haute température fournie à l'entrée de l'échangeur de chaleur de gaz de résidu. |                 |      |

## Chapitre IV : Retour d'expérience de la mauvaise prise en charge des critères ergonomique et l'occurrence des accidents

| Déviatio                          | Causes                                                                                                                         | Conséquences                                                                                                                                                                                                           | Mesures de sécurité en place                                                                                                                      | Recommandations                                                                                                                                                      | Resp             |
|-----------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------|
|                                   | Les deux pompes de transfert A et B fonctionnent simultanément en raison d'une erreur de l'opérateur.                          | Pression potentiellement élevée dans la ligne de transfert.                                                                                                                                                            | La ligne de transfert de propane est conçue pour une pression maximale (démarrage de la pompe à vanne fermé )                                     | La procédure d'exploitation doit indiquer de démarrer soit la pompe A, soit la pompe B (par exemple, en maintenant la vanne manuelle appropriée en position fermée). | Entrepreneu<br>r |
| Flux inversé /<br>flux mal dirigé | La ligne d'appoint de propane depuis le ballon d'aspiration HHP vers la boucle MR a été laissée ouverte par erreur.            | Perte d'inventaire du système de propane vers la boucle MR, entraînant une baisse du niveau dans l'accumulateur 16-MD06. Cela conduit finalement à une perte de circulation du propane et à l'arrêt de l'installation. | Alarme de bas niveau dans l'accumulateur 16-MD06.<br><br>Le système d'appoint de propane est alimenté par la sphère de propane.                   |                                                                                                                                                                      |                  |
|                                   |                                                                                                                                | Perturbation dans la composition du MR et perturbation potentielle dans le MCHE.                                                                                                                                       | Alarme de haute température fournie à l'entrée du gaz de résidu dans le MCHE.                                                                     |                                                                                                                                                                      |                  |
|                                   |                                                                                                                                | Augmentation de l'inventaire dans la boucle de propane, entraînant une hausse du niveau dans l'accumulateur de propane.<br>En conséquence immédiate,                                                                   | Alarme de haut niveau de 16-LI-0032 fournie dans l'accumulateur.<br><br>Alarme de haute température de 16-TI-0094 fournie à la sortie de 16-MC07. |                                                                                                                                                                      |                  |
|                                   | Ligne d'appoint de propane depuis la sphère de propane vers le ballon d'aspiration basse pression (16-HV-0184) laissée ouverte |                                                                                                                                                                                                                        |                                                                                                                                                   |                                                                                                                                                                      |                  |



## Chapitre IV : Retour d'expérience de la mauvaise prise en charge des critères ergonomique et l'occurrence des accidents

| Déviation | Causes      | Conséquences                                                                                                                                                                 | Mesures de sécurité en place                                                                                                                    | Recommandations | Resp |
|-----------|-------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------|------|
|           | par erreur. | la pression d'aspiration basse pression ainsi que celle des refroidisseurs de propane basse pression augmentera.<br>Cela affectera la température du gaz de résidu et du MR. |                                                                                                                                                 |                 |      |
|           |             | Lors du démarrage, une pression élevée potentielle à l'aspiration du compresseur.<br>Risque potentiel de surcharge du compresseur s'il est démarré.                          | Une permissive est prévue pour empêcher le démarrage du compresseur principal de propane 16-MJ04 en cas de pression très élevée à l'aspiration. |                 |      |

### **V. Chapitre V : Méthodologie de travail**

#### **V.1. Introduction**

L'ergonomie est une discipline qui vise à concevoir des environnements de travail adaptés aux besoins et aux capacités des travailleurs afin d'améliorer leur performance, leur bien-être et leurs sécurités. L'intégration de principes ergonomiques dans un site industriel peut avoir des impacts significatifs sur la productivité, la satisfaction des travailleurs, la réduction des risques des maladies professionnelles et les accidents.

Dans un contexte où les entreprises cherchent constamment à optimiser leurs processus de production, à minimiser le taux des accidents dans les sites de production et à améliorer le confort de leurs travailleurs, l'intégration de la conception ergonomique devient une priorité. Dans le cadre de cette étude, une investigation globale est entreprise en se basant sur un sondage, des entretiens avec les ingénieurs, des observations directes et des analyses des documents pour fournir une image complète de l'impact de l'ergonomie sur le site.

#### **V.2. Techniques et outils de collecte de données**

Cette étude de cas a été menée en se basant sur trois axes principaux. Tout d'abord, une investigation a été menée sur la documentation du projet. Dans la deuxième étape, nous avons utilisé un questionnaire pour réaliser des sondages sur la familiarité du personnel client et entrepreneur avec la conception ergonomique et son implantation dans les nouvelles installations pétrolières et gazières, puis en troisième étape des visites sur site ont été effectuées dans les nouvelles installations nouvellement construites. Ces trois axes méthodologiques nous ont permis d'obtenir une compréhension complète de l'intégration des critères ergonomiques dans le contexte de notre étude. Dans notre étude de cas, en effectuant les visites de sites, des entretiens approfondis ont été menés avec les ingénieurs qui ont participé aux projets étudiés (client et entrepreneur) et avec le personnel d'exploitation après avoir terminé la construction de ces usines.

#### **V.3. Sondages sur l'implantation de la conception ergonomique**

L'ergonomie joue un rôle important dans la sécurité, le confort et la productivité des employés dans tous les secteurs industriels, y compris l'industrie gazière et pétrolière. Avec des environnements de travail souvent exigeants et des tâches physiquement intenses, l'intégration de principes ergonomiques peut significativement réduire les risques de blessures, améliorer le bien-être des travailleurs et augmenter l'efficacité opérationnelle. Les questions de notre

sondage visent à recueillir des informations précieuses sur la perception, la connaissance et l'application de l'ergonomie au sein de l'industrie gazière et pétrolière. Les réponses nous aideront à identifier les domaines nécessitant des améliorations, à comprendre les défis rencontrés et à promouvoir des pratiques ergonomiques optimales. Un support de questionnaire technique a été développé et utilisé lors des entretiens avec les ingénieurs et les concepteurs, où le même support est utilisé pour tout le monde. Lors de l'entretien, la langue française a été principalement utilisée. Parfois, les langues arabe et anglaise sont utilisées pour rendre l'idée plus claire.

L'approche utilisée dans cette étude de cas, consiste à inciter les personnes interrogées à répondre à des questions lorsqu'elles ont une idée sur l'ergonomie, même si leurs idées sont floues. Lorsque les interviewés ignorent totalement le sujet, nous avons procédé à leurs expliquer et définir l'ergonomie pour leur permettre de répondre clairement au questionnaire. Les réponses des personnes interrogées ont été enregistrées de manière manuscrite sur le support du questionnaire.

Le support utilisé dans le contexte de notre étude de cas commence par une introduction succincte qui définit le cadre fondamental sur lequel repose notre étude de cas, suivi par une définition de l'ergonomie, spécialement pour les personnes qui ne possèdent peut-être pas de connaissances préalables ou ne sont pas familiarisées avec les principes et pratiques qui en relation avec le domaine de l'ergonomie.

**Tableau 02 : les questions posées lors des entretiens**

| Domaine    |  |           |  |                 |  |             |  |                          |       |
|------------|--|-----------|--|-----------------|--|-------------|--|--------------------------|-------|
| production |  | Sécurité  |  | Technique       |  | Maintenance |  | Engineering Project team | autre |
| Discipline |  |           |  |                 |  |             |  |                          |       |
| process    |  | Mécanique |  | Instrumentation |  | Électricité |  | HSE                      | autre |
| Experience |  |           |  |                 |  |             |  |                          |       |
| 0-5 ans    |  | 5-10 ans  |  | 10-15 ans       |  | 15-20 ans   |  | >20 ans                  |       |

| (I) Connaissance des documents et des exigences de l'ergonomie |
|----------------------------------------------------------------|
| Connaissez-vous des documents ergonomie ?                      |
| Connaissez-vous des exigences en ergonomie ?                   |

## Chapitre V : Méthodologie de travail

|                                                                                                                                                     |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Les questions de suivi pour les personnes qui semblaient connaître les documents et / ou les exigences étaient :                                    |
| Quel est l'objet de ces documents ?                                                                                                                 |
| Pouvez-vous donner un exemple sur l'utilisation des exigences d'ergonomie ?                                                                         |
| Comment considérez-vous la qualité des exigences d'ergonomie ?                                                                                      |
| <b>(II) relation propre à l'ergonomie</b>                                                                                                           |
| Avez-vous une influence sur l'ergonomie par votre travail ?                                                                                         |
| Êtes-vous responsable de tout aspect d'ergonomie ?                                                                                                  |
| Avez-vous une influence sur ergonomie par votre travail ?                                                                                           |
| Êtes-vous responsable de tout aspect d'ergonomie ?                                                                                                  |
| Quelle est l'importance des exigences d'ergonomie pour votre affectation ?                                                                          |
| <b>(III) connaissance des responsabilités en matière d'ergonomie et organisation d'ergonomie</b>                                                    |
| Qui est responsable de différentes parties d'ergonomie ?                                                                                            |
| Comment fonctionne l'ergonomie dans le projet ?                                                                                                     |
| Comment les tâches et les responsabilités sont-elles réparties entre le personnel de ligne (opérationnel) et le personnel (fonctionnel / support) ? |
| <b>(IV) problèmes ergonomiques</b>                                                                                                                  |
| Citer un problème ergonomique rencontré <ul style="list-style-type: none"> <li>• En général</li> <li>• Liée à ta discipline</li> </ul>              |

**Tableau 03 :** significations des mots clé d'évaluation

|                            |                                                             |
|----------------------------|-------------------------------------------------------------|
| <i>Inconnu</i>             | Aucune idée de la question                                  |
| <i>Peu connu</i>           | Au moins une idée de la question sans exemples clairs       |
| <i>Partiellement connu</i> | Connaître avec précision au moins un des sujets de la liste |
| <i>Connu</i>               | Connais bien l'affaire                                      |

### V.4. Population et échantillon :

Notre enquête repose sur l'examen de la documentation relative aux questions d'ergonomie, ainsi que sur un sondage et des entretiens menés auprès des ingénieurs des clients et des concepteurs des entrepreneurs. De plus, des observations ont été réalisées lors de visites sur les sites des installations construites. Deux populations sont ciblées par cette enquête : les ingénieurs clients et les concepteurs des entrepreneurs.

#### **Ingénieurs du client (ingénieurs du projet et ingénieur d'exploitation) ;**

Les ingénieurs interrogés ont été invités à décrire leur compréhension de l'ergonomie, ainsi que les stratégies qu'ils mettent en place pour l'intégrer dans leurs nouvelles d'installations. Ils ont également partagé leur point de vue sur les conséquences d'une conception ergonomiquement déficiente et sur la valeur ajoutée que l'intégration de l'ergonomie peut apporter dans un environnement industriel.

#### **Ingénieurs /concepteurs de l'entrepreneur ;**

Les ingénieurs interrogés ont été invités à décrire leurs étapes typiques de conception, leur compréhension de l'ergonomie et les stratégies qu'ils utilisent pour l'intégrer dans leurs projets.

Les entretiens ont été réalisés auprès d'un échantillon de 10 ingénieurs du côté client, choisis au hasard parmi différentes disciplines (procédés, mécanique, instrumentation, électricité), tous ayant participé aux projets étudiés. Un autre échantillon de 15 ingénieurs travaillant dans l'usine après la fin de la construction a également été interrogé. Du côté des entrepreneurs, nous avons mené des entretiens avec un échantillon de 12 ingénieurs et deux responsables de la conception. Toutes les personnes interrogées possèdent au moins 5 ans d'expérience dans leur domaine, et leur travail est généralement validé par des ingénieurs plus expérimentés (voir tableau 04).

**Tableau 04.** Expérience des ingénieurs interrogés

| Expérience                                        | 5-10 ans | >10 ans |
|---------------------------------------------------|----------|---------|
| <b>Personnel client</b>                           | 24,00 %  | 76,00 % |
| <b>Ingénieurs et concepteur de l'entrepreneur</b> | 16.67 %  | 83.33 % |

### V.5. Un diagramme de conception

L'organigramme du processus suivant illustre les principales étapes des activités de conception et d'ingénierie. La conception repose sur les exigences des clients, telles qu'elles

sont définies dans les cahiers des charges, tout en respectant les spécifications, les normes, les standards, les guidelines, ainsi que les bonnes pratiques. Pour répondre aux exigences de conception, les concepteurs des sociétés d'engineering suivent les étapes clés représentées dans l'organigramme (**Figure 11**).

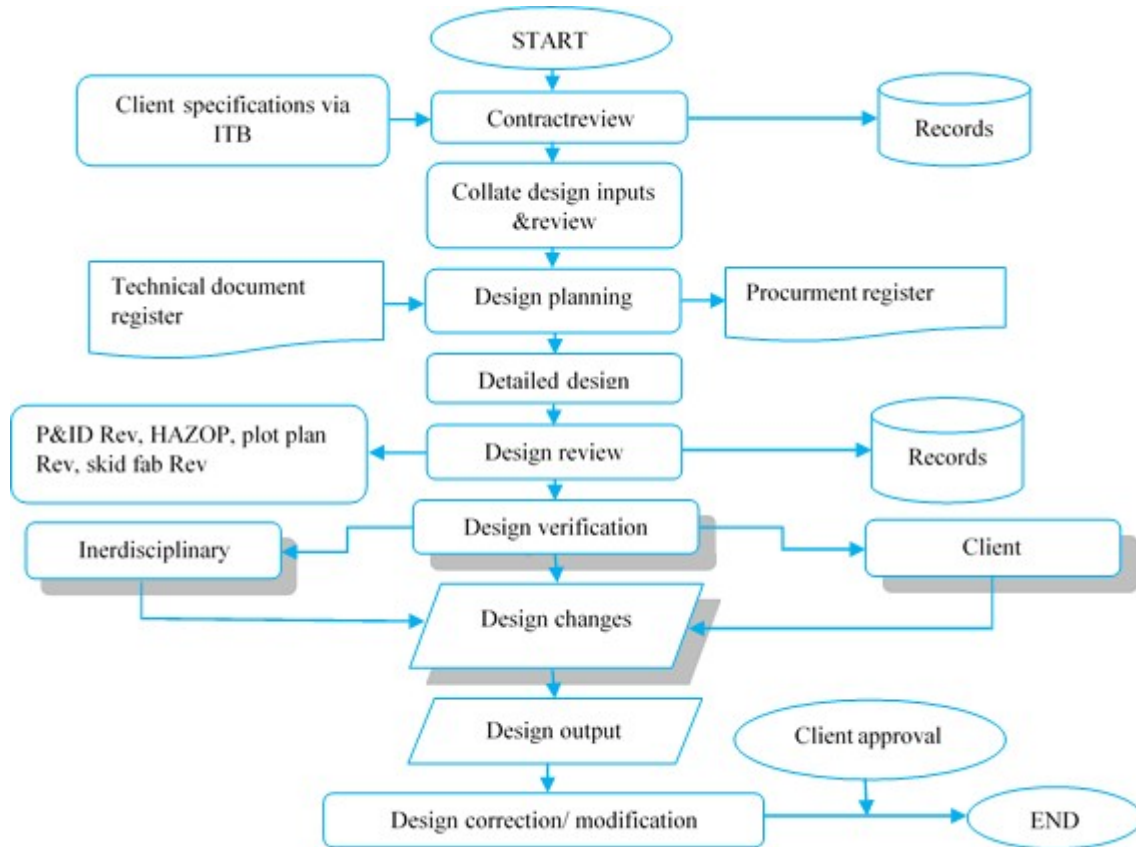


**Figure 11** : processus de conception

Les spécifications ergonomiques sont demandées via les cahiers des charges présentée dans la partie supérieure de la **Figure 11**, au milieu du processus de conception, le client participe à la vérification (contrôle) de ce qui a été mis en œuvre en réponse de la société d'ingénierie à sa demande et à la fin, une approbation du client assurant un contrôle de ce qui a été appliqué.

Le client est appelé à contrôler la mise en œuvre d'une conception ergonomique en approuvant le document avant la fin du processus de la conception et bien sûr en se préparant à l'étape suivante de réalisation.

### V.6. Procédure de collecte de données :

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

cette usine. Les discussions sur l'aspect ergonomie et facteurs humains ont été menées avec le personnel d'exploitation de cette usine.

Lors des visites sur site, nous avons utilisé une liste de contrôle générale **Tableau 05** (checklist) pour faciliter la vérification des critères ergonomiques dans les différentes sections des installations

Les discussions avec le personnel du client nous font également découvrir les problèmes résiduels d'une mauvaise intégration ergonomique dans la conception finale.

Lors de notre investigation, des exemples de la mauvaise et de la bonne conception ergonomique sont photographiées

**Tableau 05:** Checklist dans les visites sur site

|  |                                                                                                                                      |                                                            |
|--|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------|
|  | <b>Accès et espacement</b>                                                                                                           |                                                            |
|  |                                                                                                                                      | <b>6. Conception de la tuyauterie</b>                      |
|  | <b>1. Disposition des équipements</b>                                                                                                | Portée de la vanne                                         |
|  | Chemins de visite normaux                                                                                                            | Espacement des vannes                                      |
|  | Voies des opérations d'urgence                                                                                                       | Indication de la position de la vanne                      |
|  | Accès maintenance                                                                                                                    | Accès aux soupapes de sécurité                             |
|  | Vanne de blocage d'urgence (EBV)                                                                                                     | Accès aux instruments                                      |
|  | Postes de contrôle                                                                                                                   | Stations de prélèvement manuelles                          |
|  | Stations utilitaires                                                                                                                 | <b>Interface de contrôle</b>                               |
|  | Points de prélèvement manuels                                                                                                        | Dispositions du panneau de commande                        |
|  | Douches de sécurité                                                                                                                  | Disposition/emplacement de l'alarme                        |
|  | Accès pour escaliers mobiles                                                                                                         | Disposition/emplacement des contrôles                      |
|  | Installations de lutte contre l'incendie                                                                                             | Type d'interrupteurs d'arrêt d'urgence (ESD)               |
|  | <b>2. Conception structurelle</b>                                                                                                    | Convention d'affichage                                     |
|  | Interférence avec les voies d'accès à l'équipement                                                                                   | Cohérence des contrôles                                    |
|  | Accès à la limite de batterie et aux EBV                                                                                             | Visibilité jour/nuit                                       |
|  | Accès depuis les plates-formes aux équipements fréquemment utilisés (par exemple, filtres, vannes manuelles, instruments, commandes) | Étiquettes                                                 |
|  | Accès aux passages d'homme des ballons                                                                                               | <b>2. Données d'alarme sonore</b>                          |
|  | Accès aux joint pleins, purgeurs                                                                                                     | Variabilité des alarmes (H2S, incendie)                    |
|  | Hauteur sous les structures                                                                                                          | Emplacements/audibilité des alarmes                        |
|  | Poutres de chariot pour levage                                                                                                       | <b>3. plans de la console de la salle de contrôle (CR)</b> |
|  | Plateformes connectées                                                                                                               | Disposition/emplacement de l'alarme de priorité 1          |
|  | <b>3. Plans des unités Skid</b>                                                                                                      | Module de communication                                    |
|  | (par exemple, injection de produits chimiques, unités de lubrification de compresseur)                                               | Moniteurs de télévision                                    |
|  | Accès aux équipements                                                                                                                | Espace de stockage pour les manuels                        |

## Chapitre V : Méthodologie de travail

|  |                                           |                                                       |
|--|-------------------------------------------|-------------------------------------------------------|
|  | Localisation des contrôles                | <b>Interface électrique</b>                           |
|  | <b>4. Plans de fours</b>                  | Disposition du bâtiment, portes.                      |
|  | Accès aux brûleurs/pilotes                | Transformateurs                                       |
|  | <b>5. plans du compresseur/soufflante</b> | Appareillage de commutation                           |
|  | Accès aux filtres, sondes                 | Centre de contrôle des moteurs                        |
|  | Accès aux contrôles                       | Stockage de la batterie                               |
|  | <b>Environnement de travail</b>           | Étiquettes/étiquetage                                 |
|  | 1. Disposition de l'éclairage             | <b>Étiquettes</b>                                     |
|  | Éclairage nocturne                        | 1. Données du système d'étiquetage                    |
|  | 2. Conception de la climatisation         | Équipement/tuyauterie                                 |
|  | Contrôle de la température                | Instruments/contrôles                                 |
|  | Contrôle de l'humidité                    | Informations sur les exigences en matière de marquage |
|  |                                           | Taille/visibilité de l'étiquette                      |
|  |                                           | <b>Données de codage couleur</b>                      |
|  |                                           | Vannes d'urgence                                      |

Notre enquête s'est déroulée sur une période large, durant laquelle nous avons pris en compte l'analyse de la documentation, réalisé des entretiens avec les concepteurs et les ingénieurs, ainsi que mené des investigations sur site, pendant la phase de construction et après l'achèvement des travaux de construction.



**VI. Chapitre VI : Partie pratique et investigation sur l'implantation de la conception ergonomique**

L'investigation de la conception ergonomique constitue un outil essentiel pour garantir la création de produits, d'espaces de travail ou de systèmes qui répondent aux besoins et aux capacités des utilisateurs. Dans cette optique, les études de cas offrent une opportunité précieuse pour examiner les processus de conception et d'utilisation à travers des exemples concrets. L'utilisation de questionnaires pour des sondages dans le cadre de telles études de cas peut fournir des données riches et pertinentes pour éclairer les décisions de conception et améliorer l'expérience utilisateur.

Les questionnaires et les interrogatoires offrent un moyen systématique et efficace de collecter des informations auprès des différentes parties prenantes impliquées dans le processus de conception et l'intégration des critères ergonomique. En recueillant ces données de manière structurée, ces questionnaires peuvent aborder une variété de points, tels que les préférences des concepteurs et utilisateurs, leurs besoins spécifiques, leurs défis rencontrés lors de la conception des installations ou de l'espace de travail, ainsi que leurs suggestions pour des améliorations potentielles.

En faisant notre étude, nous avons constaté que les clients ne disposent pas de ressources adéquates pour spécifier les exigences ergonomiques dans leurs cahiers des charges ; Les ingénieurs d'exploitation indiquent que dans beaucoup de situations, des difficultés d'opération (accessibilité) et de maintenance sont rencontrées. Nous avons également découvert qu'il n'existe pas de spécialistes des facteurs humains. Après examen des spécifications éditées, hormis les exigences en matière de niveau de bruit et de lumière, il n'y a pas de formulations spécifiques indiquant la nécessité d'implanter des critères ergonomiques spécifiques. Cependant, des exigences très générales sont spécifiées par les ingénieurs des clients dans certains aspects, comme la simplicité d'exploitation et la facilité de maintenance.

Dans cette étude de cas, l'observation montre qu'il existe deux organisations associées aux projets. La première est responsable de l'élaboration des spécifications techniques des projets, tandis que la seconde assure suivi de l'exécution et de la construction du projet.

Notre étude de cas a débuté à la dernière étape du projet, lorsque plus de 80 % de la construction a été réalisée. Au moment où l'étude de cas était terminée, l'usine était opérationnelle. Dans cette étude de cas, les documents de projet HSE, ergonomie/facteurs humains ont été analysés pour les deux parties (clients et sociétés d'ingénierie) afin de déterminer ce qui a été appliqué.

Après avoir terminé les visites et les investigations, La première constatation, c'est le non-respect aux normes ergonomiques par la compagnie d'engineering et beaucoup de problèmes ont été remarqués lors les visites sur site.

### **VI.1. Connaissance de la signification de l'ergonomie**

Dans un projet où un client et un entrepreneur interagissent, la perception de l'ergonomie peut varier selon les expériences et les connaissances de chaque partie. Du côté des clients, l'ergonomie est souvent vue comme un élément important de la conception de ces nouvelles installations. Ils reconnaissent son rôle dans la sécurité et le bien-être des employés, ainsi que dans l'optimisation de l'efficacité au travail. En conséquence, ils attendent de l'entrepreneur qu'il intègre des principes ergonomiques dans les solutions fournies, afin qu'elles correspondent aux besoins spécifiques de leurs organisation et installations futures.

D'un autre côté, pour les entrepreneurs, l'ergonomie devait être perçue comme une composante fondamentale de la conception de leurs futurs projets d'installations industrielles. Ils essaient de comprendre l'ergonomie et ses exigences pour répondre aux normes de qualité et aux attentes des clients. Par conséquent, ils peuvent avoir des experts en ergonomie dans leur organisation pour garantir que leurs produits respectent les critères ergonomiques. Ils devaient considérer également l'ergonomie comme étant un avantage concurrentiel, car des produits bien conçus sur le plan ergonomique sont souvent plus attrayants pour les clients et peuvent conduire à des relations commerciales fructueuses.

Une compréhension partagée de l'ergonomie entre le personnel du client et l'entrepreneur est essentielle pour assurer que la conception des installations réponde aux besoins des utilisateurs tout en favorisant la productivité, la santé, la sécurité et le bien-être au travail.

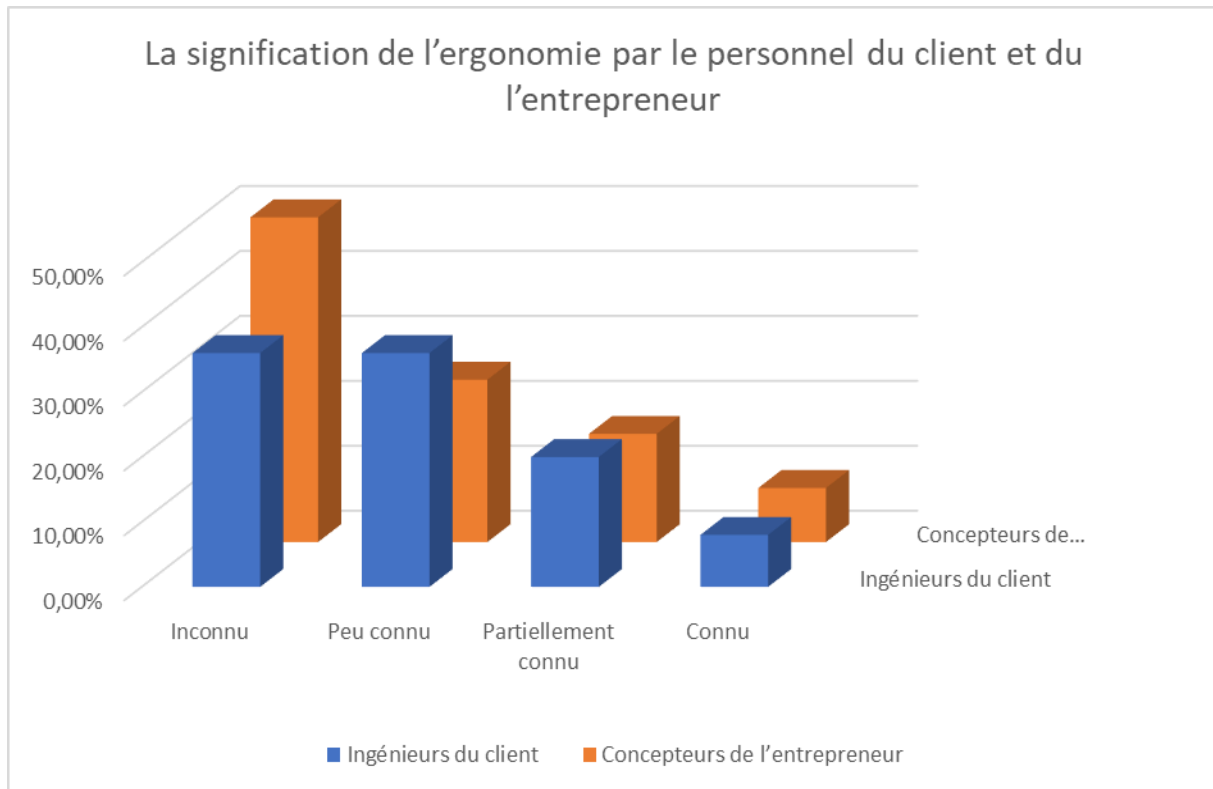


**Figure 12 :** la signification de l'ergonomie par le personnel du client et de l'entrepreneur

L'analyse des résultats montre une différence notable dans la compréhension de l'ergonomie entre les ingénieurs du client et les concepteurs de l'entrepreneur. La moitié des concepteurs (50 %) ne connaissent pas l'ergonomie, contre 36 % des ingénieurs, ce qui souligne une lacune importante chez les concepteurs. Par ailleurs, 36 % des ingénieurs ont une idée générale sur l'ergonomie comme "peu connue", contre 25 % des concepteurs, ce qui révèle une familiarité limitée avec ce concept dans les deux groupes. Environ 20 % des ingénieurs et 16,66 % des concepteurs ont une compréhension partielle de l'ergonomie, suggérant un besoin d'approfondir leurs connaissances pour mieux intégrer ces principes dans leurs projets. Enfin, une très faible proportion des deux groupes (8 % des ingénieurs et 8,33 % des concepteurs) affirme bien connaître l'ergonomie. Ces résultats mettent en évidence une compréhension et connaissance globalement insuffisante de l'ergonomie, en particulier chez les concepteurs, ce qui pourrait compromettre l'intégration des pratiques ergonomiques dans les processus de conception. Ces résultats révèlent une compréhension insuffisante de l'ergonomie, particulièrement parmi les concepteurs de l'entrepreneur. La proportion élevée d'individus pour qui l'ergonomie est inconnue ou peu connue dans les deux groupes reflète une faible sensibilisation à cette discipline, ce qui peut nuire à l'intégration de pratiques ergonomiques dans la conception des projets. Un besoin évident de formation et de sensibilisation se dégage

de cette investigation pour améliorer l'adhésion aux principes ergonomiques et, par conséquent, le confort, la sécurité et l'efficacité des systèmes conçus.

### VI.2. Connaissance des documents d'ergonomie

Dans le secteur du pétrole et du gaz, les documents qui concernent l'ergonomie peuvent inclure des normes et standards de l'industrie, des règlements, des directives et des meilleures pratiques relatives à la conception et systèmes de gestion de la sécurité, à l'interaction homme-machine, à la maîtrise de la fatigue et à la gestion des ressources et aux procédures d'intervention en cas d'urgence. Ces documents visent à implanter une conception ergonomique, à atténuer les erreurs humaines et à améliorer les performances opérationnelles globales.

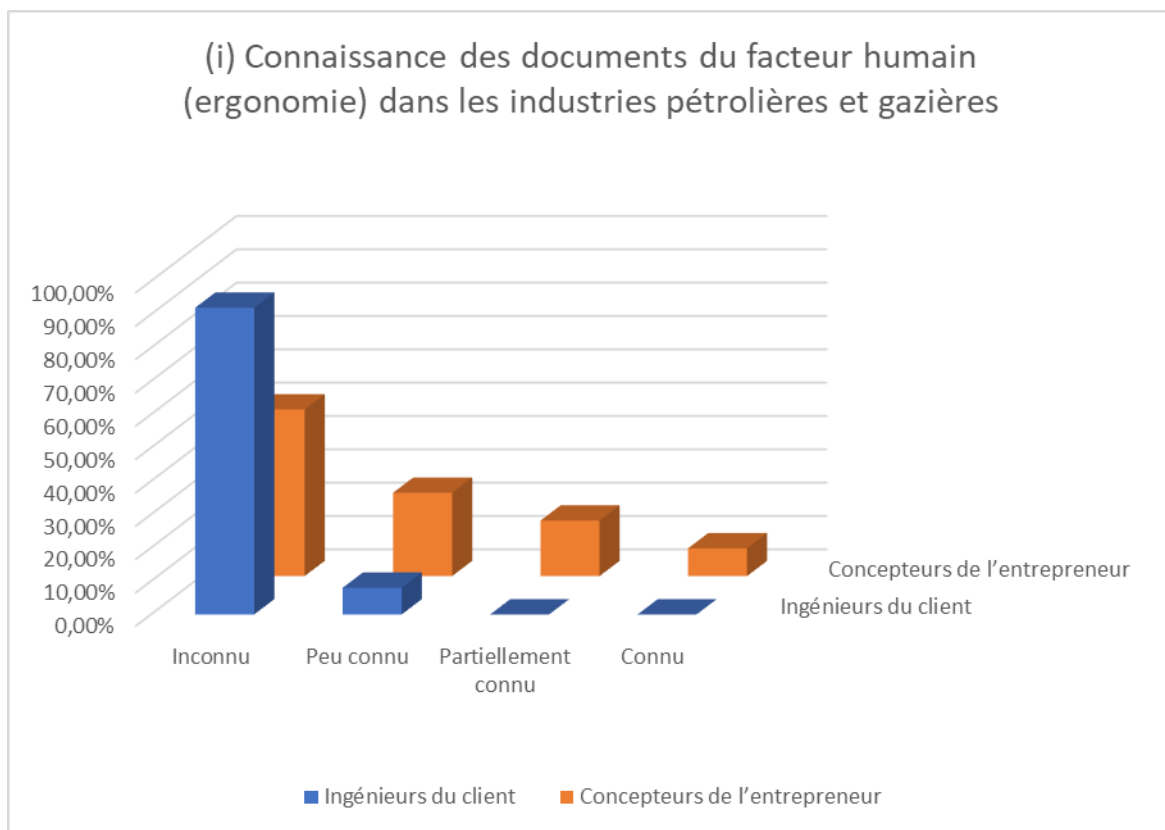


**Figure 13 :** Connaissance des documents des facteurs humains /ergonomie

Tout d'abord, les ingénieurs du client semblent présenter un niveau de connaissance très limité, voire inexistant, des documents du facteur humain, avec 92% d'entre eux déclarant ne pas les connaître du tout. Seuls 8% affirment avoir au moins une idée sur la question sans pouvoir citer des exemples clairs, et aucun d'entre eux n'a une connaissance partielle ou complète. Cette situation soulève des préoccupations quant à leur capacité à intégrer efficacement les principes ergonomiques dans leurs spécifications et cahiers de charges et à

garantir la sécurité et le bien-être des travailleurs dans les futures unités dans l'industrie pétrolière et gazière.

En revanche, les concepteurs de l'entrepreneur présentent une répartition plus diversifiée de leur connaissance des documents du facteur humain. Bien que la moitié d'entre eux (50%) déclarent ne pas les connaître du tout l'existence des documents traitant les facteurs humains, une partie importante (25%) les connaît peu, et une proportion significative (16,66%) a une connaissance partielle. De plus, 8,33% des ingénieurs de l'entrepreneur affirment avoir connaissance de l'existence des documents traitant l'ergonomie.

Ces résultats montrent un manque généralisé de familiarité avec les documents d'ergonomie, tant chez les ingénieurs du client que chez les concepteurs de l'entrepreneur. Cependant, une plus grande proportion de concepteurs de l'entrepreneur semble avoir une certaine connaissance des documents par rapport aux ingénieurs du client. Cela indique qu'il y a une base de connaissances plus étendue parmi les concepteurs de l'entrepreneur, bien que des améliorations soient encore nécessaires pour assurer large diffusion de l'information sur l'existence des documents sur les facteurs humains. Cela permettra de les mieux comprendre pour intégrer plus efficacement les aspects ergonomiques dans les conceptions futures.

Cette analyse met en évidence des différences significatives dans la connaissance des documents du facteur humain (ergonomie) entre les ingénieurs du client et les concepteurs de l'entrepreneur. Une meilleure sensibilisation et compréhension des documents du facteur humain sont essentielles pour garantir et améliorer l'introduction des critères ergonomique dans le processus de conception des nouvelles installations pétrolière et gazières et ce pour promouvoir le bien-être des travailleurs dans ces environnements industriels complexes.

### **VI.3. Connaissance des exigences des facteurs ergonomique**

Les exigences des critères ergonomiques dans les futures installations pétrolières et gazières tournent généralement autour l'exploitation et l'entretien des installations et des équipements pour tenir compte les capacités, les limitations et du comportement de l'homme au sein du système. Cela englobe les exigences liées à la conception ergonomique, à la gestion des charges de travail, aux protocoles de communication et aux processus d'évaluation des risques, qui feront partie des spécifications à inclure dans la conception des installations futures.

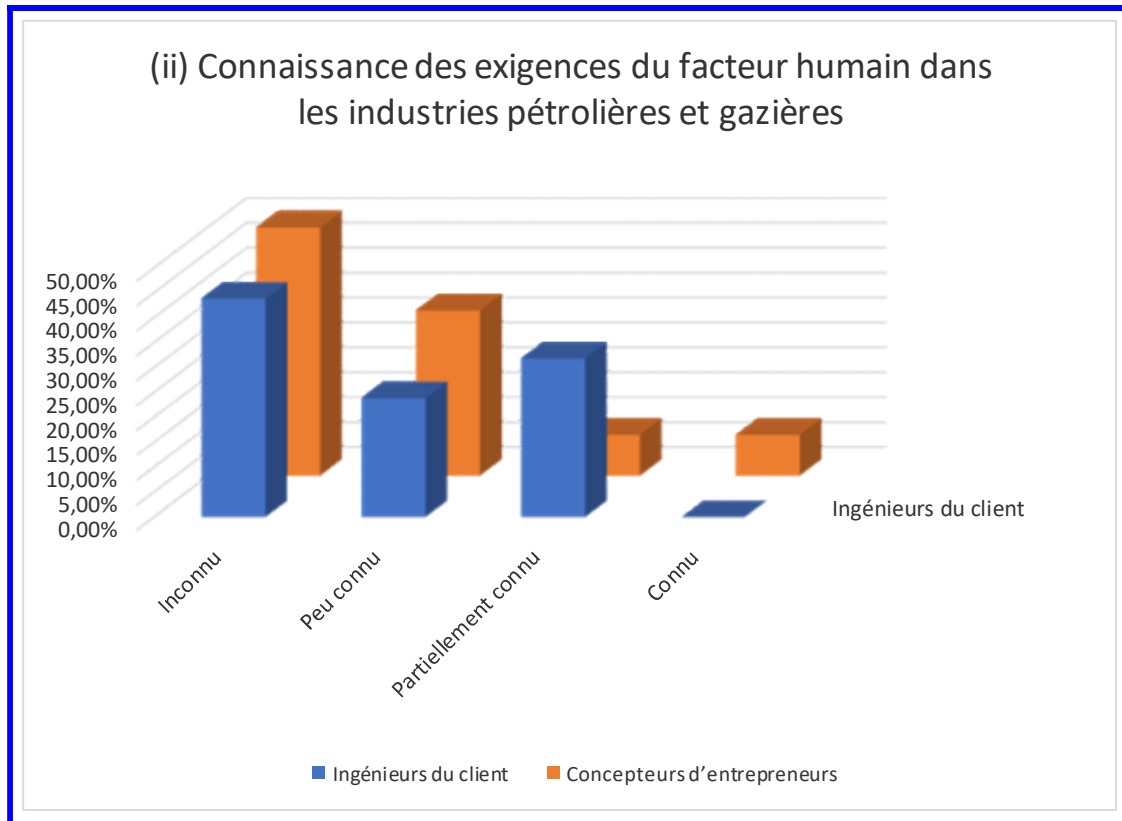


**Figure 14 :** Connaissance des exigences des facteurs humains/ergonomie

L'analyse de la connaissance des exigences du facteur humain (ergonomie) pour une future installation dans les industries pétrolières et gazières entre les ingénieurs du client et les concepteurs de l'entrepreneur révèle des différences significatives dans la compréhension de ces exigences. Les ingénieurs du client présentent une plus grande variabilité dans leur niveau de connaissance, avec une proportion importante déclarant ne pas les connaître du tout (44%), tandis qu'une partie significative déclare avoir une connaissance partielle (32%). En revanche, les concepteurs de l'entrepreneur affichent une progression plus régulière dans leur connaissance, avec une proportion plus élevée déclarant ne pas connaître du tout (50%), mais une plus grande proportion connaissant entièrement (8,33%) les exigences. Cette différence pourrait indiquer un engagement plus fort des concepteurs de l'entrepreneur envers la compréhension approfondie des exigences du facteur humain. Cependant, les deux groupes présentent des lacunes dans leur connaissance des exigences ergonomiques, soulignant ainsi le besoin d'une sensibilisation et d'une formation continues pour garantir une compréhension complète et une application adéquate des exigences du facteur humain dans les nouveaux projets.

### VI.4. Relation avec l'intégration et implémentation de l'ergonomie

La relation entre le personnel des clients, celui des entrepreneurs et l'intégration de l'ergonomie dans un système ou un service est essentielle. Toutefois, il est important d'établir un lien organisationnel dédié, chargé de spécifier et de contrôler la conception ergonomique, afin de garantir une intégration efficace et cohérente de l'ergonomie. Même si le personnel n'a pas d'expérience directe dans ce domaine, si sa mission organisationnelle et sa fonction consistent à fournir des informations et des idées pour favoriser un design ergonomique, son implication et sa prise de conscience dans le processus de conception deviennent déterminantes. Dans un contexte industriel, la maîtrise des principes, pratiques et normes en matière de facteurs humains, propres à leur secteur, contribue grandement à une implantation réussie de l'ergonomie.

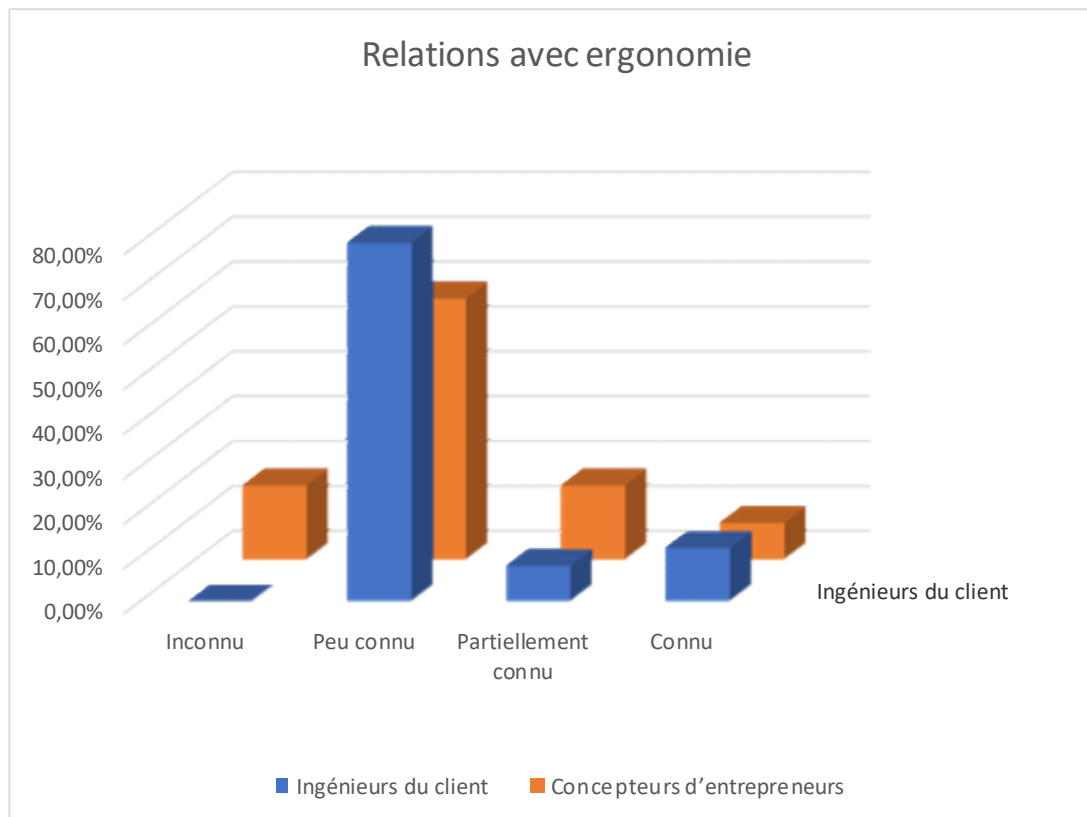


**Figure 15 :** Relation avec l'intégration et implémentation de l'ergonomie

Les résultats présentent un tableau intéressant des relations entre les ingénieurs du client et les concepteurs de l'entrepreneur par rapport à leur connaissance et implication dans le processus d'implantation des conceptions ergonomiques dans les installations pétrolières et gazières.

Pour les ingénieurs du client, une grande majorité (80%) indique avoir une connaissance limitée ou aucune connaissance des aspects liés leurs relation avec le processus d'installation

d'une conception ergonomique, ce qui indique une lacune significative dans leur compréhension de ces principes et les mécanismes systématique de leurs installations. En revanche, pour les concepteurs de l'entrepreneur, bien que la majorité (58,33%) signale également une connaissance limitée, le pourcentage est légèrement moins élevé.

Cependant, il est important de noter que même parmi ceux qui ont une certaine connaissance des facteurs humains, seule une minorité est responsable de ces aspects dans leur travail quotidien déclarant leurs rôles par rapport à l'indication des normes ou document de référence pour imposer l'introduction d'un critère ergonomique. Cela soulève des questions sur la manière dont ces connaissances sont intégrées dans la pratique et si elles influencent effectivement les décisions de conception et d'ingénierie.

En outre, la pertinence des exigences en matière de facteurs humains et d'ergonomie pour leur mission varie également. Alors que certains reconnaissent leur importance, d'autres peuvent ne pas les considérer comme essentiels pour leur travail, ce qui souligne un défi potentiel dans la sensibilisation à l'importance de ces aspects pour la sécurité et l'efficacité des opérations dans le secteur.

Les résultats soulignent un paysage où la relation du personnel avec l'implantation d'un design ergonomique est peu reconnue cela signifie qu'il y a des opportunités significatives pour améliorer les pratiques de travail sûres et efficaces par une meilleure éducation et intégration des principes ergonomiques dans les futurs projets.

En renforçant les connaissances et la responsabilisation autour de l'ergonomie leur en éduquer le rôle de chaque agent de son rôle et sa relation avec l'intégration des principes ergonomiques dans les futurs projets, les entreprises peuvent améliorer l'insertion des aspects ergonomiques au sein de futures installations pétrolières et gazières.

### **VI.5. Reconnaissance des responsabilités sur l'application de l'ergonomie**

Les responsabilités de mettre en application de l'ergonomie peuvent comprendre l'évaluations des facteurs humains pour la conception et l'aménagement des installations, l'évaluation des interfaces humain-système pour les installations, les équipements et les salles de contrôle, l'analyse des rapports d'incidents pour identifier les causes profondes liées à l'erreur humaine et la participation à des initiatives de culture de la sécurité.



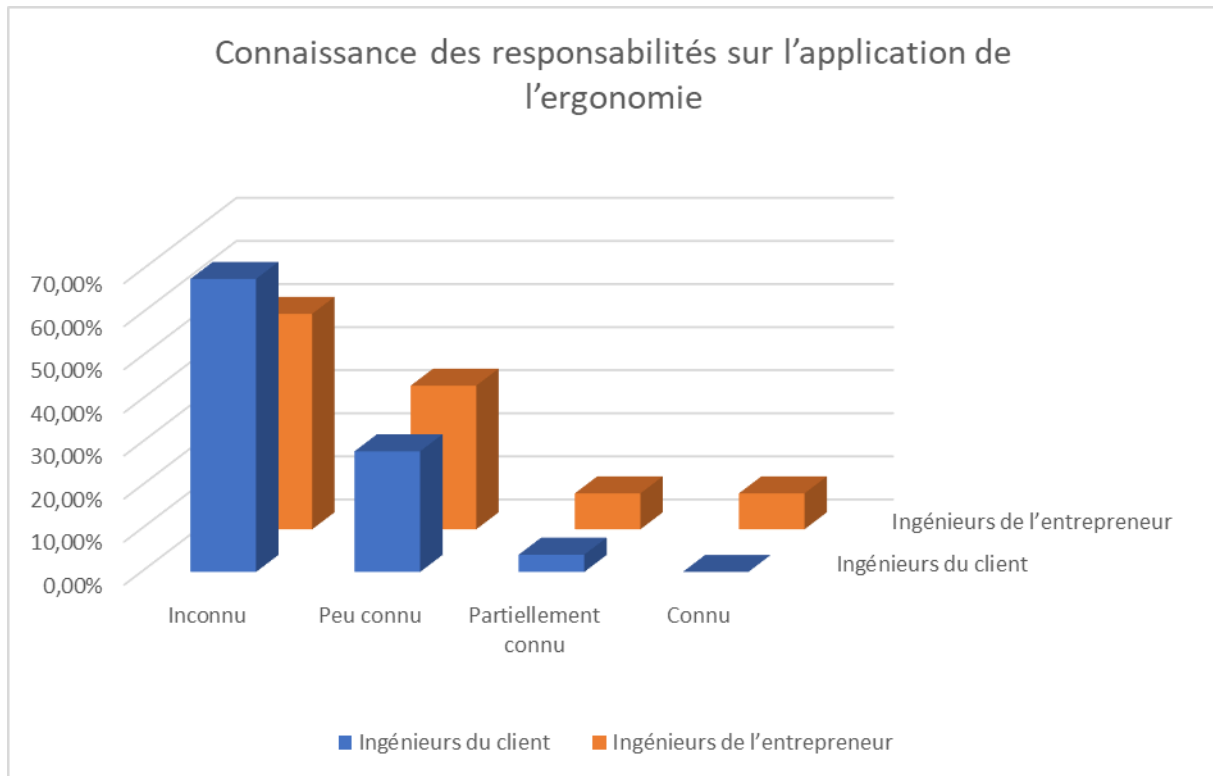


**Figure 16 :** Reconnaissance des responsabilités sur l'application de l'ergonomie

Les résultats obtenus mettent en lumière un manque général de compréhension des responsabilités liées à l'application de l'ergonomie, tant chez les ingénieurs du client que chez les concepteurs de l'entrepreneur. En effet, une majorité écrasante des ingénieurs du client (68%) et une proportion significative des concepteurs de l'entrepreneur (50%) ne semblent pas être familiers avec ces responsabilités pour la mise en application de l'ergonomie dans les futurs projets. Bien que les ingénieurs du client affichent un niveau légèrement inférieur de connaissance par rapport aux ingénieurs de l'entrepreneur. Seuls quelques individus dans chaque groupe ont une connaissance partielle des responsabilités liées à l'ergonomie et sa mise en application en spécifiant les guidelines, les normes et les spécifications.

Ces résultats soulignent ainsi un besoin urgent de formation et de sensibilisation sur les responsabilités de mettre en place une conception adéquat par rapport à l'implantations des critères ergonomiques. Une meilleure intégration de ces considérations pourrait également renforcer la communication et la collaboration entre les parties prenantes, conduisant ainsi à des pratiques de conception et d'ingénierie plus appropriées.

### VI.6. L'existence de l'organisation lié à l'application de l'ergonomie

L'expertise des facteurs humains dans les industries pétrolières et gazières peut être trouvée au sein de divers départements ou équipes, tels que les départements de la santé, de la sécurité et

## Chapitre VI : Partie pratique et investigation sur l'implantation de la conception ergonomique

de l'environnement (HSE), les équipes d'ingénierie, les bureaux de gestion de projet et les cabinets de conseil spécialisés dans le domaine du facteur humain. Certaines sociétés peuvent également avoir des spécialistes ou des équipes spécialisées dans les facteurs humains chargés de veiller à ce que les considérations de ces facteurs soient intégrées à tous les aspects des opérations. Dans notre cas d'étude il y a lieu de signaler qu'aucune structure organisationnelle liée à la mise en application des facteurs humains n'existe dans les deux parties, le client et l'entrepreneur.

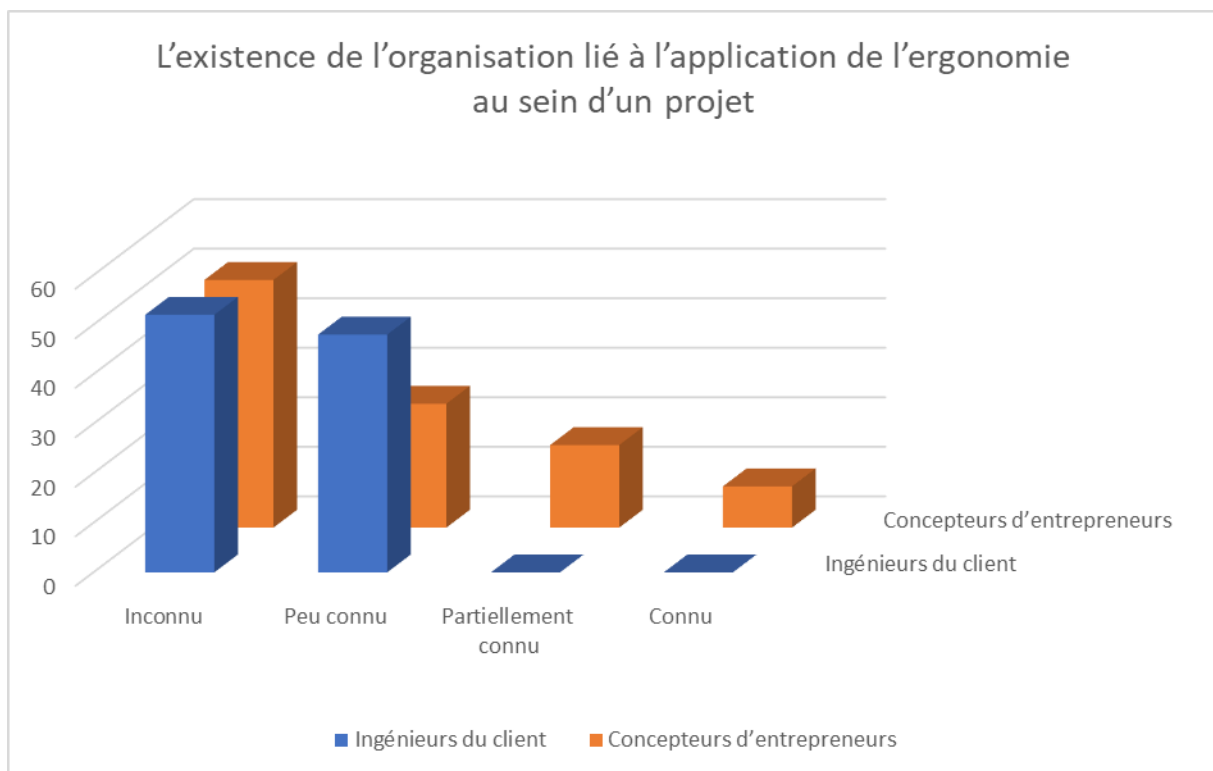


**Figure 17 :** L'existence de l'organisation lié à l'application ergonomie

Les données présentées soulignent une problématique notable concernant la reconnaissance et l'attribution des responsabilités en matière d'ergonomie dans les projets au sein des industries pétrolières et gazières. Il apparaît que la majorité des ingénieurs du client et des concepteurs de l'entrepreneur ne sont pas bien informés sur qui, précisément, est chargé de l'application des principes d'ergonomie dans les projets.

Pour les ingénieurs du client, 52% d'entre eux ne savent pas qui est responsable de l'ergonomie, et 48% ont une connaissance limitée de ces responsabilités. Cela indique une grande incertitude et un manque de communication claire. Pour les concepteurs de l'entrepreneur, la situation est similaire mais légèrement meilleure : 50% ne connaissent pas les responsables de l'ergonomie, 25% en ont une connaissance limitée, 16.66% en ont une

connaissance partielle, et seulement 8.33% ont une bonne connaissance des responsabilités liées à l'ergonomie et le lieu d'application des principes ergonomique dans l'organisation.

Ces statistiques mettent en lumière un besoin urgent de clarifier et de communiquer les rôles et les responsabilités en matière d'ergonomie au sein des projets. Une meilleure définition des rôles au sein de l'organisation pourrait non seulement améliorer la mise en œuvre des pratiques ergonomiques mais aussi augmenter l'intégration des considérations liées aux facteurs humains dans la conception de futures installations pétrolières et gazières.

En renforçant la formation et en établissant des lignes de communication plus claires, les entreprises peuvent s'assurer que l'ergonomie est une composante intégrée et reconnue dans tous les projets par un processus claire et déterminé au sein d'une organisation et le workflow de conception des projets.

### **VI.7. Les préoccupations d'ergonomie dans les industries pétrolières et gazières**

Les préoccupations d'ergonomie dans l'industrie du pétrole et du gaz peuvent inclure des préoccupations liées à la conception de postes de travail, de salles de contrôle et d'équipements pour réduire au minimum le stress physique et la fatigue. En outre, des considérations ergonomiques peuvent s'étendre à la conception d'équipements afin de s'assurer qu'ils sont confortables et n'entraveront pas les mouvements ou les performances des travailleurs dans des environnements difficiles, comme les plates-formes offshore ou les espaces confinés.

L'ergonomie joue un rôle primordial dans les installations pétrolières et gazières en raison de plusieurs facteurs. Tout d'abord, la sécurité des travailleurs est une priorité majeure dans ces environnements, qui sont souvent confrontés à des équipements complexes et à des conditions de travail dangereuses. Une mauvaise intégration des critères ergonomiques peut augmenter le risque d'accidents et de blessures et diminuer le confort et la performance du système. De plus, une conception ergonomique des postes de travail et des équipements peut non seulement améliorer le confort et la santé des travailleurs, mais aussi accroître la productivité et l'efficacité opérationnelle. Réduire les erreurs humaines est également capital, ce qui peut être réalisé en concevant des interfaces homme-machine ergonomiques. En outre, une attention particulière à l'ergonomie contribue à réduire les risques de blessures musculo-squelettiques et de fatigue liée au travail, tout en garantissant la conformité aux normes réglementaires en matière de santé et de sécurité.

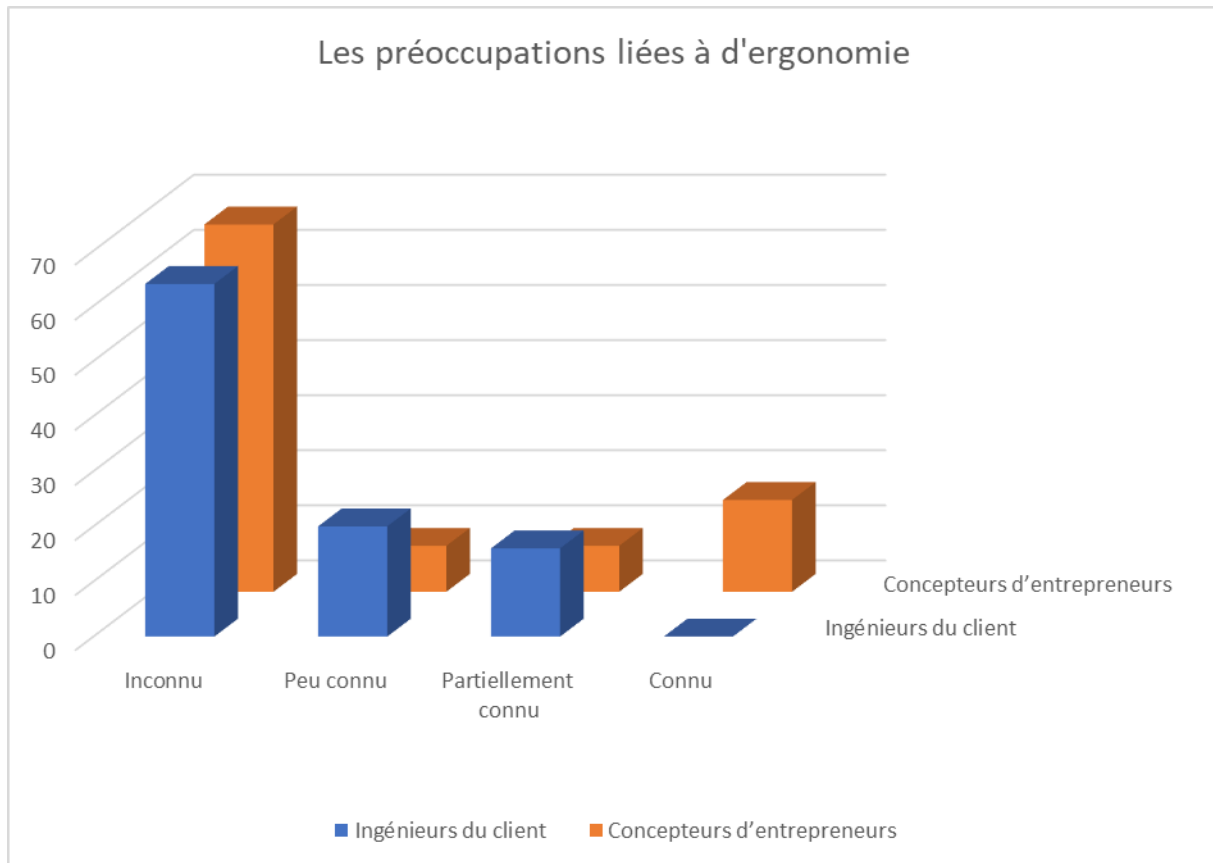


**Figure 18 :** Les préoccupations d'ergonomie dans les industries pétrolières et gazières

Les résultats illustrent les préoccupations relatives à l'ergonomie chez les ingénieurs du client et les ingénieurs de l'entrepreneur. Les pourcentages indiquent le niveau de familiarité de chaque groupe avec ces préoccupations.

Pour les ingénieurs du client, la majorité (64%) semble ne pas avoir de connaissance claire des préoccupations des opérateurs en matière d'ergonomie, tandis que 20% ont une connaissance limitée et 16% ont une compréhension partielle. Aucun d'entre eux ne semble avoir une connaissance approfondie de ces préoccupations (bruit, l'éclairage, les conditions thermiques, la manutention, confort des opérations et les zones de repos, facilité d'usage et de maintenance etc.).

En revanche, chez les ingénieurs de l'entrepreneur, une proportion similaire semble ne pas avoir de connaissance claire (66,66%), mais un pourcentage plus faible (8,33%) a une connaissance plus faible sur les préoccupations d'ergonomie. De plus, une petite fraction (8,33%) a une compréhension partielle, et 16,66% semblent avoir une connaissance plus claire de ces préoccupations.

Ces résultats soulignent un besoin généralisé de sensibilisation et de formation préoccupations ergonomique au sein des installations pétrolières et gazières dans les deux populations. Il

semble également y avoir une opportunité d'amélioration plus marquée chez les ingénieurs du client, où une proportion plus élevée semble ne pas avoir de connaissance claire des préoccupations des opérateurs en matière d'ergonomie.

### **VI.8. Analyse de la mise en œuvre de l'ergonomie**

#### **VI.8.1.Introduction**

Une investigation a été effectuée avec les spécifications des clients concernant les caractéristiques ergonomiques. Dans la deuxième étape de l'enquête, de nombreuses visites de sites ont été effectuées et des entretiens approfondis ont été menés avec des ingénieurs qui ont participé aux projets étudiés et avec le personnel d'exploitation après avoir terminé la construction de cette usine. Parallèlement à ce qui a été fait du côté des clients, les mêmes démarches ont été entreprises auprès des ingénieurs et concepteurs des entrepreneurs.

Nous avons constaté que le client ne dispose pas des ressources adéquates pour spécifier les exigences ergonomiques dans son cahier des charges ; nous avons aussi découvert qu'il n'y a pas de spécialistes en ergonomie et les facteurs humains. Après examen des spécifications du projet, en dehors des exigences de niveau de bruit et de l'éclairage, il n'y a pas de formulations spécifiques indiquant la nécessité d'implanter des critères ergonomiques. Cependant, quelques exigences très générales sont spécifiées par les ingénieurs du client dans certains domaines d'intérêt, tels que la simplicité d'utilisation et la facilité d'entretien.

Lors des entretiens menés avec les ingénieurs des clients, il a été constaté que la plupart des ingénieurs ignorent les bases de ce qu'est l'ergonomie. Et comment sera-t-il mis en œuvre ? de plus, la valeur ajoutée de l'ergonomie dans les nouvelles unités industrielles.

Comme le montre notre investigation, nous pouvons voir clairement que la majorité des ingénieurs ignorent la signification de l'ergonomie, la manière dont sa mise en œuvre sera bénéfique à la conception technique et la valeur ajoutée de l'ergonomie dans les nouvelles unités industrielles. Lors de nos visites sur site, il a été constaté que dans de nombreux cas, la conception ergonomique de base n'est pas mise en œuvre ; l'exemple d'une mauvaise conception ergonomique est une simple orientation des vannes, qui ne nécessitent ni un coût supplémentaire ni un temps supplémentaire pour être bien orientées lors de leur installation. Cette situation explique que même les concepteurs ne sont pas conscients de la notion de l'ergonomie et son importance dans la conception des nouvelles unités industrielles.

### VI.8.2.Données anthropométriques

Un examen approfondi a été effectué sur la documentation technique concernant les aspects de conception ergonomique ainsi que sur les spécifications et les exigences dans ce domaine. Il a été constaté que le client a fourni peu d'informations pour couvrir les exigences de conception ergonomique et dans de nombreux cas, le client fourni des données anthropométrique qui ne correspond pas à son personnel d'exploitation.

La conception des installations demandées par le client est spécifiée pour une population d'une longueur moyenne de 1600 mm. Ces données, qui devraient être utilisées dans le cadre de la conception, n'ont aucune référence et elles sont clairement loin des seules données anthropométriques des hommes algériens. Une recherche bibliographique sur les paramètres anthropométriques de la taille moyenne des hommes algériens a été faite. **Mokdad** précise dans son étude intitulée "Etude Anthropométrique des Agriculteurs Algériens, que la taille moyenne de 95% de la population étudiée est de 1851 mm [200].

Bien que les deux populations soient différentes, en raison du manque de données anthropométriques des hommes travaillant dans les industries pétrolières et gazières et des hommes algériens en général, nous avons utilisé les données de cette étude pour être utilisées comme une indication de la taille moyenne des hommes algériens. Après avoir mené de nombreux entretiens avec les ingénieurs des clients sur ce sujet, nous avons compris que les ingénieurs avaient trouvé les données dans la base de données, et la plupart d'entre eux ont mis ces informations sans lire ni comprendre le contenu de ces données. L'ingénieur du client indique que cela ne relève pas de sa spécialité et, bien sûr, de sa responsabilité. Ces anciennes données conduisent les concepteurs à proposer un produit présentant de nombreuses insuffisances au regard des critères anthropométriques. Même si cette conclusion semble être logique, lors de l'exploitation, les utilisateurs finaux peuvent rencontrer des difficultés, mais dans notre cas, ils sont incapables de l'exploiter. Même avec cet écart, normalement, les vannes (équipements) peuvent être difficiles à exploiter mais pas impossibles.

Nos visites sur site montrent que dans de nombreux cas, l'exploitation de nombreuses vannes est impossible, ce qui signifie que les concepteurs n'ont même pas utilisé ces anciennes spécifications (fourni par le client). Les **figures 19 et 20** montrent la mauvaise conception de la position de la vanne. Dans une telle situation, des opérateurs plus longs (plus de 1810 mm) n'étaient pas capables d'atteindre le niveau de nombreuses vannes. [58]



**Figure 19** : mauvais emplacement de la plate-forme A



**Figure 20** : mauvais emplacement de la plate-forme B

Lors des entretiens, l'échantillon d'ingénieurs qui a été interrogé sur sa taille. Nous avons constaté que 75 % des ingénieurs mesurent plus de 1780 mm, même cette taille n'est pas représentative mais très différente de ce qui a été spécifié par les spécifications du client.

Un ingénieur du client indique qu'il n'a pas lu tout ce qui avait été spécifié dans ce domaine et a considéré les spécifications d'ergonomie comme étant de la responsabilité du concepteur.

Il est convaincu qu'il incombe au concepteur de les lire, de les comprendre et de les installer.

**Wulff et al**, indiquent que même les concepteurs lors de l'achat des *skid (packages)* ne lisent pas les spécifications à donner aux fournisseurs et les considèrent de la responsabilité des fournisseurs [03][15]. Avec cette pratique, il sera clair que le contrôle de la mise en œuvre de l'ergonomie par le concepteur sera impossible. La même chose se produira avec les ingénieurs du client, qui ne peuvent pas contrôler ce qu'ils ignorent et pensent qu'ils n'en sont pas responsables.

### VI.8.3. Bruit

Il a été constaté que le concepteur n'a pas respecté la limite du niveau de bruit demandé à l'intérieur des installations. Après avoir examiné la carte isophonique de cette installation, il a été constaté que dans de nombreuses zones, le niveau de bruit dépasse la valeur requise. Les exigences indiquent clairement que le bruit ne doit pas dépasser la valeur réglementaire du client tandis que les mesures indiquent que cette valeur est supérieure de 12 % à ce qui a été spécifié par le client, **Figure 21**. À ce stade du projet, le concepteur ne pouvait apporter aucune modification au design. L'apport d'une solution sophistiquée sera également d'un coût colossal. Le concepteur a proposé de suivre la pratique courante dans ces cas, à savoir l'utilisation des EPI (équipement de protection individuelle) pour atténuer le bruit et adapter la conception aux exigences en proposant la solution la plus simple. Un ingénieur en mécanique



d'une entreprise contractante indique que : « L'approche actuelle consiste à signaler les zones où le niveau dépasse la valeur requise comme des zones d'accès restreint et il est nécessaire de prévoir des dispositifs de protection pour éviter l'exposition prolongé au bruit pour le personnel de l'usine, des panneaux d'avertissement permanents indiquant l'utilisation obligatoire de protecteurs auditifs seront installés près des limites des zones d'accès restreint » [58].

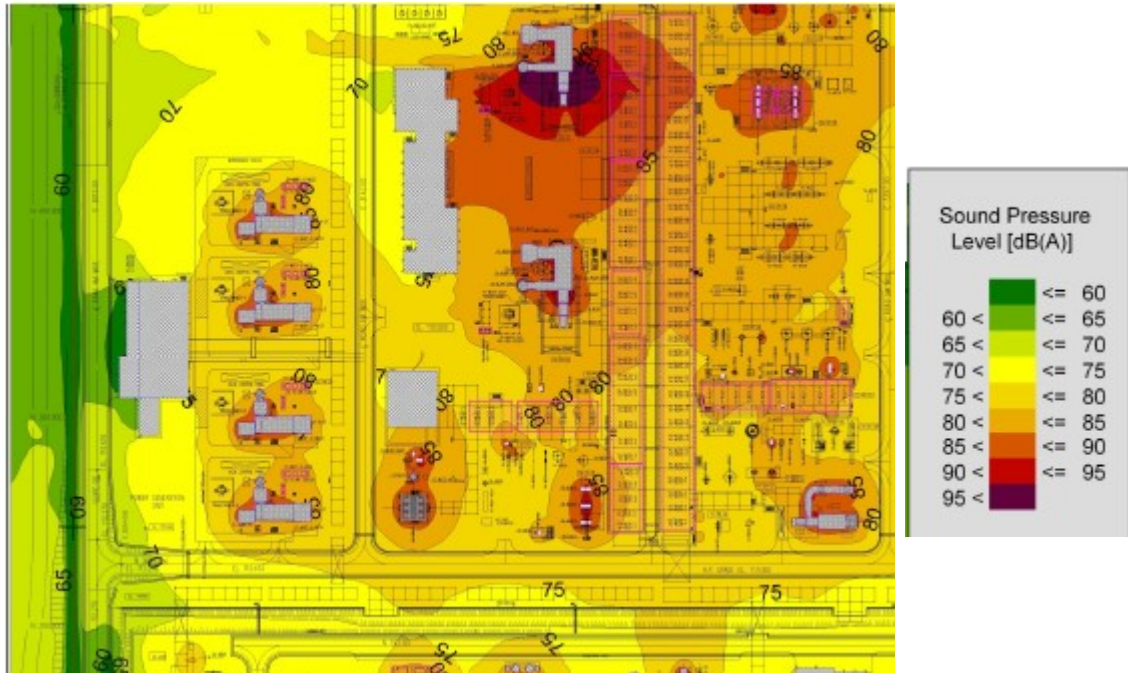


Figure 21 carte isophonique

### VI.8.4.Eclairage

Comme les autres critères ergonomiques, l'éclairage est l'un des paramètres les plus importants dans la conception des lieux de travail. L'éclairage dans un local de maintenance est très important, surtout lorsque les ingénieurs et les opérateurs réalisent leurs tâches de maintenance. L'intensité lumineuse a été spécifiée par les ingénieurs du client (300-400 lux) selon les recommandations des normes (API, EN), mais après la construction, les opérateurs indiquent qu'ils ne sont pas capables de travailler aisément avec cette faible intensité lumineuse. À ce moment, le client a décidé de faire une investigation sur le niveau de lumière dans le local technique. Lors des discussions avec le personnel de maintenance il a été clarifié que les techniciens de maintenance trouvent beaucoup de difficultés de voir les petits objets nécessaires pour les opérations de maintenance et c'est dû à l'éclairage faible. Le constat de cette investigation a indiqué que le niveau de luminosité du local technique ne dépassait pas les 150 lux, alors que la norme indique que l'optimum se situe quelque part entre 300 et 400 lux [58].

Figure 22



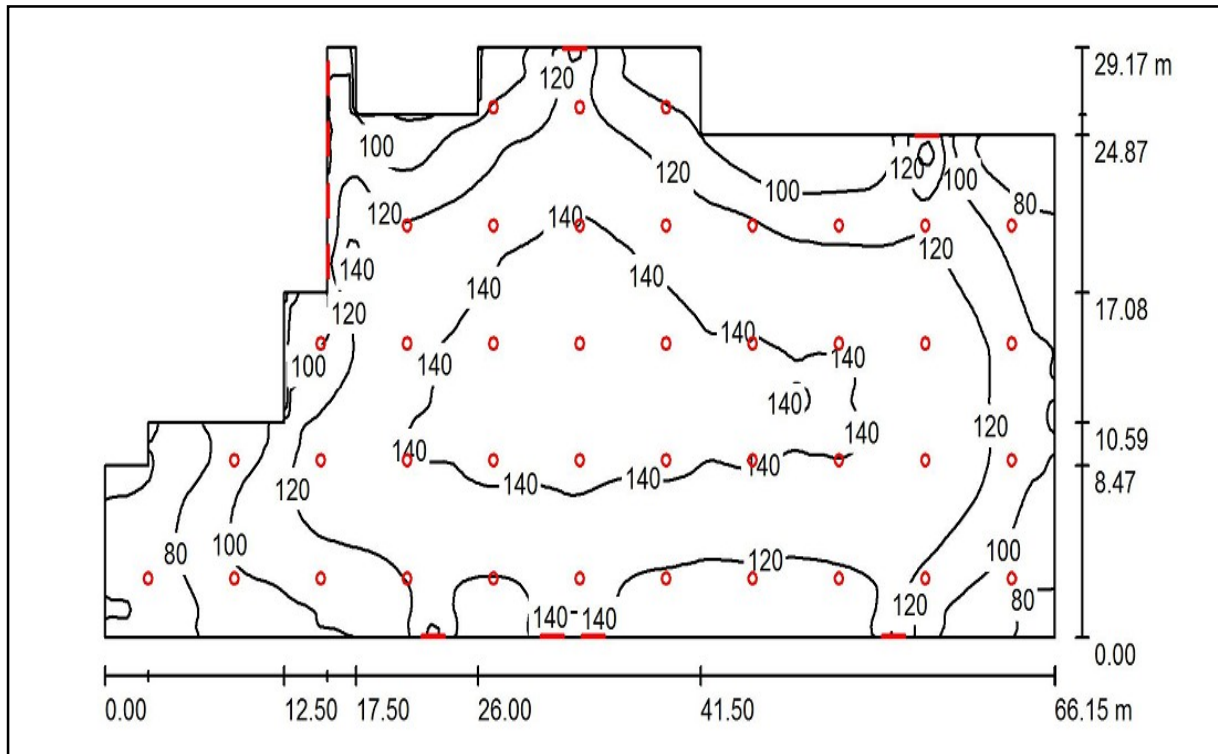


**Figure 22** : Courbes isolux dans le hangar de maintenance avant correction

Pour résoudre ce problème, une révision de la conception initiale était nécessaire pour corriger cette anomalie. La conclusion de cet examen était de remplacer les ampoules existantes par des ampoules plus puissantes pour améliorer l'intensité de la lumière. L'ingénieur chargé de la revue de la conception explique que cette solution était la plus simple, car résoudre ce problème par la redistribution et le changement des ampoules serait très coûteux. Ils ont donc décidé de mettre en œuvre cette solution simple. Ici, un surcoût de mise en place de l'ergonomie est consommé pour acheter les nouvelles ampoules plus puissantes. **Figure 23**

Les anciennes ampoules sont stockées dans le magasin, et leur coût est une autre charge de mauvaise prise en charge des considérations ergonomiques. Si la conception correcte était effectuée dès la première fois, le coût de cette correction serait économisé. Le contrôle de la mise en œuvre de l'ergonomie n'a pas été fait par les concepteurs, et le contrôle des ingénieurs a été fait lorsque l'usine est en fonctionnement. Le client est obligé d'intervenir pour résoudre ce problème en corrigeant la mauvaise conception. L'ingénieur responsable de la révision et de la correction de la conception explique que la maîtrise de ce qui a été demandé est l'une des stratégies les plus importantes dans la bonne mise en œuvre d'une conception ergonomique.

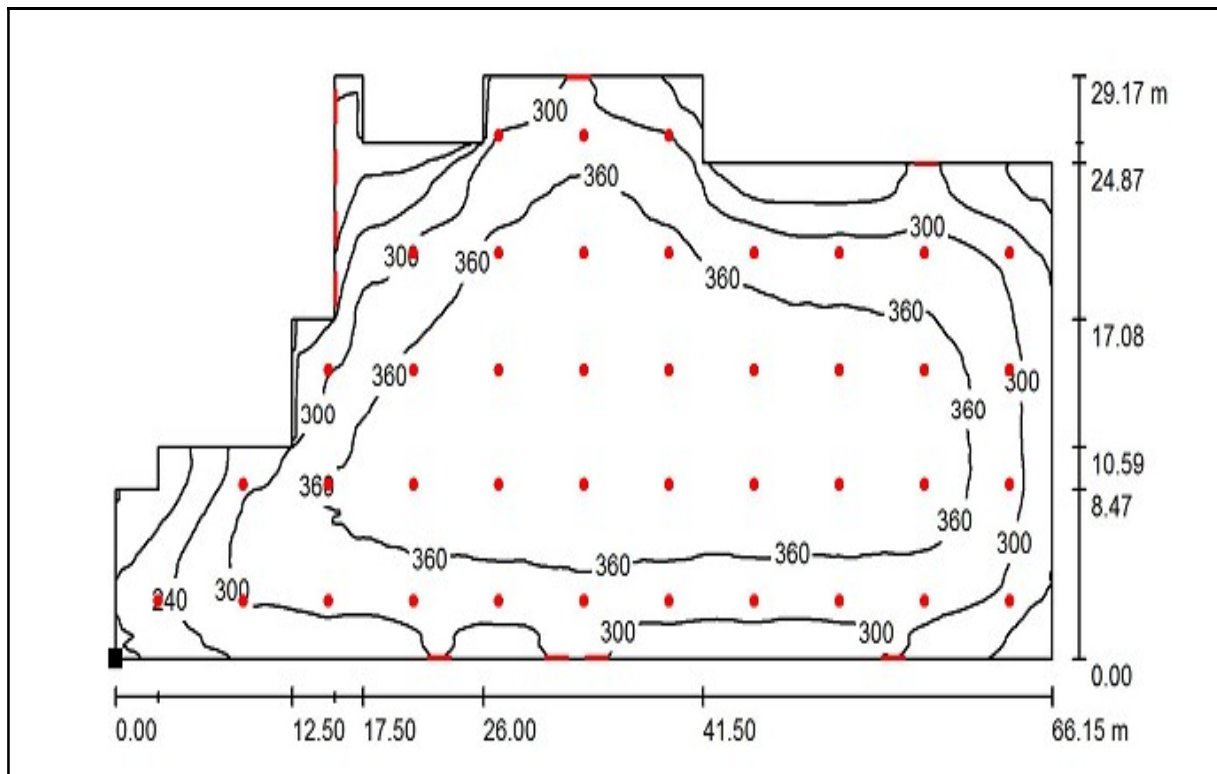


**Figure 23 :** Courbes isolux dans le hangar de maintenance après changement de lampes

#### **VI.8.5.Aspect ergonomie sur les opérations de maintenance**

Une intégration inadéquate des critères ergonomiques dans la conception finale des installations pétrolières et gazières a créé de nombreux problèmes majeurs dans les opérations de maintenance [58].

Un ingénieur instrumentiste, interrogé, a indiqué qu'une mauvaise conception peut entraîner un travail supplémentaire et un effort énorme pour les opérateurs de maintenance, par exemple de nombreux instruments sont totalement inaccessibles lorsqu'il est nécessaire d'y arriver, pour exploitation ou pour maintenance, d'autres cas plus compliqués sont les compresseurs, les turbines et les pompes qui ont été installés dans des zones très étroites, ce qui entraînera des difficultés dans leur exploitation et leur enlèvement lors des opérations de maintenance, Il poursuit " lors des travaux de maintenance, l'enlèvement de nombreux équipements est très difficile, voire impossible, à cause des tuyauteries qui les entourent en plus de l'inexistence de procédure d'enlèvement.

Lorsqu'il est interrogé à propos de cette préoccupation, un ingénieur mécanique explique que l'enlèvement de la partie supérieur d'une machine tournante est nécessaire en cas de dommage interne inattendu de la machine tournante. Il est nécessaire de retirer les tronçons de tuyauterie sur les brides d'aspiration et de refoulement de la machine tournante. L'enjeu pour les opérateurs de maintenance est la taille des tronçons de tuyauterie process, qui sont très

volumineux, rendant la tâche très difficile. D'autre part, le concepteur a souligné qu'un espace supérieur suffisants et un pont roulant sont disponibles pour le retrait du tronçon de tuyauterie. (**Figure 24**). Les ingénieurs mécaniciens du client expliquent que la maintenance de ces équipements prend un temps colossal, plus de main-d'œuvre et beaucoup de travaux pénibles. Cela peut également retarder la planification des travaux de maintenance et ainsi ajouter un coût supplémentaire au budget de maintenance initial. Ils continuent et donnent l'exemple d'un cas où il est impossible d'intervenir sur une machine sans couper de nombreuses conduites et poutres de la structure métallique. Ils ont dit : "La seule possibilité de retirer cet équipement est de couper les conduites alimentant l'équipement et de nombreuses poutres environnantes de la structure métallique pour rendre cet équipement amovible à des fins de maintenance. Pendant les phases du projet, il n'y a aucun moyen de vérifier la faisabilité de réaliser de véritables opérations de maintenance. Ces problèmes semblent simples et ne compliqueront pas les opérations de maintenance, mais lorsque la responsabilité de la gestion des installations est transférée aux clients, la partie cachée de l'iceberg liée aux problèmes ergonomiques commence à perturber sérieusement le personnel d'exploitation et de maintenance des clients. Le budget pour ces tâches supplémentaires était énorme et demande beaucoup de temps. Un ingénieur en tuyauterie du côté du client déclare : "il n'y a pas un espace suffisant pour le dépôt des pièces démontées autour des installations et, bien sûr, toutes ces contraintes nécessitent un travail supplémentaire et plus de temps pour pouvoir démonter et transférer les pièces vers des emplacements appropriés pour inspection". C'est une erreur majeure de conception de ne pas tenir compte des cas de tâches de maintenance et de ne pas fournir de procédures appropriées pour faciliter les tâches de maintenance. Un ingénieur du département de maintenance affirme que des corrections devraient être apportées en fournissant un petit tronçon de tuyauterie démontable pour faciliter les futures opérations de maintenance. Il déclare : "Normalement, ces corrections seraient apportées par les concepteurs, mais malheureusement, le point de vue de l'entrepreneur sur ces questions était qu'il n'y a pas besoin d'intervenir car même si ces tâches sont difficiles ou horribles, elles sont toujours faisables". Dans le cas de grosses machines, lorsqu'il était nécessaire de prévoir des structures métalliques pour supporter les coudes d'entrée et de sortie, le concepteur les a installées ; mais s'il était nécessaire de les enlever pour des raisons de maintenance, le personnel de maintenance du client serait obligé de couper la structure métallique environnante. Le concepteur, au lieu de prévoir une structure démontable, il propose une structure métallique soudée. Le concepteur a opté pour un choix, sans tenir compte de l'intervention de maintenance. Et pour remédier à cette situation, le

## Chapitre VI : Partie pratique et investigation sur l'implantation de la conception ergonomique

personnel de maintenance du client sera obligé de corriger la conception en fournissant une structure démontable pour éviter le dur travail effectué lors des futures interventions de maintenance.



**Figure 24 :** Contraintes des opérations de maintenances



## Chapitre VI : Partie pratique et investigation sur l'implantation de la conception ergonomique

Les **Figures :25.1-30** représentent les cas de bon et mauvais design dans l'usine objet d'étude.



**Figure 25.01** un baromètre mal positionnée/lisible



**Figure 25.02** un baromètre bien positionnée/lisible



**Figure 25.03** un baromètre mal positionné très haut



**Figure 25.04** un baromètre mal positionné



**Figure 25.05** une vanne inaccessible

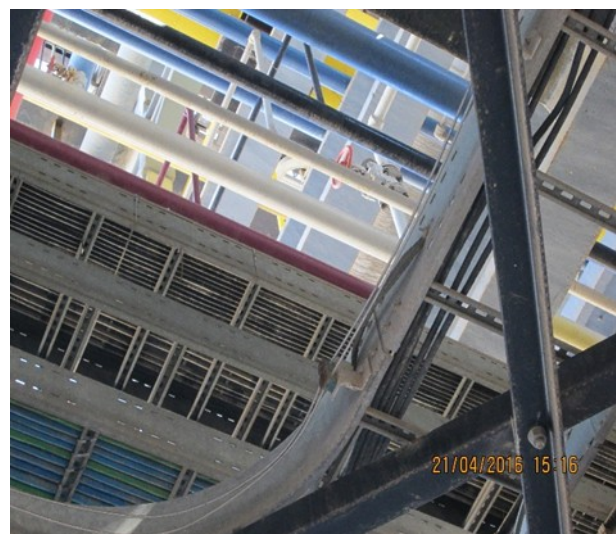


**Figure 25.06** une vanne inaccessible





Figure 25.07 une bonne conception d'échelle



Figure 25.08 une mauvaise conception d'échelle



Figure 25.09 une plateforme de mauvaise conception



Figure 25.10 une plateforme de mauvaise conception



Figure 25.11 une plateforme de bonne conception



Figure 25.12 une plateforme de bonne conception





**Figure 25.13** une vanne bien orientée pour faciliter son exploitation par l'opérateur



**Figure 25.14** une vanne bien orientée pour faciliter son exploitation par l'opérateur



**Figure 25.15** une vanne accessible



**Figure 25.16** une vanne inaccessible



**Figure 25.17** une vanne inaccessible



**Figure 25.18** une vanne accessible





Figure 25.19 une vanne bloquant le passage



Figure 25.20 une vanne difficilement accessible



Figure 25.21 une vanne difficile à opérer



Figure 25.22 une vanne difficilement accessible



Figure 25.23 une vanne inaccessible (haut)



Figure 25.24 une bonne conception





Figure 25.25 une vanne difficilement accessible (a)



Figure 25.26 une vanne difficilement accessible (b)



Figure 25.27 une vanne difficilement accessible par l'opérateur (tres haut)



Figure 25.28 gaine aspiration (démontage difficile pour les besoins de maintenance.



Figure 25.29 vanne inaccessible



Figure 25.30 vanne inaccessible

### VI.8.6. Discussion et analyse des résultats

Des discussions ont été tenues avec plusieurs ingénieurs de conception d'une compagnie d'engineering concernant l'application des principes ergonomiques dans la conception des nouvelles installations industrielles, ces discussions nous ont démontrées que beaucoup d'ingénieurs ignorent ce que veut dire le mot ERGONOMIE ainsi que le concept ergonomique. Après une brève description du concept de l'ergonomie, la réponse de la quasi-totalité des ingénieurs était que cet aspect est couvert par le model 3D (trois dimensions) pour l'accessibilité aux équipements. Une telle compréhension va sûrement, générer des installations qui ne respectent que le minimum des règles de sécurité en termes de standards et normes [58].

Le constat général dans notre étude de cas est que la majorité des personnes interrogées qui ont une idée sur l'ergonomie, la considèrent généralement comme étant une science de fabrication des tables et des chaises confortables. Lors de l'exécution d'un projet, l'entrepreneur est tenu d'exécuter les activités contractuelles dans un délai spécifié. Par conséquent, dans les premières étapes du projet, des spécifications principalement techniques seraient réalisées pour de nombreuses raisons, dont certaines incluent la réduction du coût total du projet et le respect du calendrier du projet. Tout ce qui a été considéré comme un travail de décoration concernant le respect des exigences HSE des clients et les aspects ergonomiques sont les premiers éléments à oublier car il n'existe pas de contrôle systématique et déterministe de leurs mises en œuvre, comme ils nous expliquent de nombreux ingénieurs de clients. Souvent lors des discussions entre ingénieurs des clients et concepteurs, concernant par exemple l'accessibilité physique requise pour actionner une vanne ou lire un paramètre dans les installations comme la pression ou la température, la facilité de maintenance et sa faisabilité, le représentant de l'entrepreneur refuse généralement cela. Position prise par les entrepreneurs en argumentant qu'il est très facile d'exploiter un tel système et faire la maintenance par ses propres opérateurs

Les entrepreneurs expliquent que leurs opérateurs sont en mesure d'exploiter ces vannes ou de lire facilement ces instruments, alors qu'en réalité, ce sera une tâche acrobatique de faire les tâches demandées en se penchant en arrière et en faisant d'autres pratiques comme l'escalade d'équipement ou de tuyaux et en les utilisant comme plates-formes, pour pouvoir atteindre le niveau de vannes et d'instruments plus élevés.

On peut imaginer les efforts que les ingénieurs des clients consacrent à chaque élément, ils sont en face à une énorme résistance de la part du représentant de l'entrepreneur pour faire



## Chapitre VI : Partie pratique et investigation sur l'implantation de la conception ergonomique

---

des modifications du design initial. En d'autres termes, nous parlons du refus de dépenser plus de temps et d'argent pour améliorer la conception en intégrant les critères ergonomiques. Parfois, la mise en œuvre de critères ergonomiques est gratuite et ne nécessite aucun investissement, comme l'installation d'une plate-forme, mais simplement une simple prise de conscience comme une bonne orientation d'une vanne. Cependant, ce type d'erreur est souvent répétitif s'il n'y a pas de conscience de l'importance de la mise en œuvre d'une conception ergonomique de la part des entrepreneurs.

Un ingénieur process a expliqué que de nombreuses vannes ne sont pas accessibles, cela vaut dire qu'elles ne peuvent pas être facilement exploitées. Il a cité un exemple dans lequel les opérateurs grimpent environ 5 mètres à l'aide d'une échelle et une fois arrivée au niveau de la vanne ils découvrent que la vanne est inaccessible du fait qu'elle est mal orientée, ce qui était inacceptable. (Figure 26).



**Figure 26 : vannes mal orientées**

Pourquoi les sociétés d'ingénierie ignorent-elles la mise en œuvre d'une conception ergonomique ? Même si cela peut parfois sembler un travail facile, lorsque les concepteurs décident de ne pas ignorer les questions d'ergonomie, nous parlons de temps et de travail supplémentaires, pour lire et comprendre les éléments de réponse de chaque critère en cherchant dans les bases de données, normes, standards et les guidelines.

Le concepteur ici est en train de réfléchir à la façon de convertir les données à partir des normes, des procédures ou des exigences d'un client pour mettre en place des caractéristiques ergonomique dans la conception. Ce n'est pas une journée supplémentaire de travail classiquement bien connu. Dans une telle situation, le concepteur propose une solution

adéquate à un problème spécifique et la contrôler conformément aux normes, procédures et exigences existantes.

Le concepteur doit être conscient que la solution n'affecte pas les aspects techniques de l'ensemble du système. Il est clair ici que la prise en compte des enjeux ergonomiques nécessitera un travail supplémentaire traduit par un temps supplémentaire. Il s'agit du processus de résolution d'un problème qui nécessite plus de temps. Ce processus sera répété pour chaque élément. Au stade final de la conception, la somme de ces heures supplémentaires affectera le calendrier initial proposé pour finaliser le projet. Plus de temps signifie plus d'heures de travail et, bien sûr, plus d'heures de travail signifient un coût supplémentaire au stade de l'ingénierie. Après la phase engineering viendra le coût supplémentaire de la mise en œuvre de ces solutions dans les phases d'approvisionnement et de construction. À la fin du projet, le temps du traitement contribuera à augmenter le temps de d'exécution global du projet.

Généralement les compagnies d'engineering font le contrôle d'ergonomie dans un projet donné par le biais d'un modèle "3 D" préliminaire. Ce control, n'est qu'une revue oculaire globale de l'unité sans entrer dans les détails car on ne peut pas détecter les erreurs de design (aspect ergonomique) par une simple revue visuelle. En plus, dans beaucoup de boites d'engineering ne disposent pas d'un ergonomiste, dans ce cas l'ingénieur joue le rôle d'un ergonomiste.

Dans une situation normale, la personne la plus concernée par une installation ergonomiquement bien conçue devrait intervenir. Normalement, dans une telle situation, les clients devraient être plus préoccupés par ces problèmes. L'entrepreneur livrera la nouvelle usine au personnel des clients pour l'exploiter avec toutes ses insuffisances et ses problèmes d'ergonomie. Cette compréhension semble être vraie, mais ce n'est pas le cas, car lorsque des discussions ont été menées avec les ingénieurs, beaucoup d'entre eux comprennent que la conception ergonomique est un luxe. Avec cette perception de la conception ergonomique, les ingénieurs pensent qu'une entreprise n'est pas obligée de construire des installations aussi sophistiquées. Il est entendu que le personnel des clients impliqués dans les projets ne sont pas conscients de la valeur ajoutée de l'ergonomie.

Le manque de conception ergonomique dans les installations industrielles génère généralement un environnement de travail avec une forte exposition professionnelle aux contraintes ergonomiques et, bien sûr, engendre des maladies, des maladies professionnelles et crée des conditions latentes, qui facilitent la survenue d'accidents. Dans les installations industrielles, les défaillances latentes sont principalement causées par des personnes dont les

tâches sont éloignées dans le temps et dans l'espace des activités opérationnelles telles que les concepteurs, les décideurs et les gestionnaires.

Durant notre étude, les interrogations suivantes étaient omniprésentes avec nos esprits

- Les designers sont-ils conscients de la signification de l'ergonomie et est ce qu'ils savent comment la mettre en œuvre dans les futurs designs ?
- Les concepteurs savent-ils comment fournir une conception ergonomique ?

Si nous procédons à répondre positivement à ces deux questions, les réponses seront les suivantes :

- Les concepteurs sont conscients de l'importance de l'ergonomie et savent comment la mettre en œuvre dans les futures conceptions.
- Les concepteurs savent comment proposer un design ergonomique.

Comme décrit dans notre manuscrit, pour la première réponse ; l'activité de conception et l'intégration des critères ergonomiques seront effectués simultanément par les mêmes personnes qui sont designers et bien sûr l'intégration de l'ergonomie dans les activités de conception sera homogène. L'intégration de critères ergonomiques sera considérée comme partie des activités de conception réalisées par la même personne possédant des connaissances de base en matière d'ergonomie et de HSE.

À l'inverse pour la deuxième réponse, la mise en œuvre de l'ergonomie se fait en tant que couche décorative après avoir terminé l'activité de conception technique juste pour satisfaire aux exigences des codes, normes et standards. Généralement, ces activités d'intégration des critères HSE et ergonomiques se feront avec l'assistance d'un spécialiste, donc le traitement de l'ergonomie ne fera pas partie de la conception initiale et son apparition deviendra une activité hétérogène avec les activités de conception classiques.

Dans notre étude de cas, il y a deux acteurs principaux, qui sont :

- **Client :**

Le client voudrait avoir de bonnes installations ergonomiques mais n'est pas directement responsable de la mise en œuvre de la conception ; il fixe des spécifications (techniques, de sécurité, de normes d'ergonomie, etc.) et contrôle leur mise en œuvre mais ne dispose pas des moyens de spécifier et de contrôler l'exécution de l'ergonomie.

- **Le concepteur :**

Les concepteurs doivent satisfaire les exigences du client, généralement en fournissant une bonne conception

## **Chapitre VI : Partie pratique et investigation sur l'implantation de la conception ergonomique**

---

La question ici est de savoir qui est plus motivé à mettre en œuvre une conception ergonomique des nouvelles installations, car si le client n'est pas en mesure de spécifier et de contrôler l'application de l'ergonomie et, d'autre part, le concepteur privilégie les spécifications techniques plutôt que les critères HSE ou ergonomiques, l'ignorance de la mise en œuvre d'un critère non clairement demandé sera là.

En l'absence d'une approche systématique de la mise en œuvre d'installations ergonomiques, les concepteurs oublieront facilement d'appliquer ces critères poussés par le temps, le coût élevé de leur mise en œuvre, l'ignorance et le manque de connaissances sur le sujet. Les concepteurs sont conscients de ces erreurs primitives comme l'exemple de l'orientation de la vanne, ou inaccessibilité d'une vanne, mais pourquoi, lorsqu'ils réalisent la conception, ils ignorent la nécessité de mettre une vanne accessible en ajoutant une plate-forme ou le niveau et l'orientation appropriés des vannes. Les clients exigent des spécifications ergonomiques pour leurs installations et bien sûr, les concepteurs doivent satisfaire les exigences des clients. Dans notre étude de cas, nous avons fait une lecture théorique sur la conception ergonomique, où une énorme évolution est observée dans l'amélioration de la qualité de conception liée à la conception ergonomique de haute qualité, mais dans le monde réel de l'ingénierie, nous découvrons que le processus de mise en œuvre d'ergonomie dans les installations industrielles n'est pas systématiquement suivi, et les mêmes erreurs de conception de base liées à l'intégration des critères de l'ergonomie apparaissent toujours.

Il y a une grande évolution en matière d'ergonomie dans les institutions de recherche et les organisations internationales spécialisées, d'autre part le rythme de l'évolution ergonomique dans le monde réel de la conception des installations industrielles progresse toujours lentement. La question qui se pose actuellement est : qui est motivé à incorporer l'ergonomie dans la conception des nouvelles installations pétrolières et gazières. Le temps et le coût de la mise en œuvre du critère de l'ergonomie sont encore les principaux obstacles à l'application d'une conception ergonomique, ainsi que l'ignorance de la façon de l'incorporer systématiquement dans le processus de conception.

Lorsque le concepteur décide de mettre en œuvre une conception ergonomique, ce dernier devrait examiner les documents ergonomiques et les normes de code connexes, surtout si ce dernier n'est pas familiarisé avec cette documentation, ce qui prendra plus de temps pour être traité, compris et enfin appliqué dans la conception de tels systèmes.

Les résultats indiquent que l'application de l'ergonomie reste faible dans la conception des installations pétrolières et gazières. La conception des nouvelles installations pétrolières et gazières est plus ou moins la même parce que les mêmes entrepreneurs sont généralement

sollicités pour réaliser les installations industrielles dans le monde entier. Peut-être le facteur unique qui pourrait créer une légère différence est l'intervention des clients avec un contrôle rigoureux pour exiger et contrôler l'intégration de l'ergonomie.

### **VI.8.6.1. Système de compétition**

Dans le système de concurrence, afin de permettre une intégration moins coûteuse de solutions techniques et ergonomiques, les caractéristiques faibles, les éléments peu clairs et les critères non mesurables semblent être les premiers éléments à ignorer pour minimiser le coût global des offres des différentes sociétés d'ingénierie. Interrogé sur l'intégration de l'ergonomie, un ingénieur mécanique principal de la société d'ingénierie a avoué que lorsqu'on traite les exigences d'un client via le cahier des charges, il est très difficile d'interpréter les exigences générales, en particulier lorsque les sociétés d'ingénierie n'ont pas une idée de la façon dont leurs concurrents vont traiter ce type de besoins. Il a déclaré que "les ingénieurs ne sont pas sûrs que les entreprises compétitives interprètent les exigences générales en fournissant les meilleures solutions, car lorsqu'elles traitent ce type d'exigences générales, les mauvaises, moyennes et meilleures solutions répondront aux exigences générales du client alors que le coût de leur mise en place sera complètement différent". Cette pratique pousse les ingénieurs à proposer les solutions les plus simples et les moins coûteuse, qui sûrement ne seront pas les meilleures, mais elles garantiront simplement une offre financière compétitive pour remporter l'appel d'offres. Si les autres concurrents ne prennent pas en compte les critères ergonomiques et les facteurs humains dans leur conception, il ne sera pas rentable pour les entrepreneurs de se conformer aux critères ergonomiques, car le traitement de ces problèmes aura un impact sur le coût final et, bien entendu, cela peut conduire à la perte de ce marché lors de la phase soumission [58].

Les exigences générales formulées sont préférées aux concepteurs en raison de la grande marge de manœuvre pour choisir une solution parmi plusieurs possibilités. Cette possibilité n'est pas disponible lorsqu'il existe des exigences très spécifiques, que ce soit en interne ou en externe. Confronté aux contraintes liées à la résolution de problèmes techniques ou ergonomiques, un ingénieur principal de tuyauterie admet que ce choix est fortement souhaité. L'ingénieur de procédés du côté du client indique que si les clients spécifient correctement leurs exigences en utilisant des formulations, des codes et des normes très spécifiques, les concepteurs n'ont qu'à choisir la solution appropriée, même si elle sera coûteuse ou compliquée à installer. Dans une telle situation, les concepteurs sont obligés de mettre en œuvre les exigences du client même si elles nécessitent des efforts, du temps, des coûts

supplémentaires ou une configuration compliquée. Un expert spécialisé en estimation des coûts, interrogé sur ces questions, a déclaré que « si le CAPEX estimé, est principalement basé sur les exigences générales, au moment de fournir la proposition financière pour être compétitif par rapport aux autres soumissionnaires, il sera difficile d'accepter des améliorations du conception demandée par les ingénieurs du client dans les dernières étapes du projet, alors que la conception et le contrat sont évalués sur la base des solutions techniques et ergonomiques les plus simples, donc à ce stade, aucune amélioration ne sera tolérée par l'organisation de l'entrepreneur». Un gestionnaire principal d'une société d'ingénierie a déclaré : « Les clients sont fortement priés de préciser des exigences techniques et ergonomiques claires par des formulations, des normes et des prescriptions de code très spécifiques pour permettre aux soumissionnaires d'avoir le même niveau de compréhension des besoins techniques et d'ergonomie nécessaires. Dans une telle situation, les soumissionnaires sont sûrs que les mêmes règles de jeu sont respectées par tous les soumissionnaires. **Skepper et al**, indiquent que les entrepreneurs ont le devoir de former leurs propres concepteurs sur la façon d'estimer les solutions ergonomiques et les budgétiser dans le coût global du projet pour maîtriser l'estimation des coûts [14]. En outre, nos investigations indiquent que la mise en œuvre des exigences générales du client dépendra de l'intérêt et de la volonté des concepteurs de les mettre en œuvre ou non, et sera basée sur leurs connaissances et la conscience de l'importance de l'ergonomie ainsi que sur les contraintes de temps et de coût contre leur mise en application, et dépend également de la connaissance et la reconnaissance de l'importance de l'ergonomie par l'organisation et les ingénieurs des clients. En l'absence d'exigences spécifiques, de normes, de codes émanant de l'organisation interne d'une entreprise d'ingénierie, ou de spécifications du client, les concepteurs opteront pour les solutions optimales, qui ne sont pas nécessairement les meilleures. En remportant l'appel d'offres, les solutions optimales du point de vue du concepteur changent pour résoudre ces problèmes avec le moins d'effort et de coût possible. **Wulff et al.**, expliquent l'importance des formulations spécifiques pour les concepteurs au sein d'entreprises d'ingénierie et indiquent la préférence des concepteurs pour les prescriptions très précises [15]. À la fin du projet, notre enquête prouve qu'avec les exigences générales du client, les concepteurs sont plus à l'aise parce qu'ils ont un grand espace de manœuvre pour choisir la solution appropriée parmi de nombreuses possibilités. L'inverse est vrai lorsque l'on parle des préférences des ingénieurs des clients, qui préfèrent des exigences formulées d'une manière très précise pour être sûr que ces prescriptions seront appliquées même avec l'existence de contraintes pour leur mise en œuvre. Après avoir terminé la construction, les concepteurs et les ingénieurs du client se sont



rencontrés et ont discuté de certaines questions ergonomiques, et les corrections proposées sont toujours les plus simples. Par exemple, au lieu de mettre en place une plate-forme permanente pour les vannes très fréquemment utilisées, le concepteur propose d'installer une petite échelle mobile à l'usage des opérateurs [58]. Il existe des cas où une échelle mobile est utilisée pour actionner deux vannes, et dans ce cas, l'opérateur est obligé de descendre et de déplacer l'échelle pour pouvoir actionner la deuxième vanne (**Figure 27**).



**Figure 27** : échelle mobile pour exploiter deux vannes

On peut imaginer qu'un opérateur qui voudrait fermer une vanne est obligé, au début, de déplacer l'échelle dans la position appropriée pour exploiter la bonne vanne. Les concepteurs indiquent que les solutions proposées sont très pratiques pour exploiter ces vannes, alors que les représentants du client ne semblent pas très satisfaits, les concepteurs comme réponse ultime indiquent qu'il n'y a aucune exigence spécifique pour mettre en œuvre une plate-forme fixe. Si seulement une bonne accessibilité est requise, les échelles ou les plates-formes fixes sont contractuellement similaires. Sans la demande des ingénieurs du client, l'entrepreneur ne traiterait pas ces questions ; même si les erreurs sont évidentes.

Beaucoup d'ingénieurs admettent qu'avec les exigences générales, toutes les solutions proposées seront plus ou moins valables du point de vue contractuel, mais dans le cadre du principe « best practice » qui devraient être suivies par les concepteurs, de tels types de préoccupation ne devrait pas exister. Un ingénieur de procédé du client indique que « des discussions longues ont eu lieu avec les concepteurs sans aucune amélioration ergonomique majeure », car à ce stade tardif des projets, la plupart du budget de projets a été consommé et, bien sûr, l'organisation de l'entrepreneur n'acceptera pas de solutions coûteuses. Généralement, les entreprises contractantes n'essayeront pas d'incorporer des choses qui ne sont pas clairement demandées par les clients. Seules les spécifications techniques claires et

les systèmes de sécurité ou ergonomiques minimaux nécessaires au fonctionnement de la nouvelle usine seront pris en compte. Si cela n'est pas clairement demandé, il sera évident que toutes les considérations ergonomiques ne seront pas prises en compte par les entrepreneurs, même si elles sont nécessaires pour rendre le système plus sûr et plus efficace, simplement pour éviter des coûts supplémentaires non mesurés. Dans ce cas, l'entrepreneur ne prend en compte que les exigences spécifiques du client, clairement mentionnées dans les cahiers des charges. La possibilité de choisir la solution optimale du point de vue du concepteur sera très limitée.

Dans un système de concurrence entre les sociétés d'ingénierie, le coût de l'offre le plus bas doit être atteint ; ils sont alors obligés d'ignorer les éléments techniques et ergonomiques peu clairs de leur conception pour pouvoir remporter l'appel d'offres. Une fois le contrat remporté, l'objectif des entrepreneurs sera de ne pas dépasser le budget initial du projet. Les premières victimes de cette pratique sont sûrement les critères ergonomiques peu clairement précisés et les éléments flous du cahier de charge. On se retrouve alors avec un paradoxe de conflit d'intérêt entre le client et la société d'ingénierie.

Comme il n'y a pas de spécialiste en matière d'ergonomie dans les organisations des clients, il était préférable de prescrire au moins des exigences ou des recommandations très générales dans les cahiers des charges plutôt que de ne rien préciser, cette pratique devrait suivie car aucune ressource spécialisée n'est disponible dans l'organisation.

### **VI.8.6.2. Évaluation de la mise en œuvre de l'ergonomie**

Une revue de la documentation de l'entrepreneur relative aux aspects ergonomiques et des entretiens avec les ingénieurs ayant participé à la conception du projet, a été menés. Après la revue des documents de la société d'ingénierie, il a été découvert que la société d'ingénierie ne dispose pas de documents originaux traitant des aspects ergonomiques ou expliquant sa philosophie sur la manière de mettre en œuvre l'ergonomie dans la conception des nouvelles installations. Seuls les documents du client sont utilisés pour être appliqués dans la conception ou spécifiés pour l'achat de packages et d'équipements. Dans le processus de conception, aucun élément ne précise clairement ce que le concepteur doit faire pour mettre en œuvre une conception ergonomique. Il a été aussi constaté qu'il n'existe pas de spécialiste des facteurs humains ni d'approche systématique de mise en œuvre de l'ergonomie.

Dans la liste des normes qui devraient être appliquées par la société d'ingénierie, il n'y a aucune mention de normes ou de lignes directrices spécifiques concernant les exigences en matière de facteurs humains.

Les concepteurs se concentrent uniquement sur les normes relatives aux aspects techniques tels que les spécifications des équipements, les systèmes de lutte contre l'incendie, les systèmes de traitement des eaux usées, etc. Dans les documents contractuels, de nombreux documents parlent de la qualité du projet, mais si celui-ci existe sans document de référence comme ligne directrice, personne ne peut contrôler la qualité de la bonne mise en œuvre des critères ergonomiques.

Avec la non existences des exigences ou des guidelines, les entrepreneurs trouveront des problèmes pour aligner les fournisseurs des différents packages pour que les mêmes standards ergonomiques soit applicables (stéréotypes ; les mêmes sections conçues tenant compte l'anthropométrie provenant de différents fournisseurs ; les mêmes indicateurs de signe ; la même unité de mesure pour éviter que les opérateurs effectuent des calculs mentaux ; types de contrôle similaires ), le contrôle de ces tâches sera effectué par les clients pour s'assurer de l'homogénéité des installations.

### VI.8.6.3. Formulation générale des exigences dans le cahier des charges

Dans le cas d'une formulation générale dans le cahier des charges, les entrepreneurs trouveront une grande marge de manœuvre et, bien entendu, ils choisiront les solutions les plus faciles, les moins coûteuse et les plus simples pour répondre à cette exigence de formulation générale. Dans une telle situation de formulation générale des exigences, il sera très difficile pour les ingénieurs du client de contrôler la mise en œuvre des meilleures solutions car toutes les solutions proposées seront plus au moins valables du point de vue contractuel, même si elles ne seront pas forcément les meilleures [58].

Lorsqu'un client demande à un entrepreneur de réaliser une conception ergonomique, la facilité d'entrée et de sortie pour l'exploitation et la maintenance, cela ne veut rien dire de point de vue contractuel car elle est très vague et incontrôlable. Dans une telle situation, c'est au concepteur de décider de la solution qu'elle le conviendra de mettre en œuvre. **Wulff et al.**, indiquent qu'il est clair que ces derniers ne trouveront pas de bonnes solutions ». Chaque fois que l'exigence est posée de manière claire par des formulations très spécifiques, les solutions doivent être mises en œuvre exactement selon les exigences du client. Le coût supplémentaire d'une installation bien conçue ergonomiquement doit être ajouté au coût total de l'installation [03] [15].

Les avantages de l'installation d'une usine bien conçue du point de vue ergonomique seront acquis par la société exploitante. En revanche, le concepteur encourra un surcoût injustifiable s'il fournit la meilleure solution aux exigences générales formulées. Les fournisseurs

fourniront les solutions les plus simples [15]. Dans ce cas, l'entrepreneur n'exploitera pas cette nouvelle usine, alors pourquoi proposer les meilleures solutions aux problèmes ergonomiques alors qu'aucune exigence spécifique n'est formulée, surtout si ces solutions entraîneront un coût supplémentaire.

Lorsqu'on demande aux ingénieurs de l'entrepreneur pourquoi ils ignorent la mise en œuvre la conception ergonomique, ils nient cette affirmation, expliquant que leur conception est bonne du point de vue ergonomique et confirmant que dans ce cas, ils ne sont pas censés fournir une conception très sophistiquée, ce qui n'est pas explicitement demandé par le client dans l'appel d'offres, surtout si cela peut entraîner un surcoût injustifiable pour l'entrepreneur. « Le concepteur pénalise le fournisseur qui propose la meilleure offre du point de vue ergonomique » [15]. Le design offrant plus d'espace pour l'exploitation et pour la maintenance mais avec un coût supplémentaire pour l'entrepreneur ne sera pas le premier à choisir. Dans une telle situation, il apparaît le rôle des clients pour mettre en œuvre et de contrôler le choix de la meilleure offre parmi celles proposées par les fournisseurs de l'entrepreneur.

### **VI.8.6.4. Formulation spécifique des exigences dans le cahier de charge du client**

Comme nous l'avons vu précédemment, les formulations générales sont sûrement contournées par les concepteurs, surtout si elles sont liées à des coûts supplémentaires injustifiables. Ici, les exigences contenues dans des formulations spécifiques semblent être plus efficaces que les exigences formulées de manière générale. Nous parlons ici d'exigences spécifiques du côté du client et non pas de l'organisation interne de la société d'ingénierie, qui peuvent être contournées si le concepteur juge que les exigences sont coûteuses ou compliquées à mettre en œuvre, bien sûr, en l'absence des exigences particulières des clients [58].

Plus de 50% des ingénieurs de projets révèlent que même avec des exigences spécifiques formulées, ils ne peuvent pas suivre toutes ces activités en contrôlant leur mise en œuvre. Selon eux, « le nombre d'ingénieurs n'est pas suffisant au regard de la quantité de documentation à examiner et il n'y a pas de spécialiste des facteurs humains ».

**Wulff et al.**, confirment que même des exigences spécifiques n'étaient pas toujours garanties d'être mises en œuvre par le concepteur en raison de la grande quantité de documentation à exploiter. Les exigences n'étaient pas toujours lues, et même une fois lues, elles n'étaient pas nécessairement mises en œuvre [03] [15].

Dans une telle situation, les exigences générales formulées et les exigences spécifiques formulées semblent être similaires, mais dans le cas d'exigences spécifiques formulées

clairement, le contrôle sera beaucoup plus facile à mettre en œuvre par les ingénieurs des clients.

Il faut faire preuve de jugement et de compromis lorsque les facteurs humains sont évalués en fonction du temps, du coût, de la sécurité et des perceptions du concepteur quant à ce qui constitue une exigence raisonnable. Même si cette affirmation est vraie ici, les clients doivent veiller pour mettre en œuvre la solution la plus appropriée à des problèmes ergonomiques spécifiques [15].

### **VI.8.6.5. Recommandation dans le cahier de charge du client**

Généralement, les recommandations dans les domaines de l'ergonomie et du HSE sont des moyens faibles pour produire une bonne conception ; avec les moindres contraintes auxquelles sont confrontés les concepteurs, ces derniers ne les mettront pas en œuvre. **Wulff et al.**, suggèrent de les éviter pour permettre de contrôler les problèmes ergonomiques via des exigences spécifiques ou, au moins, formulées de manière générale [03].

Un ingénieur côté client indique que, selon son expérience, ce type de recommandations est peu susceptible d'être mis en place, surtout si elles ne sont pas intégrées dès la conception initiale.

### **VI.8.7. La stratégie pour l'implantation de l'ergonomie**

Les concepteurs, au lieu de mettre une couche réglementaire en rajoutant des solutions après avoir terminé la conception technique d'un système, ils devraient concevoir correctement avec l'intégration des aspects HSE et ergonomie dès le départ. L'ergonomie doit être présente dès les premières étapes de la conception [58].

La stratégie ergonomique devrait consister à concevoir correctement les installations plutôt que d'essayer de résoudre les problèmes ergonomiques après avoir terminé la conception et la construction. Le client doit inclure ses exigences dans le cahier des charges en tant qu'utilisateur final, en utilisant des exigences formulées de manière précise et concise avec la spécification des normes et standards. Les concepteurs doivent fournir des installations bien conçues avec la prise en charge des exigences ergonomiques.

Cependant, il n'existe aucun moyen de contrôle systématique permettant de s'assurer que les critères des facteurs humains sont bien intégrés dans la conception finale. Il s'agit ici de savoir comment pousser le concepteur à s'impliquer dans la conception finale en respectant les critères de facteurs humains. Les concepteurs doivent avoir l'entière responsabilité de créer une bonne conception répondant aux critères des facteurs humains.

L'intérêt de mettre en place une conception ergonomique doit être transféré du client vers le concepteur. La conception ergonomique devrait être certifiée par un tiers (un organisme indépendant) afin de sensibiliser les sociétés d'ingénierie à l'importance de mettre en œuvre une conception ergonomique.

La conscience de l'importance de l'ergonomie n'est pas identique à la connaissance pour la mettre en application. Afin d'utiliser les outils ergonomiques, la formation et d'autres qualifications doivent être transférées à ceux qui seront impliqués dans son implantation. Une stratégie ergonomique est nécessaire pour fournir des bases ergonomiques à tous les niveaux de l'organisation des entreprises d'engineering.

Dans beaucoup de grandes compagnies pétrolières, les activités ergonomiques sont fragmentées et elles ne sont pas conformes à toutes les normes. Cette fragmentation peut être plus prononcée quand les activités ergonomiques sont sous-traitées. En outre, il est impossible de contrôler efficacement ce qu'on ne peut pas mesurer, et il n'y a pas une mesure systématique des coûts ergonomiques ou de performance au sein de la plupart des compagnies pétrolières. Par conséquent, on exige une stratégie qui renforce la ligne responsabilité de l'ergonomie tout en assurant son introduction et son application dans toute organisation. Ceci peut être réalisé par l'introduction de la philosophie ergonomique dans le système de gestion existant, avec l'objectif principal de s'assurer que l'ergonomie est exécutée efficacement, et sans risque à chaque étape dans le cycle de vie des installations.

La stratégie ergonomique devrait remplir les lacunes identifiées dans la culture d'organisation et fournir une structure qui permet aux compagnies à :

- Améliorer l'exécution de l'HSE en appliquant les principes ergonomiques ;
- Être plus efficace et optimiser au maximum les coûts en employant les outils et les techniques ergonomiques ;
- Être efficace dans l'application de l'ergonomie.

La stratégie doit répondre à ces objectifs :

- Pour intégrer l'ergonomie en tant qu'élément clé de la conception.
- Pour assurer l'engagement du management en démontrant les avantages économiques de l'ergonomie ;
- Pour intégrer l'ergonomie dans les investissements et dans le système de gestion des risques tout au long du cycle de vie des installations ;

La stratégie propose une feuille de route pour intégrer l'ergonomie dans la conception des nouveaux projets industriels. Elle comprend plusieurs éléments essentiels : s'assurer que les ingénieurs de conception et ceux qui rédigent les cahiers des charges maîtrisent les principes

de base de l'ergonomie, démontrer les avantages de celle-ci, et l'incorporer tout au long du cycle de vie des projets. Il est également prévu de créer une base de données sur les problématiques ergonomiques spécifiques aux secteurs gazier et pétrolier, et d'intégrer l'ergonomie dans le système de gestion HSE (Hygiène, Sécurité et Environnement). Le contrôle et le suivi de l'exécution de cette stratégie sont également des points clés, ainsi que l'automatisation des solutions ergonomiques. Ces aspects s'appliquent à différents niveaux de l'organisation et à toutes ses disciplines, afin de maximiser la portée et l'efficacité de l'ergonomie à l'échelle globale. Limiter l'ergonomie à un seul domaine, comme le HSE, sans l'intégrer dans la phase de conception, serait insuffisant pour garantir son impact optimal.

### **VI.8.8.L'évaluation de la performance**

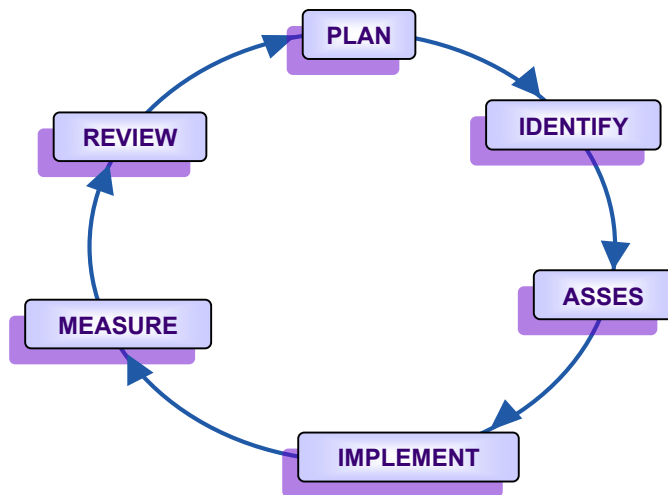
La vérification de la performance est une partie importante du système de l'implantation l'ergonomie, pour s'assurer que la conception répond aux besoins des utilisateurs, les installations en opérations ne devraient jamais être le sol d'essais. Cependant, il y a toujours des erreurs pendant la conception, leur détection ne s'est faite qu'après le fonctionnement du système, donc il est nécessaire d'inclure la vérification de la performance durant tout le cycle de vie d'un projet (conception ; construction ; réception du projet ; exploitation ; maintenance) [142].

Le meilleur approche de l'implantation de l'ergonomie, est l'intégrer dans le processus de conception aux premières étapes du développement. Les corrections des erreurs de conception pour intégrer l'ergonomie dès les premières étapes du développement de projet se traduisent directement à un coût inférieur. Mais une fois le système est en opération tout détection d'erreur se traduit par une intervention très onéreuse [58].

Le contrôle dans le sens ergonomique inclut également l'évaluation si la fonctionnalité du système est optimale. La fonctionnalité se rapporte principalement à la capacité de l'opérateur de travailler confortablement avec le système, en termes de confort physique et facilité d'usage du système. En plus de la vérification de la performance du système, les outils ergonomiques vérifient les risques qui peuvent être associés aux actions humaines, sur le système et identifie les secteurs où les barrières sont inadéquates. Le H-HAZOP (**HUMAN HAZOP**) peut jouer un rôle important dans la détection des erreurs et aide à mettre en place des barrières de sécurité au système.

Du point de vue ergonomique, un système bien conçu, ses caractéristiques doivent aussi inclure les actions humaines qui peuvent causer des risques majeurs aussi bien que les

conditions de fonctionnalité. Par conséquent, le contrôle de la performance doit comparer les conditions d'usage et les objectifs du système aussi bien que mettre en application les barrières nécessaires à contrecarrer l'erreur humaine.



**Figures 28 :** Cycle du contrôle de performance

### VI.8.9. Certification ergonomique

L'idée de certification ergonomique est de pousser les concepteurs à intégrer des exigences en matière de facteurs humains dans leurs produits finaux. La certification des facteurs humains garantirait que des critères minimaux acceptables en matière de facteurs humains soient intégrés dans la conception des dernières unités construites par les entrepreneurs.

Les nouveaux clients demanderaient la certification ergonomique des derniers projets pour s'assurer que les concepteurs des sociétés d'ingénierie sont conscients de l'importance du rôle de l'ergonomie et qu'ils fassent plus d'effort pour mettre en place une conception ergonomique dans les nouveaux projets [58].



## CONCLUSIONS

---

### CONCLUSIONS

Cette présente étude avait pour objectif principal la discussion sur l'introduction de l'aspect ergonomique dans la conception des nouvelles installations pétrolières et gazières. L'ergonomie donne une occasion d'améliorer l'industrie gazière et pétrolière en employant les techniques qui enlèvent les barrières traditionnelles entre les compétences humaines et la machine. Les répercussions de l'introduction de l'ergonomie seraient traduites par des gains en termes de sûreté, de motivation et la satisfaction des employés ainsi qu'une amélioration de fonctionnalité du système et une réduction des taux d'accident.

L'ergonomie joue un rôle important dans la plupart des aspects des opérations, affectant l'exploitation aussi bien que la sécurité globale du système. La vaste gamme des normes et standards à considérer montre la complexité d'une bonne revue ergonomique et de la nécessité de s'assurer que les ingénieurs de conception ont une bonne compréhension des principes ergonomiques de base et une approche de la manière de l'introduire dans les nouvelles conceptions.

La prise de conscience de son rôle et des formations de base peuvent être un outil utile pour aider l'ingénieur à concevoir un projet bien correct du point de vue ergonomique. Les travailleurs qui font l'exploitation de la future usine, vont bénéficier d'une installation plus fiable et facile à exploiter avec moins d'occasions pour qu'elle échoue.

Seulement après, comprendre le rôle de l'homme dans le système homme/machine, la conception peut soutenir l'homme, là où il n'est pas apte ou il est en dehors de ses limites ou de ses capacités, si la conception est approchée sur les perspectives des utilisateurs dans toutes les étapes du projet, le bénéfice de cette procédure serait clair, durant tout le cycle de vie d'un projet. Mais cette approche est contraignante pour l'entrepreneur sauf si toutes ces spécifications sont exigées dans les cahiers de charges et pour arriver à ce niveau-là, le client doit être conscient du rôle de l'ergonomie et son importance dans le cycle de vie d'un projet. Les clients dans ces conditions doivent avoir l'expertise pour exprimer leurs besoins en ergonomie dans la conception des nouvelles installations.

L'implication d'un personnel expérimenté est nécessaire dans le processus de mise en œuvre d'une conception ergonomique des entrepreneurs et clients. Dans de nombreux cas, le problème rencontré dans les projets récents, est que les critères ergonomiques ne sont pas faciles à mesurer et il sera très difficile de contrôler leur mise en œuvre en plus qu'il n'y a pas une approche systématique de l'implantation d'un design ergonomique.

Avec un système de compétition visant à proposer l'intégration, la moins chère de solutions techniques et ergonomiques, toujours les critères faibles, les éléments peu clairs et les critères

## CONCLUSIONS

---

peu clairs et non mesurables semblent être les premiers éléments à ignorer pour minimiser le coût global du projet. Ainsi, cela laisse penser que les clients ont une responsabilité dans la l'intégration des critères ergonomique dans les nouveaux projets.

Lorsqu'un client précise clairement ses besoins en termes de facteurs humain et en ergonomie dans les cahiers des charges, une bonne organisation de l'entrepreneur et un concepteur conscient pour prendre en compte ces critères dès la première étape de conception afin d'éviter une mise en œuvre coûteuse et des corrections aux étapes ultérieures dans le cycle de vie du projet.

Le rôle du spécialiste en ergonomie est important dans l'organisation des sociétés d'ingénierie. Son rôle ne doit pas être limité dans les interventions directe, ce qui signifie revoir et corriger la conception. La conception résultante de cette pratique sera plus faible que si les concepteurs mettaient directement en œuvre des considérations ergonomiques parallèlement à des considérations techniques. Le spécialiste Facteur Humain est amené à sensibiliser les concepteurs à la mise en œuvre de critères ergonomiques dans le cadre des activités de conception. Cette pratique de mise en œuvre de l'ergonomie en parallèle avec les activités techniques classiques de conception fournira un système homogène et, bien entendu, le coût total serait inférieur à celui si les critères d'ergonomie étaient mis en œuvre à la suite d'une revue ergonomique de la conception technique déjà terminée par le designer.

Parfois, il sera difficile, voire impossible, de corriger les problèmes ergonomiques. Dans ce cas, le concepteur devra fournir une procédure et des lignes directrices à l'opérateur juste pour répondre aux exigences du client ou à la norme. Cette pratique est la solution la plus simple pour prendre en compte des critères ergonomiques. D'autre part, sachant que les opérateurs ne sont pas motivés à lire toutes les directives et procédures, les conséquences négatives de cette pratique continueront à être présentes dans le fonctionnement des unités industrielles et, bien sûr, cela peut être l'une des raisons conduisant à l'apparition des accidents.

L'implantation de la conception ergonomique est un processus complexe mais essentiel pour toute organisation souhaitant améliorer la qualité de vie au travail et la productivité. Le contrôle interne de la mise en œuvre ergonomique au sein des organisations des entrepreneurs et sous-traitants semble être très important pour traiter les questions ergonomiques, mais un contrôle externe semble aussi important, notamment par les ingénieurs du client ou une tierce partie. À tous les niveaux de l'organisation des entrepreneurs, il est essentiel d'atteindre un même niveau de compréhension concernant les attentes du produit final en matière de respect des critères d'ergonomie.

## CONCLUSIONS

---

En outre, les sous-traitants doivent avoir la même compréhension et les mêmes bases quant à l'application de l'ergonomie dans la conception des éléments sous leur responsabilité, afin d'assurer une mise en œuvre uniforme des critères ergonomiques dans l'ensemble des parties du projet.

Il est essentiel d'examiner l'aménagement de l'usine sous l'angle de l'exploitation et de la maintenance, en s'assurant que les aspects ergonomiques ont été pris en compte dès la phase de conception. Cela implique la révision des plans et du modèle 3D afin de vérifier l'espacement adéquat des équipements, l'accès pour la maintenance, l'emplacement des supports de tuyaux, ainsi que les entrées et sorties des zones d'exploitation. Les concepteurs doivent également être informés des avancées en matière d'ergonomie, et l'expertise d'un spécialiste en facteurs humains est exigée pour intégrer les dernières exigences en la matière. Des solutions ergonomiques alternatives et innovantes, proposées par l'entrepreneur et le fournisseur, peuvent être adoptées si elles s'avèrent plus efficaces. Enfin, compte tenu du volume important de documentation, il est important que tout le personnel technique se familiarise progressivement avec ces documentations par le biais d'une formation et d'une sensibilisation intensives.

En conclusion, nos résultats soulignent que les problèmes d'ergonomie, tels que des postes de travail mal conçus ou des interfaces complexes, représentent des facteurs majeurs de risque d'accidents au sein des systèmes techniques. L'intégration des principes ergonomiques dès la phase de conception se révèle essentielle pour prévenir ces risques, en permettant une réduction significative des accidents et des troubles liés aux conditions de travail, tout en augmentant à la fois la sécurité et la productivité. Les solutions pratiques que nous proposons incluent des formations ergonomiques adaptées aux concepteurs et aux opérateurs, la réorganisation des postes de travail, ainsi que l'amélioration des interfaces homme-machine pour garantir une utilisation intuitive. Ainsi, la prise en compte de la dimension ergonomique dans l'optimisation des systèmes techniques n'est pas seulement une mesure de confort, mais un levier incontournable pour la prévention des accidents et l'amélioration des performances globales des systèmes technologiques.

En intégrant les principes de l'ergonomie dès la conception, il est possible de réduire considérablement les erreurs humaines, les accidents, ainsi que les troubles liés au travail, tout en améliorant la sécurité et la productivité. Une approche ergonomique garantit non seulement une meilleure adéquation entre l'homme et la machine, mais elle contribue également à une utilisation plus intuitive des systèmes, minimisant ainsi les risques et optimisant les performances. Dans ce contexte, l'ergonomie devient non seulement un facteur de bien-être

## CONCLUSIONS

---

pour les travailleurs, mais également une exigence incontournable pour la fiabilité et la sécurité des systèmes technologiques modernes. On peut conclure que par l'investissement dans l'ergonomie, les entreprises du secteur pétrolier et gazier peuvent améliorer la sécurité, la santé et la productivité de leurs travailleurs, tout en réduisant les risques opérationnels et les coûts associés aux accidents et aux erreurs humaines.

---

### Bibliographies

- [01] International Labor Organization, (2016) ILO Standards on Occupational Safety and Health: Promoting a safe and healthy working environment.
- [02] Mbaye S., Kouabenan D. R, (2013) How perceptions of experience-based analysis influence explanations of work accidents, *Journal of Safety Research* 14, 75-83
- [03] Wulff, I.A., Westgaard, R., H. and Rasmussen, B. (1999a). Ergonomic criteria in large scale engineering design – I Management by documentation only? Formal organization vs. designers' perceptions. *Applied Ergonomics*, 30: 191- 205.
- [04] Hancock P. A, Hendrick Hal W. , Hornick R., and Paradis P.(2006), *Human Factors Issues in Firearms Design and Training*, journal Sage, 14,1.
- [05] Jean-Claude Sperandio (1996). *L'ergonomie face aux changements technologiques et organisationnels du travail humain*'' edition octares.
- [06] Decoster F. (1988) "Ergonomie et productique" - *Revue des conditions de travail* - n° 33 - Février 1988.
- [07] Falzon Pierre (2005). *Ergonomie, Conception et Développement ; Conférence Introductive*, 40eme congrès de SELF, saint Denis la Réunion 21-23 September 2005.
- [08] Cynthia, Mosse, Alhadeff., Rosana, Fernandes, da, Silva., Marcia, Sales, dos, Reis. (2012). New procedures of ergonomics design in a large oil company.. *Work - a Journal of Prevention Assessment & Rehabilitation*, DOI: 10.3233/WOR-2012-0235-745.
- [09] Rodrigo, Nunes, Ferreira., Cláudio, Benevenuto, de, Campos, Lima., Gilson, Brito, Alves, Lima., Luis, Perez, Zotes., Danilo, Garbazza, Vieira., José, Francisco, Tebaldi, de, Castro., Julio, Cesar, Wasserman. (2018). *Ergonomics Applied on Drilling Centers in the Brazilian Oil Industry*. doi: 10.20944 / PREPRINTS 201810.0377.V1.
- [10] Ali, Azadeh., Iraj, Mohammadfam., M, Sadjadi., Yadollah, Hamidi., Ali, Kianfar. (2008). An Integrated and Multivariate Model along with Designing Experiments Approach for Assessment of Micro- and Macro- Ergonomic Factors: The Case of a Gas Refinery. *Journal of research in health sciences*, doi: 10.34172/JRHS8265.
- [11] Mohammad Iqbal, Salma A. Iqbal, A.N. Mustafizur Rahman, and A.H.M. Samsuzzoha. (2011). *Ergonomics and Design*. Proceedings of the 2011 International Conference on Industrial Engineering and Operations
- [12] Marina, Gravit., Nail, Ikhiyanov., Anton, Radaev., Daria, Shabunina. (2022). Implementation of Elements of the Concept of Lean Construction in the Fire Protection of Steel Structures at Oil and Gas Facilities. *Buildings*, doi: 10.3390/buildings12112016.

## Bibliographie

---

- [13] Harold, Enrique, Cohen, Padilla., Martha, Sofia, Carrillo, Landazábal., Elias, Alberto, Bedoya, Marrugo. (2020). Analysis of the ergonomic impact associated with load handling in workers of drilling teams in the oil sector. doi: 10.22490/24629448.3923.
- [14] Skepper N., Straker L., Pollock C., (2000), A case study of the use of ergonomics information in a heavy engineering design process, *Journal of Advance and Innovative Research*, 6, 231–236.
- [15] Wulff, I.A., Westgaard, R.,H. and Rasmussen, B. (1999b). Ergonomic criteria in large scale engineering design – II Evaluating and applying requirements in real world of design. *Applied Ergonomics*, 30: 207-221.
- [16] Boff, K.R. (1987). The tower of babel revisited: on cross-disciplinary chokepoints in system design. In *System Design. Behavioral perspectives on Designers* (Eds.: W.B. Rouse and K.R. Boff). North-Holland, New York, pp. 83-96.
- [17] Pennings R., Ponamale M., Gerlinger G., (1996), A methodology for the construction of safety-oriented advisory systems for operators, *International Journal of Industrial Ergonomics*;17, 4, 367-374
- [18] Koirala R., Nepal A., (2022), Literature Review on Ergonomics, Ergonomics Practices, and Employee Performance, *Quest Journal of Management and Social Sciences* 4(2):273-288.
- [19] Makhbul, Z. M., & Muhamed, A. A. (2022). Ergonomics workstation environment toward organizational competitiveness. *International Journal of Public Health Science*, 11, 157–169.
- [20] Bernardes, J. M., Ruiz-Frutos, C., Moro, A. R. P., & Dias, A. (2021). A low-cost and efficient participatory ergonomic intervention to reduce the burden of work-related musculoskeletal disorders in an industrially developing country: an experience report. *International Journal of Occupational Safety and Ergonomics*,27(2), 452–459.
- [21] Ravindran, D. (2020). Ergonomic impact on employees' work performance. *International Journal of Advance and Innovative Research*, 6, 231–236.
- [22] Cecília De la Garza, Fadier E., (2006), Safety design: Towards a new philosophy, *Safety Science*, 44, 55–73.
- [23] Jae-Young Choi and Sang-Hoon Byeon , (2020), HAZOP Methodology Based on the Health, Safety, and Environment Engineering , *Int J Environ Res Public Health*. 17(9), 3236.
- [24] Guioche J.,(2016),Hazard analysis of human–robot interactions with HAZOP–UML, *J.Safety Science*, 84, 225-23.

## Bibliographie

---

- [25] Fadier, E. and De la Garza, C. (2006). Safety design: Towards a new philosophy. *Safety Science*, 44 : 55-73.
- [26] De la Garza, C., & Fadier, E. (2007). Le retour d'expérience en tant que cadre théorique pour l'analyse de l'activité et la conception sûre. *@ctivités*, 4 (1), pp. 188-197, <http://www.activites.org/v4n1/v4n1.pdf>.
- [27] Jeremy, Aynsley., Esther, Clevon. (2022). Introduction: the Bauhaus centennial and design history. *Journal of Design History*, doi: 10.1093/jdh/epac036
- [28] Yacine Benabid (2014). Contribution à l'amélioration du processus de conception des produits innovants : Développement d'outils d'aide au choix des processus. Génie des procédés. Ecole nationale supérieure d'arts et métiers - ENSAM, 2014.
- [29] Herbert A. Simon, (1969) "The Sciences of the Artificial» MIT Press 3rd ed
- [30] Maurel, C. (1992). Stratégie et méthodologie de conception. Presses de l'École Nationale des Ponts et Chaussées.
- [31] Suh, N. P. (2001). *Axiomatic Design: Advances and Applications*. Oxford University Press.
- [32] Brown et al., (1985) D. C. Brown, B. Chandrasekaran, Expert systems for a class of mechanical design activity., in J.S. Gero (ed.), *Knowledge Engineering in Computer-Aided Design*, North-Holland, Amsterdam, 1985.
- [33] Pärttö, Minna Pärttö, Pertti Saariluoma, (2012)., Explaining failures in innovative thought processes in engineering design, *Procedia - Social and Behavioral Sciences* 41 (2012) 442 – 449
- [34] Chen, Yong Chen, Ze-Lin Liu, You-Bai Xie,( 2012)., A knowledge-based framework for creative conceptual design of multi-disciplinary systems, *Computer-Aided Design* 44 (2012) 146–153
- [35] Taguchi G., Chowdhury S., Wu Y., (2005)., *Taguchi's Quality Engineering Handbook*, John Wiley&Sons, 2005, NJ
- [36] Waldemar Karwowski., (1997). *The Ergonomics of Workspaces and Machines: A Design Manual*, CRC Press.
- [37] The International Ergonomics Association (IEA, 2000)
- [38] FALZON P. (2004) - *Ergonomie*. Presses Universitaires de France. 680 p.
- [39] Bonnardel, P. (1947). *L'adaptation de l'homme à son métier*. Paris : Presses Universitaires de France.
- [40] Faverge, A., Leplat, P., & Guiguet, P. (1956). *L'adaptation de la machine à l'homme*. Paris : Presses Universitaires de France.

## Bibliographie

---

- [41] SELF Société d'ergonomie de langue française, (1969)
- [42] SELF Société d'ergonomie de langue française, (1970)
- [43] SELF Société d'ergonomie de langue française, (1988)
- [44] Leplat, J. (1989). Travail et ergonomie. Dans *Encyclopædia Universalis*. Paris : Encyclopædia Universalis France.
- [45] Stanton, N. A., Salmon, P. M., Walker, G. H., Baber, C., & Jenkins, D. P. (2005). *Human factors methods: A practical guide for engineering and design*. Ashgate Publishing, Ltd.
- [46] Karwowski, W. (Ed.). (2006). *International encyclopedia of ergonomics and human factors* (Vol. 1-3). CRC press.
- [47] Wilson, J. R., & Corlett, E. N. (2005). *Evaluation of human work: A practical ergonomics methodology*. CRC Press.
- [48] L'American Industrial Hygiene Association (AIHA) 2021
- [49] Wickens, C. D., Lee, J. D., Liu, Y., & Gordon-Becker, S. (2003). *Introduction to human factors engineering*. Prentice Hall.
- [50] Salvendy, G. (Ed.). (2012). *Handbook of human factors and ergonomics*. John Wiley & Sons.
- [51] Dul, J., & Neumann, W. P. (2009). Ergonomics contributions to company strategies. *Applied ergonomics*, 40(4), 745-752.
- [52] Wickens, C. D., Hollands, J. G., Banbury, S., & Parasuraman, R. (2013). *Engineering psychology and human performance*. Pearson.
- [53] Antônio, José, Ribeiro, Nunes. (2022). Ergonomics and occupational physiology: a multiprofessional approach to work. *Revista Ibero-Americana de Humanidades, Ciências e Educação*, doi: 10.51891/rease.v8i6.6058
- [54] In-Ju, Kim. (2014). The Current Trends in Ergonomics. *Journal of ergonomics*, doi: 10.4172/2165-7556.1000E122
- [55] Xavier, Rétauxa., Gaëtan, Bourmaud. (2022). The Contribution of Ergonomics to Accessibility. doi: 10.54941/ahfe1001325
- [56] Gordana, Colovic. (2014). Divisions of ergonomics. doi: 10.1016/B978-0-85709-822-1.50002-3
- [57] Yaniel, Torres., Yordán, Rodríguez. (2021). Surgimiento y evolución de la ergonomía como disciplina: reflexiones sobre la escuela de los factores humanos y la escuela de la ergonomía de la actividad. *Revista Facultad Nacional de Salud Pública*, doi: 10.17533/UDEA.RFNSP.E342868



## Bibliographie

---

- [58] MATIB, Miloud ; BOUHADIBA, Brahim ; LOUNIS, Zoubida. (2023) A case study on the implementation of a technological ergonomic design in oil and gas facilities. **Environmental Engineering and Management Journal**, [S.l.], v. 22, n. 12, p. 2093-2107, dec. 2023. ISSN 1843-3707.
- [59] Hendrick H. W., (2008), Applying ergonomics to systems: Some documented “lessons learned”, 39, 418-426.
- [60] Howard M.S., (1996), Integrating Ergonomics into the Petroleum Business, society of petroleum engineers, SPE 35794.
- [61] Burns, C. and Vicente, K.J. (2000). A participant-observer study of ergonomics in engineering design: how constraints drive design process. *Applied Ergonomics*, 31: 73-82.
- [62] Mekitiak, M. and Neumann W.P. (2008). Fitting Ergonomics to Engineering Work. Technical report submitted to the Centre for Research Expertise in Musculoskeletal Disorder Prevention (CRE-MSD), Ryerson University.
- [63] Broberg, O. (2007). Integrating Ergonomics Into Engineering: Empirical Evidence and Implications for the Ergonomists. *Human Factors and Ergonomics in Manufacturing*, 17: 353-366.
- [64] Hendrick, H.W. (2003). Determining the cost-benefits of ergonomics projects and factors that lead to their success. *Applied Ergonomics*, 34: 419-427.
- [65] Daniellou and Garrigou (1992). Human factors in design: sociotechnics or ergonomics? In *Design for Manufacturability. A Systems Approach to Concurrent Engineering and Ergonomics* (Eds.: M. Helander and M. Nagamachi). Taylor & Francis, London, pp. 55-63.
- [66] Campbell, J. L. (1996). The development of human factors design guidelines. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 18: 363-371.
- [67] Meister, D., and Farr, D. E. (1967). The utilization of Human Factors Information by Designers. *Human Factors*, 9: 71-87.
- [68] Haslegrave, C.M. and Holmes, K. (1994). Integrating ergonomics and engineering in the technical design process. *Applied Ergonomics*, 25: 211-220.
- [69] Pahl, G. and Beitz, W. (1996). *Engineering design. A systematic approach*. Springer-Verlag, London.
- [70] Garrigou, A., Daniellou, F., Carballeda, G. and Ruaud, S. (1995). Activity analysis in participatory design and analysis of participatory design activity. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 15: 311-327.
- [71] Cordiner, L. and Graves, R.J. (1997). Ergonomic intervention during a gas processing plant refurbishment. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 19: 457-470.

## Bibliographie

---

- [72] Cross, N. and Cross, A. C. (1995). Observations of team work and social processes in design. *Design Studies*, 16: 143-170.
- [73] Mekitiak, M. and Neumann W.P. (2008). Fitting Ergonomics to Engineering Work. Technical report submitted to the Centre for Research Expertise in Musculoskeletal Disorder Prevention (CRE-MSD), Ryerson University.
- [74] Kirwan, B. (2000). Soft systems, hard lessons. *Applied Ergonomics*, 31: 663-678.
- [75] Hessa, Sinai, Singadipoera., Kurniansyah, Kurniansyah., Lutfy, Eka, Biardian. (2022). Evaluation of ergonomic connectors in design for the purpose of providing a design evaluation of seating products. *Jurnal Sains dan Teknologi: Jurnal Keilmuan dan Aplikasi Teknologi Industri*, 22(2):212-212. doi: 10.36275/stsp.v22i2.496
- [76] I., G., Bawa, Susana., Ida, Bagus, Alit., I, Gusti, Agung, Ketut, Chatur, Adhi, Wirya, Aryadi. (2022). Application of ergonomics based on workers' anthropometric data in the design of work tools. 1(1):28-34. doi: 10.29303/empd.v1i1.712
- [77] Fei, Hong. (2022). Ergonomics Design Issues: Innovation and Ethics. 74(02):5-8. doi: 10.55184/ijpas.v74i02.48
- [78] Rosângela, Míriam, Lemos, Oliveira, Mendonçaab. (2022). Ergonomics' Valorization through the Systemic Design – Innovation for an Active Society. doi: 10.54941/ahfe1001319
- [79] Chizubem, Benson., Christos, Dimopoulos., Christos, Argyropoulos., Cleo, Varianou, Mikellidou., Georgios, Boustras. (2021). Assessing the common occupational health hazards and their health risks among oil and gas workers. *Safety Science*, doi: 10.1016/J.SSCI.2021.105284
- [80] In-Ju, Kim. (2016). Ergonomic Involvement for Occupational Safety and Health Improvements in the Oil and Gas Industry. *Journal of ergonomics*, doi: 10.4172/2165-7556.1000E154
- [81] Roxana, Z., Witter., Liliana, Tenney., Suzanne, Clark., Lee, S., Newman. (2014). Occupational exposures in the oil and gas extraction industry: State of the science and research recommendations. *American Journal of Industrial Medicine*, doi: 10.1002/AJIM.22316
- [82] Ashraf, A., Shikdar., Naseem, M., Sawaqed. (2004). Ergonomics, and occupational health and safety in the oil industry: a managers' response. *Computers & Industrial Engineering*, doi: 10.1016/J.CIE.2004.07.004
- [83] Jacques Leplat, (1993). *Analyse Du Travail En Psycho Ergonomique T.2.*, Editor : OCTARES

## Bibliographie

---

- [84] Juan, A., Castillo-M., Carlos, Alberto, Cifuentes, Pinzón., Jose, Luis, Gil, Gomez. (2021). Autonomy and Singularity - Work, Ubiquity and Operational Fluidity. doi: 10.1007/978-3-030-74602-5\_13
- [85] Vibha, Bhatia., Parveen, Kalra., Jagjit, Singh, Randhawa. (2021). Ergonomic Interventions for Manual Material Handling Tasks in a Warehouse. doi: 10.1007/978-981-15-9054-2\_23
- [86] M., Ramaganesh., R., Jayasuriyan., T., Rajpradeesh., S., Bathrinath., R., Manikandan. (2021). Ergonomics hazard analysis techniques- A technical review. Materials Today: Proceedings, doi: 10.1016 / J. MATPR. 2021. 02.329
- [87] David, Kostolani., Michael, Wollendorfer., Sebastian, Schlund. (2022). ErgoMaps: Towards Interpretable and Accessible Automated Ergonomic Analysis. doi: 10.1109/ICHMS56717.2022.9980741
- [88] Jirapongsuwan A, Klainin-Yobas P, Songkham W, Somboon S, Pumsopa N, Bhatarasakoon P (2023) The effectiveness of ergonomic intervention for preventing work-related musculoskeletal disorders in agricultural workers: A systematic review protocol. PLoS ONE 18(7): e0288131. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0288131> Editor: Garumma Tolu Feyissa, Drexel University, UNITED STATES
- [89] Soon-Kyo, Kwon., Gwanseob, Shin. (2022). A rapid ergonomic design intervention on a cordless stick vacuum cleaner handle to relieve discomfort. Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society ... Annual Meeting, doi: 10.1177/1071181322661533
- [90] Vitor, Rodrigues., Raoni, Rocha. (2022). Participatory ergonomics approaches to design and intervention in workspaces: a literature review. Theoretical Issues in Ergonomics Science, doi: 10.1080 / 1463922X.2022. 2095457
- [91] Mirjam, Escher. (2022). Participatory ergonomics approaches to design and intervention in workspaces: a literature review. Theoretical Issues in Ergonomics Science, doi: 10.1080/1463922x.2022.2095457
- [92] Lawrence, Domingo., Larry, Leifer., Jan, Auernhammer. (2023). Let me finish my thought: process interventions to change team behavior during remote design collaboration. Proceedings of the Design Society, doi: 10.1017/pds.2023.243
- [93] Duchamp R. (1999) - Méthodes de conception de produits nouveaux. HERMES Science Publications. Paris. 192 p.
- [94] Aoussat A. (1990) - La pertinence en innovation : nécessité d'une approche plurielle, Thèse Ecole Nationale Supérieure d'Arts et Métiers, Paris, 1990.

## Bibliographie

---

- [95] De Montmollin M. (1995) - Ergonomie. In M. de Montmollin (Ed.), Vocabulaire de l'ergonomie. Edit. Octares, Toulouse, 256p.
- [96] Monod H. et KAPITANIAK (2003) - Ergonomie. Editions Masson, Paris, 288 p.
- [97] Liliana Cristina Chitescu. (2006) -Simulation en ergonomie : facteur d'innovation dans la conception de produits : application à la conception de systèmes de travail.
- [98] Fadier E. (1998) - L'intégration des facteurs humains à la conception. Travaux actuels et perspectives de recherches. Phoebus - la revue de la sûreté de fonctionnement- numéro special-1998.
- [99] Falzon P. (1998) - Qu'est-ce que la recherche en Ergonomie ? In Actes des Journées "Recherche et Ergonomie" - Toulouse - février 1998, pp 216-221.
- [100] St-vincent M. et coll. (2000) - Démarche d'ergonomie participative pour réduire les risques de troubles musculo-squelettiques: bilan et réflexions. Revue PISTES, Vol.2, N°. 1, Mai 2000, 33p.
- [101] Haines, H., & Wilson, J. R. (1998). Development of a framework for participatory ergonomics. Contract Research Report 174, HSE Books, Sudbury.
- [102] Cahour, B., (2001). Décalages socio-cognitifs en réunions de conception industrielle, Actes du 10ème Atelier du Travail Humain. Modéliser les activités coopératives de conception (Modelling cooperative design activities), CNAM Paris, INRIA Roquencourt, France, pp. 55–72.
- [103] Reuzeau, F. (2001). Finding the best users to involve in design: a rational approach. Le Travail Humain, 64(3), 223-245.
- [104] De la Garza, C. (2004). D'une approche réactive à une approche proactive en ergonomie : apports à une conception sûre d'équipements industriels et de systèmes de travail. Habilitation à Diriger des Recherches, Université René Descartes - Paris 5, Paris.
- [105] Garrigou A. et coll. (2001) -Contributions et démarche de l'ergonomie dans le processus de conception. PISTES – Réflexion sur la pratique, vol. 3, N. 2, 19 p.
- [106] Roussel B. (1996) - ERGONOMIE EN CONCEPTION DE PRODUITS. Proposition d'une méthode centrée sur la formulation de principes de solutions ergonomiques dans le processus de conception de produits. Thèse de doctorat, Génie Mécanique - Génie Industriel, ENSAM, Paris, 244p.
- [107] Marsot J. (2002) - Conception et Ergonomie. Méthodes et Outils pour intégrer l'ergonomie dans le cycle de conception des outils à main. Note scientifique et technique n° 219. INRS, 69p.

- [108] Ekaterina, Kobak., A., M., Krasnova. (2023). Accidents in the oil and gas industry. Современныетехнологииинаучно-техническийпрогресс, doi: 10.36629/2686-9896-2023-1-239-240
- [109] In-Ju, Kim. (2016). Ergonomic Involvement for Occupational Safety and Health Improvements in the Oil and Gas Industry. Journal of ergonomics, doi: 10.4172/2165-7556.1000E154
- [110] Ashraf, A., Shikdar., Naseem, M., Sawaqed. (2004). Ergonomics, and occupational health and safety in the oil industry: a managers' response. Computers & Industrial Engineering, doi: 10.1016/J.CIE.2004.07.004
- [111] Walaa, Mahmoud, Shehata., Hamdy, Ahmed, Faroun. (2018). A Tool to Identify the Proactive Corrective Actions after the Accidents in Oil and Gas Industry.
- [112] Ron, Wardell. (1989). An Ergonomics Perspective on Safety in the Oilfield. doi: 10.1177/154193128903301521
- [113] Dul, J., & Weerdmeester, B. (1994). Ergonomics for Beginners: A Quick Reference Guide (9th ed.). London: Taylor & Francis Ltd.
- [114] Sanders, M. S., & McCormick, E. J. (1987). Human Factors in Engineering and Design. New York, NY: McGraw-Hill.
- [115] Reason, J. (1990). Human Error. Cambridge, UK: Cambridge University Press.
- [116] Rasmussen, J. (1986). Information Processes and Human–Machine Interaction: An Approach to Cognitive Engineering. Amsterdam, The Netherlands: Elsevier–North Holland.
- [117] Skepper, N., et al. (2000). A case study of the use of ergonomics information in a heavy engineering design process. International Journal of Industrial Ergonomics, 26(4), 425-435.
- [118] Haslegrave, C.M., Holmes, K., (1994). Integrating ergonomics and engineering in the technical design process. Applied Ergonomics 25 (4), 211 220.
- [119] Midler, C., & Sardas, J.-C. (1997). Pratiques et métiers de conception. Synthèse des travaux du groupe de travail CNRS, Programme SHS-SPI, Systèmes de production.
- [120] Rabardel, P. (1995). Les hommes et les technologies : approche cognitive des instruments contemporains. Paris : Éditions Armand Colin.
- [121] Vadcard, P. (1996). Aide à la programmation de l'utilisation des outils en conception de produit. Thèse de doctorat, École Nationale Supérieure d'Arts et Métiers (ENSAM), Paris.

## Bibliographie

---

- [122] Daniellou, F. (1992). Le statut de la pratique et des connaissances dans l'intervention ergonomique de conception. Document de synthèse présenté à l'Université de Toulouse-Le Mirail en vue d'obtenir l'Habilitation à Diriger des Recherches, juin 1992.
- [123] D., Brandt, The design of Human-Centred Manufacturing Systems. (1997), Preprint to be published in: C.T. Leondes (Ed).
- [124] Lebahar, J.-C. (1993). Aspects cognitifs du travail de designer industriel. *Design Recherche*, 3, 39-55.
- [125] De la Garza, C. (2005). L'intégration de la sécurité lors de la conception de machines à risques pour les opérateurs : comparaison de logiques différentes de conception. *PISTES*, 7(1). Disponible en ligne : <http://pettnt/pistes:v7n1/articles/v7n1a2.htm>.
- [126] Fadier, E., Neboit, M., & Ciccotelli, J. (2003). Intégration des conditions d'usage dans la conception des systèmes de travail pour la prévention des risques professionnels. Bilan de la thématique 1998-2002. Note Scientifique et Technique, NS 237, INRS.
- [127] Fadier, E. (2001). Safety of automated systems and the human factor: considerations and perspectives. 2<sup>e</sup> Conférence Internationale - Sécurité des Systèmes Industriels Automatisés, 13-15 septembre 2001, Bonn, Allemagne.
- [128] Darses, F., & Falzon, P. (1997). Méandres cognitifs du processus de conception. Actes du Colloque "Journées de Bordeaux pour la Pratique de l'Ergonomie", mars 1997, pp. 111-120.
- [129] Hatchuel, A. (1996). Coopération et conception collective : variété et crises des rapports de prescription. In G. de Terssac & E. Friedberg (Éds.), *Coopération et Conception* (pp. 102-121). Toulouse : Octarès.
- [130] Schank, R. C. (1983). The current state of AI: one man's opinion. *AI Magazine*, 4(1), 1-8..
- [131] Amalberti, R. (1992). Modèles d'activité en conduite de processus rapides : implications pour l'assistance à la conduite. Thèse de doctorat, Université de Paris VIII.
- [132] Heecheon, You. (2021). Special Issue "Novel Approaches and Applications in Ergonomic Design". *AppliedSciences*, doi: 10.3390/APP11209754
- [133] Aurélie, Robert., Sébastien, Roth., Dominique, Chamoret., Xiu-Tian, Yan., François, Peyraut., Samuel, Gomes. (2012). Functional design method for improving safety and ergonomics of mechanical products. *Journal of Biomedical Science and Engineering*, doi: 10.4236/JBISE.2012.58058
- [134] Marcelo, M., Soares., Francisco, Rebelo. (2016). Ergonomics in Design Methods & Techniques. doi: 10.1201/9781315367668

## Bibliographie

---

- [135] Tosi, F. (2020). Ergonomics and Design. In Proceedings of the International Conference on Ergonomics and Human Factors (pp. 1-15). Springer. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-33562-5\\_1](https://doi.org/10.1007/978-3-030-33562-5_1)
- [136] Alessia, Brischetto., Giuseppe, Lotti., Francesca, Tosi. (2018). Ergonomics in Design: The Human-Centred Design Approach for Developing Innovative Motor Caravans Systems. doi: 10.1007/978-3-319-96071-5\_109
- [137] Chang, Liu. (2021). Man-machine model: Pattern recognition and forecasts for complex structures supervised by multi-model ensembles. Structural Safety, doi: 10.1016/J.STRUSAFE.2020.102022
- [138] Tetsuya, Maeshiro. (2019). Human-machine model of decision makings for predictions. doi: 10.1109/CSDE48274.2019.9162363
- [139] Claudia, Keinrath., Michael, C., Dorneich., Jiri, Vasek. (2010). Designing for the future: a cognitive adaptive man-machine-interface.
- [140] Brian, F., Gore. (2011). Man-machine Integration Design and Analysis System (MIDAS) v5: Augmentations, Motivations, and Directions for Aeronautics Applications. doi: 10.1007/978-88-470-1821-1\_6
- [141] Ken, Funk. (2009). A Methodology and Tools for the Prospective Identification of Nextgen Human Factors Issues.
- [142] Adams, E., & Marcotte, A. (1992). A Manager's Guide to Ergonomics in the Chemical and Allied Industries. Préparé par le Joyce Institute pour la Chemical Manufacturers Association, Washington, DC.
- [143] Attwood, D. A., Deeb, J. M., & Danz-Reece, M. E. (2004). Ergonomic Solutions for the Process Industries. Burlington, MA, USA: Gulf Professional Publishing (Elsevier).
- [144] Meg, A, Doohan., Jessica, T, Watzek., Neil, A., King., Melanie, J., White., Ian, B., Stewart. (2023). Does increased core temperature alter cognitive performance during exercise-induced heatstrain? A narrative review.. Journal of Applied Physiology, doi: 10.1152/jappphysiol.00070.
- [145] Palinkas, L. A. (2001). Mental and Cognitive Performance in the Cold. International Journal of Circumpolar Health, 60(3), 430–439. doi:10.1080 / 22423982.2001. 12113048 10.1080 /22423982. 2001. 12113048
- [146] Makinen, T., Palinkas, L., Reeves, D., Paakkonen, T., Rintamaki, H., Leppaluoto, J., & Hassi, J. (2006). Effect of repeated exposures to cold on cognitive performance in humans. Physiology & Behavior, 87(1), 166–176. doi: 10.1016/j.physbeh.2005.09.015

## Bibliographie

---

- [147] John, W., Castellani, Mike, Tipton. (2015). Cold stress effects on exposure tolerance and exercise performance. *Comprehensive Physiology*, doi: 10.1002/CPHY.C140081
- [148] Soneta, Ivanovè., Marius, Brazaitis. (2022). Effects of Acute Noxious Heat Exposure on The Attention Required by Tasks of Three Levels of Difficulty in Young Healthy Men. *Baltic Journal of Sport and Health Sciences*, doi: 10.33607/bjshs. v127i4.1298
- [149] Andrew, Ireland., David, W., Johnston., Rachel, Knott. (2023). Heat and Worker Health. doi: 10.48550/arxiv.2301.11554
- [150] Vanitha, Sampath., Omar, Shalakhti., Erika, M, Veidis., Jo, Ann, Ifeoma, Efobi., Mohamed, H., Shamji., Ioana, Agache., Chrysanthi, Skevaki., Harald, Renz., Kari, C., Nadeau. (2023). Acute and Chronic Impacts of Heat Stress on Planetary Health..*Allergy*, doi: 10.1111/all.15702
- [151] A.K, Dube., Chantell, Gouws., Gerrit, Jan, Breukelman. (2022). Exercise-Heat Stress, Hyperthermia, Dehydration and Fatigue Effects on Cognitive Performance among Semi-Professional Male Athletes. *Physical Activity Review*, doi: 10.16926/par.2022.10.02
- [152] Sanjgna, Karthick., Sharareh, Kermanshachi., Apurva, Pamidimukkala. (2022). Impact Analysis of Heat on Physical and Mental Health of Construction Workforce. doi: 10.1061/9780784484340.027
- [153] Peter, Bröde., Bernhard, Kampmann. (2019). Accuracy of metabolic rate estimates from heart rate under heat stress—an empirical validation study concerning ISO 8996. *Industrial Health*, doi: 10.2486/INDHEALTH.2018-0204
- [154] Fangfang, Liu., Shan, Jiang., Jian, Kang., Yue, Wu., Da, Yang., Qi, Meng., Shaowei, Wang. (2022). On the definition of noise. *Humanities & social sciences communications*, doi: 10.1057/s41599-022-01431-x
- [155] Handrigan, G., Fougère, G., Billot, M., & Lavallière, M. (2019). Les effets de la vibration du tendon d’Achille, du long fibulaire et du tibial antérieur sur le contrôle de l’équilibre et l’électromyographie de la jambe inférieure chez l’adulte jeune avec et sans entorse de la cheville. *Neurophysiologie Clinique*, 49(6), 433. Doi :10.1016/ j. neucli.2019.10.073
- [156] M., V., Kuleshova. (2023). Impact of vibration on the workers' psychological health. *Meditina truda i promyshlennaia ekologiia*, doi: 10.31089/1026-9428-2023-63-1-47-52
- [157] A., G., Zhukova., N, V, Kizichenko., L., G., Gorokhova., A, S, Kazitskaya. (2022). Experimental models of vibration disease (literature review). *Gigiena, i Sanitariya*, doi: 10.47470/0016-9900-2022-101-7-776-782



## Bibliographie

---

- [158] Barrett, C, Lawson. (2022). Noise-Induced Hearing Loss and Hand Arms Vibration Syndrome. doi: 10.1007/978-981-16-1884-0\_14
- [159] Alexei, Il'ev., Yuri, Chertov., Artyom, Litvinov., Nataliya, Kobzeva. (2020). Vibration safety to reduce the risk of cardiovascular disease in workers. doi: 10.1051/E3SCONF/202016401025
- [160] Elena, Staseva., Marina, Kvitkina., Artyom, Litvinov., Nataliya, Kobzeva. (2020). The effect of noise on the human body, in particular, on cardiovascular diseases. doi: 10.1051/E3SCONF/202016401028
- [161] M, Lekhman., M, Shubitidze., A, Litvinov., I, Zanina., O, Pashkova., N, Kobzeva. (2021). A dynamic increase in the impact of noise on the human body, in particular, on cardiovascular diseases. doi: 10.1088/1757-899X/1029/1/012110
- [162] Kristine, Krajnak. (2018). Health effects associated with occupational exposure to hand-arm or whole-body vibration. *Journal of Toxicology and Environmental Health-part B-critical Reviews*, doi: 10.1080/10937404.2018.1557576
- [163] Cincinnati, (1999), *Stress au travail* (United States National Institute of Occupational Safety and Health,).
- [164] Siti, Umairah, Muhadi. (2023). Underlying Factors that Contributed to Job Stress in an Organisation. *International journal of academic research in business & social sciences*, doi: 10.6007/ijarbss/v13-i5/16906
- [165] Karasek, R.A. (1979) "Job Demands, Job Decision Latitude, and Mental Strain: Implications for Job Redesign." *Administrative Science Quarterly* 24, pp. 285–306.
- [166] Buunk, B. P., and Janssen, P. P. M. (1992) "Relative Deprivation, Career Issues, and Mental Health among Men in Mid-Life." *Journal of Vocational Behavior* 40, pp. 338–350.
- [167] Smith, M. J., and Carayon, P. (1995) "New Technology, Automation and Work Organization: Stress Problems and Improved Technology Implementation Strategies." *International Journal of Human Factors in Manufacturing* 5, pp. 99–116.
- [168] Yang, C. L., and Carayon, P. (1995) "Effects of Job Demands and Social Support on Worker Stress: A Study of VDT Users." *Behavior and Information Technology* 14(1), pp. 32–40.
- [169] Kiumars, Teymourian., Dammika, Seneviratne., Diego, Galar. (2017). Ergonomics Contribution in Maintainability. *Management Systems in Production Engineering*, doi: 10.1515/MSPE-2017-0031
- [170] ABS. (1998) *Guidance Notes on the Application of Ergonomics to Marine Systems*. NewYork: American Bureau of Shipping.)

## Bibliographie

---

- [171] Eastman Kodak. (1983) *Ergonomic Design for People at Work*. New York: Van Nostrand Reinhold.
- [172] Pheasant, S. (1994) *Bodyspace: Anthropometry, Ergonomics, and the Design of Work*. Second Ed. New York: Taylor and Francis.
- [173] ANSI/HFES. (1988) *American National Standard for Human Factors Engineering Design of Visual Display Terminal Workstations*. ANSI/HFS Standard 100-1988. Santa Monica, CA: Human Factors Society.
- [174] Attwood, D. A. (1985) "Applied Workstation Design." Distance Education in Ergonomics, Section 12. Post-diploma course in Occupational Safety and Occupational Hygiene. Community College Network of Ontario, Canada.
- [175] Sanders, M.S., McCormick, E.J., (1987). *Human Factors in Engineering and Design*, 6th Edition. McGraw Hill, New York.
- [176] Apostolakis, G. (1986). Expert judgments on probabilistic safety assessment. Accelerated Life Testing and Experts' Opinions. In *Reliability. Proceedings of the International School of Physics "Enrico Fermi"*. Amsterdam: North-Holland.
- [177] Rasmussen, J. (1990). Learning from experience? How? Some research issues in industrial risk management. In J. Leplat & G. de Terssac (Éds.), *Les facteurs humains de la fiabilité dans les systèmes complexes* (Chap. 15, pp. 359-383). Toulouse : Octarès Éditions. ISBN : 2-906-769-03-7
- [178] Bruneau, J.-M., & Pujos, J.-F. (1992). *Le management des connaissances de l'entreprise*. Paris : Les Éditions d'Organisation.
- [179] Didelot, A., Fadier, E., (2002). *Activité humaine et conception : utilisation des analyses par arbres logiques comme outils d'aide à la décision* (Human activity and design : using logic tree analyses as tools for supporting decisions). In: *Proceedings of the ESREL'2002*, Mars–Lyon, France, pp. 65–70.
- [180] Agnes, Ayu, Biomi., Komang, Angga, Prihastini., Ni, Putu, Diana, Swandewi. (2023). Ergonomic Environmental Relations with Occurrence of Work Accidents in Hisara Bali Garment Factory Garment Workers. *Public Health And Safety International Journal*, doi: 10.55642/phasij. v3i02.375
- [181] Petra, Vystrčil, Marková., Mária, Homokyová., Filip, Praj., Miloš, Čambál. (2022). Prevention of accidents at work and occupational diseases by implementation of ergonomics. *MM Science Journal*, doi: 10.17973/mmsj.2022\_03\_2022002

## Bibliographie

---

- [182] IA Asih., Indra Setiawan., Hernadewita Hernadewita., Hendra Hendra (2022). Effects of ergonomics intervention on work accidents in the construction sector and their effect on productivity. *Jurnal Sistem dan Manajemen Industri*, doi: 10.30656/jsmi.v6i1.4242
- [183] J.R., López-García., Susana, García-Herrero., José, María, Gutiérrez., M.A., Mariscal. (2019). Psychosocial and Ergonomic Conditions at Work: Influence on the Probability of a Workplace Accident. *BioMed Research International*, doi: 10.1155/2019/2519020
- [184] Luca, Arcari., Maria, Beatrice, Musumeci., Luca, Cacciotti. (2022). The Swiss cheese model in takotsubo syndrome. *European Heart Journal - Case Reports*, doi: 10.1093/ehjcr/ytac235
- [185] Thomas E. Burns. (2002). *Serious Incident Prevention*, second edition, Gulf Professional Publishing is an imprint of Elsevier Science. ISBN0-7506-7521-7, USA
- [186] Roy E. Sanders. (1999). *Chemical process safety: Learning from case history*. BUTTERWORTH HEINEMANN. ISBN 0-7506-7022-3, USA
- [187] Trevor, Kletz (2001). *An Engineer's View of Human Error"*. Third edition, iChemE, ISBN 0852954301, UK
- [188] Gempur, Santoso. (2022). Ergonomic environment preventing accidents from natural disasters. *International Journal of Social Science*, doi: 10.53625/ijss.v2i4.4250
- [189] A, Zuraini, Gani., Mahani, Mohd, Zamberi., Muhammad, Hafizzuddin, Md., Teni. (2018). A Review of Ergonomics towards Productivity. *International Journal of Supply Chain Management*,
- [190] Nalin, Sharma., Archana, Nema. (2018). Improving Productivity and Reducing Accidents using Ergonomic Approach. *International Journal for Science Technology and Engineering*,
- [191] I, Nyoman, Sucipta., I, Made, Nada., dan, Wayan, Citra, Wulan, Sucipta, Putri. (2017). Total Ergonomic Approach Minimize Work Accidents at Workshop Company. *Innovative Systems Design and Engineering*,
- [192] Gyula, Szabó., Martina, Dobó. (2020). CERA, An Integrated Tool for Ergonomic Risk Assessment. *DEStech Transactions on Social Science, Education and Human Science*, doi: 10.12783/DTSSEHS/ISE2018/33661
- [193] Diogo, da, Encarnação, Martins., Sara, M., Cerqueira., Ana, Pombeiro., Cristina, P., Santos. (2023). Towards a User-specific Ergonomics-based Approach for an Activity Assessment Tool. doi: 10.1109/ICARSC58346.2023.10129578

## Bibliographie

---

- [194] Amalberti, R. (2003). Automatisation, gestion de l'erreur humaine, et approche écologique. In G. Boy (Éd.), *Ingénierie cognitive. IHM et cognition* (pp. 81-98). Paris : Hermès Science Publications.
- [195] Amalberti, R. (1996). *La conduite des systèmes à risques*. Paris : Presses Universitaires de France (PUF).
- [196] Health and Safety Executive (HSE). (2003). Causal factors in construction accidents. Health and Safety Executive, Royaume-Uni. Disponible en ligne : <https://www.hse.gov.uk/Research/rrhtm/rr156.htm>.
- [197] Institut National de Recherche et de Sécurité (INRS). Prévention des troubles musculosquelettiques dans les postes de préparation de commandes. INRS, France. [www.inrs.fr](http://www.inrs.fr).
- [198] Chemical Safety Board (CSB).(2021) Safety Report on the Impact of Control Room Ergonomics in Industrial Accidents. U.S. Chemical Safety Board, États-Unis. [www.csb.gov](http://www.csb.gov).
- [199] Occupational Safety and Health Administration (OSHA). (2023). Workplace Safety Reports and Investigations on Manufacturing Facilities. U.S. Department of Labor, OSHA. Disponible en ligne : [www.osha.gov](http://www.osha.gov).
- [200] Mokdad M., (2002), Anthropometric study of Algerian farmers, *International Journal of Industrial Ergonomics*, 29, 331-341.