

**UNIVERSITE DE TUNIS**

**\*\*\***

**INSTITUT SUPERIEUR DES ETUDES  
ET DE FORMATION CONTINUE**

**GM-GE-203**

**NOTES DE COURS**

**ERGONOMIE  
INDUSTRIELLE**

**Dr.Ing.Polytechnique  
MAMI Abdelkrim  
Maître assistant**

**ANNEE UNIVERSITAIRE 2003/2004**

# ***SOMMAIRE***

## **CHAPITRE .I**

### **INTRODUCTION A L'ERGONOMIE**

- 1.1. Historique
- 1.2. Définition
- 1.3. Objectif de l'ergonomie
- 1.4. Approche ergonomique
- 1.5. Avantages de l'ergonomie
- 1.6. Programme d'ergonomie
- 1.7. Identification et analyse des risques dans un poste de travail
- 1.8. Démarche ergonomique

## **CHAPITRE .II**

### **DEMARCHE ERGONOMIQUE**

- 2.1. Introduction
- 2.2. Planification
- 2.3. Étapes de l'intervention ergonomique
- 2.4. Recherche de solutions

## **CHAPITRE .III**

### **ANTHROPOMETRIE**

- 3.1. Introduction
- 3.2. Applications de l'anthropométrie
- 3.3. Techniques et moyens de mesure
- 3.4. Variations de l'être humain
- 3.5. L'homme mythe ou moyen
- 3.6. Facteurs d'affection de l'anthropométrie
- 3.7. Mesures anthropométriques
- 3.8. Force musculaire
- 3.9. Facteurs de variation de force humaine dans une position de posture
- 3.10. Prises entre les doigts

## **CHAPITRE .IV**

### **CONCEPTION DES POSTES DE TRAVAIL ET LEURS ENVIRONNEMENTS**

- 4.1. Introduction
- 4.2. Choix de la posture de travail
- 4.3. Hauteur du plan de travail
- 4.4. Conception d'un poste pour un travail de précision assis
- 4.5. Travail debout et assis
- 4.6. Travail assis et conception des sièges

## **CHAPITRE .V**

### **LES LESIONS ATTRIBUABLES AU TRAVAIL REPETITIF ET MAUX DE DOS**

- 5.1. Définition
- 5.2. Maladies tendineuses
- 5.3. Maux de dos
- 5.4. Conséquences des gestes et des postures
- 5.5. Aspects pathomécaniques
- 5.6. Composants de la situation de travail susceptible de contribuer à l'incidence des maux de dos

## **CHAPITRE .VI**

### **PHYSIOLOGIE DU TRAVAIL**

- 6.1. Introduction
- 6.2. Physiologie de travail
- 6.3. Dépense énergétique
- 6.4. Charge cardiaque
- 6.5. Psychophysique

## **CHAPITRE .VII**

### **ETUDE BIOMECHANIQUE**

- 7.1. Étude des modèles statiques
- 7.2. NIOSH Lifting Guide (1981 & 1991)
- 7.3. Synthèse

## **BIBLIOGRAPHIE**

## **TRAVAUX PRATIQUES**

## **CHAP.I.**

<b><i>INTRODUCTION A L'ERGONOMIE</i></b>	<b><i>Page</i></b>
1.1. Historique	.....3
1.1.1. Evolution du travail et de l'ergonomie	.....3
1.1.2. Développement et l'évolution de l'ergonomie	.....4
1.2. Définition	.....5
1.3. Objectif de l'ergonomie	.....5
1.4. Approche ergonomique	.....6
1.5. Avantages de l'ergonomie	.....7
1.6. Programme de l'ergonomie	.....7
1.7. Identification et analyse des risques dans un poste de travail	.....9
1.8. Démarche ergonomique	.....10

## **CHAPITRE.I**

### **INTRODUCTION A L'ERGONOMIE**

L'ergonomie est un mot composé, dérive du grec « ergon » signifie travail et « nomos » signifie loi. Cette ergonomie ( loi de travail ) est pluridisciplinaires, sera abordée en détail dans les chapitres qui viennent avec toutes ses applications concrètes liées au poste de travail et son environnement.

## 1.1. Historique

L'ergonomie a eu naissance à la suite de l'apparition des outils de travail, etc.... Au paravent, les hommes n'ont jamais accordé une attention spéciale aux formes, aux dimensions des outils réalisés ni à la manière d'utilisation ( force nécessaire, posture etc... ).Tandis que la notion de prévention a existée toujours.

**Pline L'Ancien** fut le premier à signaler que les polisseurs de minium pouvaient se protéger contre les dangers de ce matériau en portant des masques de vessie transparente [1]. **Henri IV** en 1604 prescrit en effet « de prélever dans chaque mine une portion destinée à rémunérer un chirurgien et acheter des médicaments, afin que les pauvres blessés soient secourus gratuitement et, par cet exemple de charité, les autres plus encouragés de travailler dans les mines » [2]. Au delà de cette période, les ingénieurs et les médecins ont commencé à s'intéresser à la protection de la santé de l'homme, à l'amélioration de son rendement au travail. **Vaubin**(XVII siècle) et **Belidor** (XVIII siècle) sont les premiers qui ont tenté à mesurer la charge de travail physique journalier dans les lieux de travail. **Léonard de Vinci** (XV siècle) qui étudia les mouvements de différentes parties de corps humain. **Ramazzini** (XVII siècle) , considéré comme le véritable créateur de la médecine du travail qui décrivit les premières maladies professionnelles **Lavoisier** (XVIII siècle) qui découvrit les premiers éléments de la physiologie respiratoire. **Coulomb** (XVIII siècle) qui introduisit la notion de durée de l'effort .**Villermé** qui a mené une grande enquête sur les conditions de travail des ouvriers français a publié en 1840 un tableau de l'état physique et moral des ouvriers employés dans les manufactures de coton, de laine et de soie. Le rapport de ce dernier fut la première impulsion qui a conduit à l'adaptation de la première loi sociale et protectrice en mars 1841, à laquelle a été fixée l'âge de l'embauche pour les enfants et la durée de travail journalier.

Suite à la révolution industrielle accélérée, au changement du rythme de travail, à l'agression sévère de l'environnement qui ont eu une répercussion négative sur le comportement des travailleurs ( absentéisme, fatigue, etc.... ). L'ensemble de ces pressions ont poussé les chercheurs de trouver des solutions et des moyens de travail adéquats.

### 1.1.1. Evolution du travail et de L'ergonomie

L'évolution du travail et par conséquent des conditions de travail a été rapide pendant les dernières décennies. Trois types d'évolution ont marqué cette période:

- L'évolution technique qui est caractérisée par une plus grande puissance de machines (souvent génératrice de bruit), une miniaturisation de certains produits (travail sous binoculaire dans l'électronique), une informatisation de plus en plus répandue dans les entreprises, une automatisation moins rapide que prévue, mais néanmoins très présente notamment dans les industries de procès continu, puis plus récemment dans d'autres secteurs d'activité.

- L'évolution de l'organisation et des entreprises qui se caractérise par la diminution des effectifs de production et l'augmentation des activités de service, l'accentuation de la sous-traitance, des emplois précaires, l'augmentation de l'investissement par salarié (conduite de machines et de processus très coûteux fonctionnant parfois 24h /24), l'importance de la qualité

(ex : fabrication en salles blanches) conduisant à réduire les délais, la diversification des produits et la diminution des stocks intermédiaires.

- L'évolution du personnel, celle-ci est marquée par un allongement de la scolarité et de la formation conduisant à des attentes différentes du personnel par rapport à son travail, par une féminisation des emplois, par une inadéquation des modes de management traditionnel. En revanche, ces changements entraînent peu de conflits sociaux de l'emploi.

### **1.1.2 . Développement et l'évolution de l'ergonomie**

L'ergonomie est à la fois une préoccupation très ancienne et très récente. Dès que l'homme a créé des outils, il a cherché à les façonner pour qu'ils soient bien adaptés et de manière plus générale à ses caractéristiques. De nos jours, cette préoccupation est toujours présente : de ce point de vue, l'ergonomie c'est du « bon sens ». Ce n'est qu'au XX<sup>ème</sup> siècle que l'ergonomie a trouvé une identité en utilisant les nombreuses connaissances en physiologie et en psychologie établies par des chercheurs physiiciens, physiologistes et psychologues et en les appliquant ensuite au monde du travail. Les applications les plus connues sont celles de l'adaptation de la machine à l'homme (humain engineering) rendue nécessaire par la complexité croissante des systèmes techniques (ex : ergonomie des tableaux de bord dans l'aviation pendant la dernière guerre mondiale). La société d'ergonomie française a été créée en 1963 pour promouvoir l'ergonomie.

Les évolutions plus récentes se situent dans trois domaines : les études et recherches, la conception des machines, produits et lieux de travail, l'intervention dans les entreprises.

**En matière d'études et recherches**, l'ergonomie dispose actuellement d'un corps de connaissances important en physiologie du travail (ex : effet de nuisances sur l'homme, évaluation de la charge physique), en anthropométrie et en biomécanique.

**Les thèmes de recherche** actuels sont centrés d'avantage sur les problèmes de posture, les troubles musculo-squelettiques, l'effet des multi-nuisances. En psychologie du travail, les connaissances sur le fonctionnement de base de l'homme (ex : mémoire vigilance- attitudes) sont bien établies. Les préoccupations actuelles sont liées à l'évolution du travail (ex : étude du stress, de l'activité mentale, des stratégies mises en jeu par les opérateurs).

La différence essentielle par rapport aux études anciennes réside dans le développement des études sur le terrain pour tenir compte des multiples contraintes auxquelles l'opérateur doit faire face. Cependant, les études en laboratoire (ou en simulant les situations réelles) restent essentielles compte tenu de la difficulté d'obtenir des résultats scientifiques dans le contexte du travail (impossibilité de contrôler de nombreuses variables en intersection ).

Dans le **domaine de la conception** des machines, des produits et des installations, l'application des connaissances stabilisées (normes- valeurs de référence-règles) a d'abord concerné le couple homme-machine: conception des pupitres de signalisation et de commande, des postes de conduite d'engins, dimensionnement des postes de travail. Actuellement, les applications concernent de plus en plus des systèmes complexes (conduite de

proces - systèmes informatisés et automatisés). La formation des ingénieurs et techniciens est ici centrale pour qu'ils puissent utiliser ces connaissances et méthodes en ergonomie le plus tôt possible dans la conception des postes de travail et des systèmes de production.

**L'intervention des spécialistes** en ergonomie dans les entreprises est très récente. Cette évolution s'explique par l'écart entre les entreprises compte tenu de l'évolution du travail (inadaptations -dysfonctionnements- contraintes nouvelles) et les réponses fournies par les spécialistes du travail « classiques »:organiseurs, médecins du travail, psychologues du travail, lorsque ceux-ci se cantonnent dans une approche traditionnelle des problèmes de l'entreprise.

## **1.2. Définition**

L'ergonomie est une science qui contribue à la mise en oeuvre de 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 des individus avec le maximum de confort, de sécurité . L'ergonomie est une approche multidisciplinaire qui peut être mise en oeuvre par les personnes qui possèdent des connaissances sur la situation de travail sur l'homme et sur l'activité industrielle.

L'ergonomie est une adaptation entre l'homme et la machine assurée à travers les applications de certaines connaissances scientifiques indispensables pour la conception et la réalisation des produits manufacturés qui puissent être utilisés avec le maximum de confort, de sécurité et d'efficacité. Elle contribue aussi à la prévention des risques par une meilleure adaptation du milieu de travail aux opérateurs.

L'ergonomie actuelle vise directement la commande de l'homme pour les conditions du poste de travail en prenant en considération une série de mesures d'ordre physiologique, psychologique et sociologique.

## **1.3. Objectif de l'ergonomie**

L'existence des entreprises a pour but de produire dont l'homme et la machine sont les garants de la qualité du produit obtenu . Dans ce cas là, pour mieux produire, il faut adapter les machines et les tâches aux besoins de l'utilisateur dans un environnement adéquat.

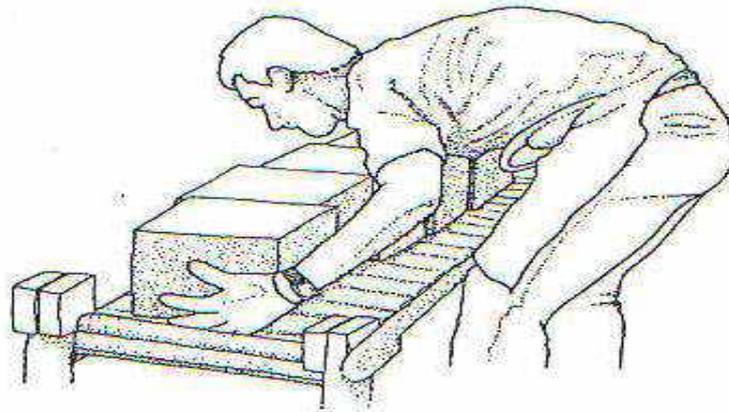
Pour aboutir à un stade d'efficacité dans le travail à effectuer, il faut que la machine réponde toujours aux différentes tâches de l'être humain sans aucun recours à l'utilisation d'un effort pénible ou d'une attention spéciale qui peuvent entraîner dans certains cas des malaises qui perturbent son activité quotidienne.

Dans le même contexte, l'efficacité d'une meilleure adaptation de la machine à l'homme sera traduit d'une part par l'augmentation de la production mais d'autre part sans l'affectation de son comportement limite du point de vue physique et psychique.

### **Exemples :**

Quand le dos est courbé et que la colonne vertébrale s'arrondit au niveau des vertèbres lombaires, les charges imposées aux disques sont non seulement importantes mais aussi

asymétriques, c'est à dire beaucoup plus importantes sur l'arrière, fig ( 1.1 ). Les charges résultantes supportées par l'anneau fibreux sont très nuisibles et constituent un élément important dans les causes de détérioration du disque. D'autre part, il est évident que le fluide visqueux contenu dans le disque va s'amasser sur le coté exposé à une pression moins forte, avec à ce moment-là le danger d'un écoulement vers la moelle épinière. Ceci est un argument de plus pour démontrer qu'il faut garder le dos aussi droit que possible en soulevant une charge.



**Fig 1.1**  
**Prise des boîtes s'accompagne**  
**d'une flexion marquée du**  
**dos, car le convoyeur**  
**est trop bas.**

#### **1.4. Approche ergonomique**

L'ergonomie est une discipline nouvelle, elle regroupe des gens de plusieurs domaines. Chacun fait ses recherches suivant sa façon et selon ses compétences.

Dans une entreprise, le travail est décomposé en tâches, équipement, organisation du travail et environnement, ce qui permet à l'ergonomie de s'appuyer sur plusieurs disciplines telles que la biologie, la médecine, la biomécanique etc.....

Face à cette situation, pour résoudre un problème d'ergonomie, l'entreprise fait appel à un grand nombre de connaisseurs dans des différentes disciplines dans le but de contribuer d'une manière efficace .

En général, dans la vie quotidienne, les applications ergonomiques sont concernées par l'ergonomie de conception ou l'ergonomie de correction.

##### **a) Ergonomie de conception**

Elle est utilisée pour la conception des outils, des machines, des dispositifs, des postes de travail etc... Les applications touchent des autres applications telles que l'aménagement des postes de travail dans une entreprise où les concepteurs doivent prendre en considérations éventuellement tous les aspects liés aux caractéristiques de l'être humain.

Une bonne conception et planification conduit à une démarche ergonomique préventive efficace avec un minimum de dépense.

### **b) Ergonomie de correction**

Ce genre d'ergonomie s'applique lorsqu'il s'agit d'une modification des lieux ou des conditions de travail à la suite de la présence de certains problèmes due à une mauvaise conception. Cette démarche est la plus courante utilisée, elle n'est pas tellement efficace mais elle est coûteuse.

Les principaux actes cités ci-après font toujours appel à une approche ergonomique

- Présence fréquemment des accidents de même genre
- Coûts élevés pour certains types d'accidents;
- Plaintes fréquentes des employés;
- Fatigue pour mener certains travaux, ( plusieurs repos )
- Erreurs fréquentes;
- Obtention d'un produit de qualité inadéquate, rebus, et gaspillage;
- Absentéisme
- Roulement élevé du personnel;
- Rendement faible.

## **1.5. Avantages de l'ergonomie**

Aujourd'hui, dans la plupart des cas, les entreprises optent pour une intervention ergonomique lorsqu'elles sont confrontées avec un problème important qui touche la santé et la sécurité du travail. Le recours à cette démarche ergonomique est avantageux dans la mesure où elle contribue à la réduction des maladies professionnelles et leurs conséquences.

L'intervention ergonomique, même dans des situations critiques, a eu toujours un apport positif dans l'amélioration de l'état des malades. Cette situation a eu une répercussion remarquable sur le fonctionnement de l'entreprise à travers les suivants bénéfiques:

- Amélioration de la productivité et de l'efficacité du travail,
- Motivation des employés;
- Réduction de l'absentéisme;
- Amélioration de l'ambiance de travail;
- Utilisation optimale du personnel;
- Amélioration de la qualité du produit ou du service;
- Diminution des erreurs commises par le manque de performance des employés;
- Economies sur plusieurs plans ( qualité, formation et sécurité ).

## **1.6. Programme d'ergonomie**

La condition nécessaire et suffisante pour qu'une entreprise choisit l'ergonomie comme solution pour ses problèmes bien connus, il faut qu'elle suit la démarche dont les étapes sont:

- Identifier l'ensemble de problèmes et les classer dans un ordre de priorité;
- A travers l'un des problèmes choisi pour l'étude, il faut identifier et mettre en valeur les facteurs de risque;
- Concevoir et appliquer les supports de la solution
- Contrôler et évaluer la fiabilité de la solution.

Dans les deux premières étapes, il faut établir et appliquer un programme d'identification des problèmes soulevés et d'évaluer l'importance des facteurs de risque de tous les points de vue.

Une fois l'entreprise a mis sa main sur le résultat de ce diagnostique, elle doit agir d'une manière qu'elle intervient pour remédier les problèmes prioritaires et par la suite elle s'apprête pour concevoir et implanter les nouvelles solutions.

L'étape finale c'est la supervision qui doit être assurée pour valider l'efficacité de la solution adaptée.

L'application des solutions ergonomiques se présente sous forme de deux aspects différents:

### **1) Solutions administratives**

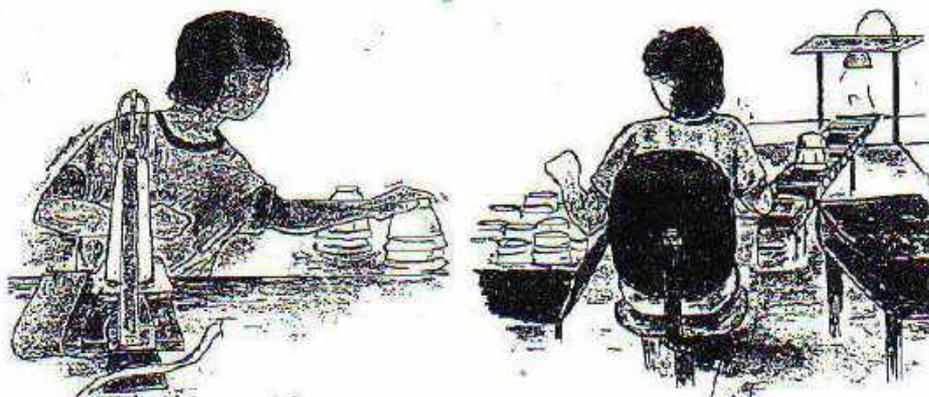
En fonction de certains symptômes, les solutions administratives les plus adaptées visent généralement :

- intervention médicale;
- recyclage des employés;
- changement des postes de travail;
- jumelage d'un employé avec un poste qui lui convient.

### **2) Solutions techniques**

Les solutions techniques adaptées sont nombreuses, elles sont cohérentes aux problèmes spécifiques envisagés dans chacun des entreprises.

Les corrections peuvent porter sur des postures de travail, les méthodes de manipulation, la conception des postes de travail, les outils, les équipements et les machines, fig (1.2) et fig (1.3 )



a)

b)

Fig 1.2

**Poste d'assemblage des réflecteurs et des déflecteurs**

- a) mettre en place plusieurs composantes, puis installer le déflecteur à la main en exerçant une pression;
- b) suite à un meilleur aménagement du même poste de travail, les projecteurs et les déflecteurs sont acheminés vers un cylindre pneumatique et leur assemblage se fait mécaniquement.

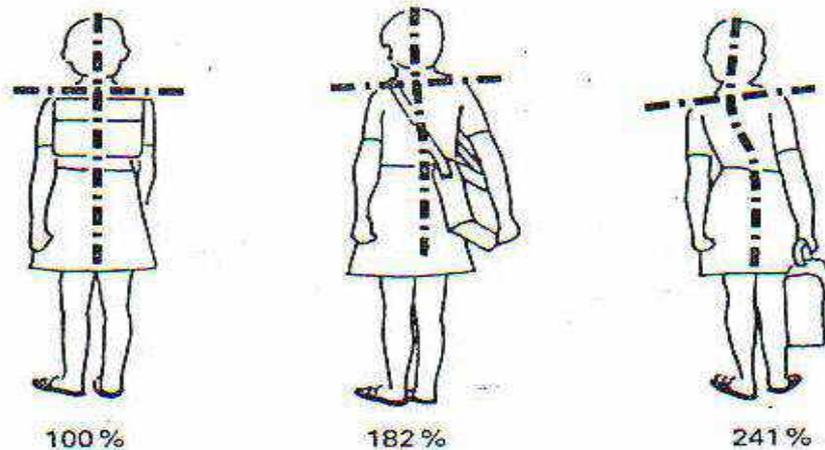


Fig 1.3

Conséquences de l'effort statique sur la consommation d'énergie dans le cas d'un enfant portant son cartable de trois façon différentes.

### 1.7. Identification et analyse des risques dans un poste de travail.

N'importe quelle entreprise est confrontée à plusieurs formes de problèmes de différentes tailles tels que les maux de dos, neuro- musculotendineux et articulaire, musculosquelettiques etc... .

L'ensemble de problèmes de la santé soulevé par le personnel dans une entreprise est dû en général à des anomalies de premier ordre liées directement aux postes de travail. Dans ce cas là, l'ergonomie doit intervenir d'une façon urgente pour dévoiler les causes à travers l'identification et l'analyse avec précisions des problèmes soulevés.

Pour identifier ces problèmes, on suit les étapes suivantes:

A la suite d'un recensement et d'une analyse de l'ensemble des données provenant d'une entreprise bien déterminée, on essayera d'établir un bilan suivant chaque catégorie des données spécifiques ( maux , accidents survenus, absentéisme etc...), d'une façon qu'à la fin, on peut façonner un modèle reflétant chaque situation à part de l'ensemble des individus.

Il est aussi recommandé de sélectionner les données en fonction des postes de travail, d'une façon qu'on peut mener une étude comparative dans l'ensemble des entreprises du pays.

En plus, il faut toujours prendre des mesures préventives au fur et à mesure que les opérateurs font leurs services, c'est à dire qu'il faut d'une part être bien informé sur n'importe quelle malaise survenue et réclamée par l'opérateur et de faire une analyse afin de localiser la source de celle-ci, mais d'autre part, il faut voir quel est la nature du problème (d'environnement, de posture, etc...) .

Les solutions qui seront adaptées dans le cadre de cette entreprise dépendent de plusieurs facteurs, tels que les dépenses et les ressources financières disponibles, etc... .

## **1.8. Démarche ergonomique**

La démarche ergonomique, repose sur les trois éléments principaux suivants:

- l'analyse ergonomique du travail;
- l'utilisation des connaissances en ergonomie;
- la participation du personnel

### **a) L'analyse ergonomique du travail**

Elle ne se réduit pas à l'analyse du travail prescrit dont les objectifs et les méthodes (gammes opératoires, procédures et consignes) sont définies par des instructions. A partir de celle-ci les opérateurs organisent leur activité en fonction des multiples facteurs, des urgences, de leur charge de travail. C'est ce travail qui constitue l'objet principal de l'analyse ergonomique.

L'ergonomie dispose pour cette analyse des outils suivants:

- l'observation des situations de travail à l'aide de grilles d'analyse, de relevés systématiques d'activités (par exemple des déplacements, des prises d'information , des postures) d'analyse d'incidents et de dysfonctionnement qui peuvent être à l'origine d'accidents,
- le mesurage de certains facteurs de conditions de travail à l'aide d'appareils de mesure des ambiances physiques (ex : sonomètre - luxmètre), de la charge physique (ex : dynamomètre - appareils de mesure de la fréquence cardiaque),
- les entretiens avec les opérateurs concernés pour expliciter les raisonnements, comprendre les comportements et connaître la façon dont les situations de travail sont vécues par les intéressés eux- mêmes.

### **b) Les connaissances en ergonomie**

Il s'agit à la fois des données de base sur le fonctionnement de l'homme (psychologie et physiologie du travail). Ces données concernent l'ergonomie des activités motrices (ex : activité musculaire), des activités à dominance perceptive (ex : perception des signaux) et mentale (ex: prise de décision - diagnostic - raisonnement); elles concernent aussi la réaction de l'organisme aux ambiances physiques (ex : bruit, température). Dans certains cas, des normes ont été établies: elles permettent notamment de comparer les résultats de l'analyse du travail à des valeurs de référence et d'orienter vers les actions prioritaires .

**c) La participation du personnel**

Elle se situe à plusieurs niveaux. Au niveau des instances représentatives du personnel seront associés aux études et applications ergonomiques. Ainsi le comité d'hygiène de sécurité et des conditions de travail doit être consulté pour tout projet d'extension ou de réaménagement d'une usine existante. Au niveau des opérateurs directement concernés (production - service fonctionnel), la participation la plus efficace s'établira par la consultation de groupes de travail qui accompagneront le projet aux différentes étapes de son évolution. Cette mise en place permet de valider les résultats obtenus et de vérifier la conformité du projet par rapport aux objectifs et cahiers des charges.

## **CHAP.II.**

<i>DEMARCHE ERGONOMIQUE</i>	<i>PAGE</i>
2.1. Introduction	.....2
2.2. Planification	.....3
2.2.1. Calcul d'indicateurs	.....3
2.2.2. Identification des postes problématiques	.....8
2.2.3. Sélection des tâches cibles	.....9
2.2.4. Evaluation psychophysique sommaire	.....10
2.2.5. Description des tâches	.....12
2.3. Etapes de l'intervention ergonomique	.....12
2.3.1. Analyse de la demande et définition de la problématique.....	12
2.3.2. La cueillette des données	.....13
2.4. Recherche de solutions	.....16
2.4.1. Critère de choix	.....16
2.4.2. Mise en place des solutions	.....18
2.4.3. Validation de l'intervention	.....18

## **CHAPITRE.II**

# **DEMARCHE ERGONOMIQUE**

### **2.1 Introduction**

Le but ultime de l'analyse ergonomique est de recueillir de l'information qui permettra d'adapter le travail en fonction des capacités humaines des travailleurs en vue d'atteindre les objectifs de santé et de sécurité du travail, de bien – être et de rendement.

Un des objectifs de l'analyse ergonomique est de faire un portrait simple et juste de la situation de travail en décrivant de façon spécifique le poste de travail, l'environnement et l'organisation du travail et d'identifier les conditions potentiellement dangereuses. Dans un deuxième temps l'intervention ergonomique consiste à faire des suggestions pour améliorer le poste de travail. La plupart du temps, une telle analyse est présentée aux gestionnaires (décideur) de l'entreprise qui ont autorité de faire les changements. Il est important que ces personnes soient tenues au courant de tous les impacts qu'auront ces changements.

Dans ce module nous verrons comment entreprendre une démarche ergonomique en vue d'améliorer un poste de travail. La démarche ergonomique peut être divisée en trois étapes tel qu'illustré au tableau 2.1. Chacune de ces étapes sera également subdivisée en plusieurs points.

TABLEAU 2.1

<b>La démarche ergonomique</b>		
La planification d'une intervention ergonomique	Etapes de l'intervention ergonomique	Recherche de solution

## 2.2 Planification d'une intervention

### Introduction

Une intervention préventive pour réduire les accidents de travail est toujours idéale. Souvent, l'intervention ergonomique porte une attention particulière à des conditions de travail évidentes. Les gens ont comme réaction d'intervenir sur des conditions connues. Par exemple, il y a plusieurs tâches qui sont reconnues comme étant extrêmement exigeantes. Cette impression subjective pourrait facilement s'objectiver en prenant soin de vérifier les rapports d'accidents. Il est important d'avoir un objet rationnel avant de débiter une intervention ergonomique. Pour pouvoir intervenir efficacement, il faut planifier l'intervention. Le tableau 2.2 résume les différentes étapes pour planifier efficacement une intervention.

Tableau 2.2

<b>Planification d'une intervention</b>				
Calcul d'indicateurs	Identification des postes problématiques	Sélection des tâches cibles	Evaluation psychophysique sommaire	Description des tâches

Des critères d'évaluation ont avantage à être exprimés de façon numérique. Souvent les gestionnaires comprennent et acceptent mieux les argumentations basées sur les chiffres. De plus, en utilisant une approche numérique avec des critères quantifiables, nous pouvons comparer une section de l'usine à une autre ou même vérifier l'effet d'une intervention.

### 2.2.1. Calcul d'indicateurs

#### *Indicateur de fréquence*

Le taux de fréquence d'accidents est un indicateur fiable pour planifier une intervention ergonomique. Le taux de fréquence est le rapport entre le nombre d'accident par 100 employés qui travaillent 40 heures pendant 50 semaines. En d'autres mots, c'est une projection annuelle du nombre d'accidents si nous avons 100 employés qui travaillent 40 heures par semaine. Une incidence de 2,0 signifie que 2 travailleurs sur 100 sont blessés chaque année. Cela peut signifier

également que 1 travailleur sur 50 est blessé ou même que 20 travailleurs sur 1000 sont blessés, ces rapports sont équivalents.

Pour être en mesure de calculer l'incidence des blessures pour un poste de travail donné nous avons besoin de connaître :

- a) le nombre moyen de travailleurs sur poste
- b) le nombre moyen d'heures travaillées par semaine
- c) le nombre moyen de semaines travaillées par année
- d) le nombre d'accidents (événements) pour l'année

**Etape #1** On calcule le nombre d'heures travaillées par année en multipliant les chiffres obtenus en a,b et c (ci-dessus).

**Etape #2** On multiplie le nombre d'accidents (d) par 200000  
( 100 travailleurs x 40 hrs/sem x 50 semaines = 200000)

**Etape #3** On divise le chiffre obtenu à l'étape #2 par celui obtenu à l'étape #1

$$\text{Taux d'incidence} = \frac{\text{Nombre de lésions indemnisées}}{\text{Nombre total de travailleurs équivalent temps plein}} \times 200000$$

Pour simplifier l'opération, nous pouvons utiliser des tables qui donnent la valeur correspondante à ce calcul. Prenons par exemple une compagnie où les employés travaillent en moyenne de 48 à 52 semaines par année et ce , à 40 heures par semaine. Pour calculer l'incidence, nous devons localiser dans la colonne de gauche le nombre de travailleurs qui correspond à votre situation et utiliser la colonne qui représente le nombre de semaines travaillées. De ce chiffre, vous multipliez le nombre d'accidents par année. Par exemple vous avez 60 employés qui travaillent en moyenne 50 semaines par année. L'an passé, sur ce poste de travail il y a eu 10 accidents de travail. Par conséquent, le taux d'incidence sera  $1,67 \times 10 = 16,7$ .

En connaissant le nombre de travailleurs et le nombre de semaines travaillées nous pouvons nous servir du Tableau 2.3 pour obtenir l'incidence des blessures.

**Remarque :**

**Il est important d'utiliser ces tables à bon escient puisqu'elles sont une approximation de la réalité. Elles sont valables pour des semaines de 40 heures seulement.**

Tableau 2.3

## Taux d'incidence en fonction des semaines travaillées

Nombre de travailleurs	52 semaines par année	51 semaines par année	50 semaines par année	49 semaines par année	48 semaines par année
10	9.62	9.80	10.00	10.20	10.42
20	4.81	4.90	5.00	5.10	5.21
30	3.21	3.27	3.33	3.40	3.47
40	2.41	2.45	2.50	2.55	2.61
50	1.92	1.96	2.00	2.04	2.08
60	1.60	1.63	1.67	1.70	1.74
70	1.37	1.40	1.43	1.46	1.49
80	1.20	1.23	1.25	1.28	1.30
90	1.07	1.09	1.11	1.13	1.16
100	0.96	0.98	1.00	1.02	1.04
110	0.87	0.89	0.91	0.93	0.95
120	0.80	0.82	0.83	0.85	0.87
130	0.74	0.75	0.77	0.78	0.80
140	0.69	0.70	0.71	0.73	0.74
150	0.64	0.65	0.67	0.68	0.69
160	0.60	0.61	0.63	0.64	0.65
170	0.57	0.58	0.59	0.60	0.61
180	0.53	0.54	0.56	0.57	0.58
190	0.51	0.52	0.53	0.54	0.55
200	0.48	0.49	0.50	0.51	0.52
210	0.46	0.47	0.48	0.49	0.50
220	0.44	0.45	0.45	0.46	0.47
230	0.42	0.43	0.43	0.44	0.45
240	0.40	0.41	0.42	0.43	0.43
250	0.38	0.39	0.40	0.41	0.42
260	0.37	0.38	0.38	0.39	0.40
270	0.36	0.36	0.37	0.38	0.39
280	0.34	0.35	0.36	0.36	0.37
290	0.33	0.34	0.34	0.35	0.36
300	0.32	0.33	0.33	0.34	0.35
310	0.31	0.32	0.32	0.33	0.34
320	0.30	0.31	0.31	0.32	0.33
330	0.29	0.30	0.30	0.31	0.32
340	0.28	0.29	0.29	0.30	0.31
350	0.27	0.28	0.29	0.29	0.30

Tableau 2.3(Suite)

360	0.27	0.27	0.28	0.28	0.29
370	0.26	0.26	0.27	0.28	0.28
380	0.25	0.26	0.26	0.27	0.27
390	0.25	0.25	0.26	0.26	0.27
400	0.24	0.25	0.25	0.26	0.26
410	0.23	0.24	0.24	0.25	0.25
420	0.23	0.23	0.24	0.24	0.25
430	0.22	0.23	0.23	0.24	0.24
440	0.22	0.22	0.23	0.23	0.24
450	0.21	0.22	0.22	0.23	0.23
460	0.21	0.21	0.22	0.22	0.23
470	0.20	0.21	0.21	0.22	0.22
480	0.20	0.20	0.21	0.21	0.22
490	0.20	0.20	0.20	0.21	0.21
500	0.19	0.20	0.20	0.20	0.21
510	0.19	0.19	0.20	0.20	0.20
520	0.19	0.19	0.19	0.20	0.20
530	0.18	0.18	0.19	0.19	0.20
540	0.18	0.18	0.19	0.19	0.19
550	0.17	0.18	0.18	0.19	0.19
560	0.17	0.18	0.18	0.18	0.19
570	0.17	0.17	0.18	0.18	0.18
580	0.17	0.17	0.17	0.18	0.18
590	0.16	0.17	0.17	0.17	0.18
600	0.16	0.16	0.17	0.17	0.17
610	0.16	0.16	0.16	0.17	0.17
620	0.16	0.16	0.16	0.16	0.17
630	0.15	0.16	0.16	0.16	0.17
640	0.15	0.15	0.16	0.16	0.16
650	0.15	0.15	0.15	0.16	0.16
660	0.15	0.15	0.15	0.15	0.16
670	0.14	0.15	0.15	0.15	0.16
680	0.14	0.14	0.15	0.15	0.15
690	0.14	0.14	0.14	0.15	0.15
700	0.14	0.14	0.14	0.15	0.15

Tableau 2.3(Suite)

710	0.14	0.14	0.14	0.14	0.15
720	0.13	0.14	0.14	0.14	0.14
730	0.13	0.13	0.14	0.14	0.14
740	0.13	0.13	0.14	0.14	0.14
750	0.13	0.13	0.13	0.14	0.14
760	0.13	0.13	0.13	0.13	0.14
770	0.12	0.13	0.13	0.13	0.14
780	0.12	0.13	0.13	0.13	0.13
790	0.12	0.12	0.13	0.13	0.13
800	0.12	0.12	0.13	0.13	0.13
810	0.12	0.12	0.12	0.13	0.13
820	0.12	0.12	0.12	0.12	0.13
830	0.12	0.12	0.12	0.12	0.13
840	0.11	0.12	0.12	0.12	0.12
850	0.11	0.12	0.12	0.12	0.12
860	0.11	0.11	0.12	0.12	0.12
870	0.11	0.11	0.11	0.12	0.12
880	0.11	0.11	0.11	0.12	0.12
890	0.11	0.11	0.11	0.11	0.12
900	0.11	0.11	0.11	0.11	0.12
910	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11
920	0.10	0.11	0.11	0.11	0.11
930	0.10	0.11	0.11	0.11	0.11
940	0.10	0.10	0.11	0.11	0.11
950	0.10	0.10	0.10	0.11	0.11
960	0.10	0.10	0.10	0.11	0.11
970	0.10	0.10	0.10	0.11	0.11
980	0.10	0.10	0.10	0.10	0.11
990	0.10	0.10	0.10	0.10	0.11
1000	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10

### *Les indicateurs de gravité*

Comme dans le cas de la fréquence, deux mesures de gravité sont plus largement répondues. Il s'agit de taux de gravité et de l'indice de gravité.

Le taux de gravité permet de connaître le nombre de jours indemnisés pour une période de référence donnée ( 200,000 heures)

$$\text{Taux de gravité} = \frac{\text{Nombre total de jours indemnisés}}{\text{Nombre total d'heures travaillées}} \times 200,000$$

L'indice de gravité permet de connaître la durée moyenne d'indemnisation

$$\text{Indice de gravité} = \frac{\text{Nombre total de jours indemnisés}}{\text{Nombre total de lésions indemnisées}}$$

#### **2.2.2. Identification des postes problématiques**

A cette étape, nous devons jeter un coup d'œil à l'ensemble de l'entreprise. Cette opération va nous permettre de voir s'il existe des bases historiques pour établir les besoins de l'intervention ergonomique. Dans le but d'établir un rationnel d'intervention, l'identification des postes problématique est primordiale.

Pour identifier les postes problématiques, nous devons établir la liste des accidents aussi bien que des taux d'incidence en fonction :

- a) des départements
- b) des sections
- c) ou même des descriptions des tâches ou des fonctions

Pour déterminer le taux d'incidence pour chaque département ou description de tâches, nous avons seulement besoin de calculer le rapport entre le nombre d'accidents et le nombre de travailleurs du département.

$$\text{Taux de blessures} = \frac{\text{Nombre d'accidents}}{\text{Nombre de travailleurs du département}}$$

Dans le tableau 2.4 vous trouvez un exemple du calcul des taux de blessures par département

Tableau 2.4

### Taux de blessures par département

Département	# d'employés	# de blessures	Taux
Réception	9	0	0
Expédition	21	6	28.6
Préparation	25	1	4.0
Boulangers	33	4	12.1
Emballeurs	21	0	0
Inspecteurs	11	0	0
Pers. de bureau	20	1	5.0
Vente	16	0	0
Total	156	12	7.68

Une fois que nous avons calculé les taux de blessures, il ne nous reste qu'à prioriser les départements par ordre d'importance. Dans cette entreprise, il aurait été logique de s'attarder, dans un premier temps, aux employés préposés à l'expédition.

Tableau 2.5

### Ordre de priorité de l'intervention en fonction des départements

Département	# d'employés	# de blessures	Taux
Expédition	21	6	28.6
Boulangers	33	4	12.1
Pers. de bureau	20	1	5.0
Préparation	25	1	4.0

#### 2.2.3. Sélection des tâches ciblées

Il est important d'avoir un objectif rationnel pour expliquer une décision d'effectuer une analyse ergonomique dans un département plutôt que dans un autre. Cet objectif rationnel doit être utilisé de manière cohérente afin de prioriser et de diriger le projet. Il est plus efficace de justifier les objectifs en termes de coûts monétaire et humains. Par exemple, si nous faisons la démonstration que l'argent payé en compensation ) un travailleur accidenté l'année passé est égale au profil de deux mois de travail, il devient plus facile de justifier l'intervention.

De plus, à ce stade il serait important de planifier quand chacun des départements sera analysé, quand les rapports seront présentés et quand les solutions comprises dans le rapport seront implantées. Cette planification permettra à chacun (gestionnaires, contremaîtres et travailleurs) de savoir quand ils seront impliqués plus directement dans le processus d'intervention. Il est important de demeurer réaliste dans l'organisation de cette planification.

### Procédure de l'information

1. Rassembler toute l'information possible pour comparer les départements et les différentes installations.
2. Choisir les critères d'évaluation appropriés.
3. Préparer une liste des tâches à analyser.

### Conseils

La sélection des tâches cibles dans le processus de l'intervention ergonomique peut se faire de plusieurs façons.

1. La façon la plus simple est d'établir la liste des blessures ou des maladies professionnelles.
2. Un objectif extrêmement important est le succès de l'intervention. Surtout pour la première intervention puisqu'elle est souvent garante des autres. Il faut que les résultats se traduisent par une diminution des accidents, une meilleure qualité du produit, un meilleur moral, une augmentation de la productivité.

L'exemple illustré au tableau 2.6 montre comment élaborer une planification. Une période de 1 mois est requise pour produire un rapport. Ce rapport est présenté à la direction (décideurs). Idéalement, il est préférable que les changements recommandés se fassent dans les deux mois suivant le dépôt du rapport. Ceci a comme avantage de garder un groupe de travail motivé.

**Tableau 2.6**

#### Exemple de planification

Département	Analyse	Rapport	Important
Expédition	1 <sup>er</sup> juin	1 <sup>er</sup> juillet	1 <sup>er</sup> septembre
Boulangers	1 <sup>er</sup> juillet	1 <sup>er</sup> août	1 <sup>er</sup> octobre
Pers. De bureau	1 <sup>er</sup> août	1 <sup>er</sup> septembre	1 <sup>er</sup> janvier
Préparation	1 <sup>er</sup> septembre	1 <sup>er</sup> octobre	1 <sup>er</sup> février

### 2.2.4. Evaluation psychophysique sommaire

L'objectif de l'évaluation psychophysique est de donner une valeur numérique de niveau de confort perçu par le travailleur. Cette information nous donne un support additionnel pour entreprendre l'analyse dans un département donné. Ce genre d'analyse peut également nous donner un aperçu de l'efficacité de l'intervention.

#### Procédure

1. Il faut établir un questionnaire simple qui couvre les principales parties du corps (4 à 5 au maximum)
2. Les travailleurs doivent bien comprendre l'objectif du questionnaire
3. Il faut que l'information soit traitée confidentiellement

Au tableau 2.7, nous pouvons voir un exemple de questionnaire qui évalue l'inconfort aux niveaux des pieds, des genoux, du dos, du cou et des bras. Chaque réponse a une valeur précise qui va de 1 à 4. Ces chiffres représentent la fréquence à laquelle les travailleurs ressentent les inconforts. A la fin, nous devons additionner les réponses de tous les travailleurs pour chacune des réponses. Par exemple, nous pourrions dire que les travailleurs ressentent des inconforts moyens avec une fréquence de 3.01/4 au niveau du cou plusieurs jours par mois et des douleurs sévères à une fréquence de 1.75/4.

#### *Questionnaire sur le niveau de confort*

Le questionnaire contient les quatre données suivantes :

**Date**

**Titre de l'emploi**

**Quart de travail**

**J'occupe cet emploi depuis**

**Tableau 2.7**

Je ressens des inconforts légers dans mes pieds 1. rarement ou jamais 2. un ou deux jours par mois 3. plusieurs jours par mois 4. tous les jours	Je ressens des inconforts sévères dans mes pieds 1. rarement ou jamais 2. un ou deux jours par mois 3. plusieurs jours par mois 4. tous les jours
Je ressens des inconforts légers dans mes genoux 1. rarement ou jamais 2. un ou deux jours par mois 3. plusieurs jours par mois 4. tous les jours	Je ressens des inconforts sévères dans mes genoux 1. rarement ou jamais 2. un ou deux jours par mois 3. plusieurs jours par mois 4. tous les jours
Je ressens des inconforts légers dans mon dos 1. rarement ou jamais	Je ressens des inconforts sévères dans mon dos 1. rarement ou jamais

2. un ou deux jours par mois 3. plusieurs jours par mois 4. tous les jours	2. un ou deux jours par mois 3. plusieurs jours par mois 4. tous les jours
Je ressens des inconforts légers dans mon cou 1. rarement ou jamais 4. un ou deux jours par mois 5. plusieurs jours par mois 4. tous les jours	Je ressens des inconforts sévères dans mon cou 1. rarement ou jamais 2. un ou deux jours par mois 3. plusieurs jours par mois 4. tous les jours
Je ressens des inconforts légers dans mes bras 1. rarement ou jamais 2. un ou deux jours par mois 3. plusieurs jours par mois 4. tous les jours	Je ressens des inconforts sévères dans mes bras 1. rarement ou jamais 2. un ou deux jours par mois 3. plusieurs jours par mois 4. tous les jours

### 2.2.5. Description des tâches

Dans cette étape, nous écrivons dans un paragraphe les fonctions du travailleur. C'est ce qu'on l'on appelle une description sommaire du travail. Pour établir cette description, il faut répondre à la question « qu'est-ce que la personne fait ? » Il faut se limiter à un ou deux paragraphes. C'est nécessaire pour cerner la nature de la tâche. Par cette description du travail, nous devons être en mesure de comprendre comment cette tâche est reliée aux autres. Cela nous permet de garder une meilleure perspective du travail qui nous servira plus tard lorsque l'on disséquera la tâche en ses éléments.

#### Procédure

Souvent, les entreprises possèdent la description des tâches, c'est un bon point de départ. Cependant, cette description est souvent idéaliste. Il y a eu souvent des changements dans l'organisation du travail, des nouveaux équipements, des changements dans la procédure où la compagnie a institué un système de rotation des postes de travail. Souvent, la description des tâches n'est plus de reflet de la réalité.

## 2.3. Etapes de l'intervention ergonomique

### 2.3.1. L'analyse de la demande et définition de la problématique

#### *L'analyse de la demande*

Cette première étape est décisive, car elle détermine les étapes suivantes. On se doit de le rappeler, puisqu'il n'est pas rare de voir cette étape escamotée dans une empressement à vouloir commencer trop rapidement.

Le demandeur (ou client) a toujours un certain nombre d'attentes et d'idées préconçues face à la demande initiale. Il occupe, dans la majorité des cas, un rôle de décideur. Il doit tenir compte de contraintes diverses : organisationnelles, financières, humaines, etc. Une entrevue avec celui-ci où l'on met cartes sur table permet de savoir de quel problème il s'agit, dans quels termes il est posé et à l'intérieur de quelles limites il doit être considéré. C'est uniquement à partir de ces renseignements que l'intervenant est en mesure de savoir s'il peut répondre ou non à la demande.

Une entrevue préliminaire avec les acteurs concernés (travailleurs, contremaître, etc.) et leurs représentants (délégués syndicaux, chefs de services, etc.) s'avère indispensable. Elle permet de voir s'il y a accord ou non avec le demandeur sur le problème en cause. Les zones obscures doivent être éclaircies et un consensus doit se dégager de la part des différentes parties. Le mandat doit ensuite être écrit en des termes très précis. Il est soumis au demandeur et aux parties concernées pour acceptation définitive.

Une évaluation des ressources, des coûts, de même qu'une proposition d'échéancier doit compléter le mandat. Ces données sont réajustées au besoin. Quand l'intervention a une certaine ampleur, un groupe de travail doit être constitué où les deux parties, patronale et syndicale, sont représentées. Les membres doivent apporter des renseignements utiles à l'étude et être représentatifs de leur groupe. Une première évaluation des renseignements utiles à l'étude et être représentatifs de leur groupe. Une première évaluation de la situation par une visite des lieux permet de recueillir un certain nombre de données préliminaires. Des discussions informelles avec les travailleurs et les autres personnes impliquées, des discussions avec les membres du groupe de travail, s'il y a lieu, ou avec le personnel des différents services spécialisés de l'établissement permettent de mieux cerner le problème et de construire des hypothèses de travail.

Les sources de renseignements sont multiples dans un établissement, même de taille moyenne : service du personnel, service de santé et de sécurité du travail, service technique, service des achats, etc. Pour une étude ergonomique, le service du personnel, le service de santé et de sécurité du travail et le service technique sont les plus riches en information utile. Il importe de bien expliquer le rôle de l'intervenant de même que les objectifs de l'intervention. Le premier contact détermine les suivants : cela est d'autant plus important que l'intervenant aura à réinterroger ces mêmes personnes plus d'une fois. On sera à même de constater que, même les enseignements sont puisés au sein de l'établissement, le personnel n'est pas toujours au courant de ce qui se passe dans le service voisin. Ce point de vue d'ensemble donne l'avantage à l'intervenant extérieur.

### *La définition de la problématique*

L'étape de la définition de la problématique permet à l'intervenant d'acquérir l'information nécessaire à la réalisation du projet. De fait, au cours de cette étape l'intervenant doit répondre aux questions suivantes :

1. Quel est le problème de base ?
2. Quel est l'importance du problème ?
3. Quelles sont les conséquences de ce problème ?
4. Quelles sont les actions qui ont été entreprises pour régler ce problème ?
5. Est-ce qu'il y a d'autres entreprises qui sont au prise avec le même problème ?
6. Quelles actions ont-été prises ?
7. Qu'est-ce que la littérature scientifique (si disponible) dit sur ce sujet ?

### **2.3.2. La cueillette des données**

La cueillette des données peut se faire de plusieurs façons. Grâce à la cueillette de données, l'intervenant pourra prendre des décisions beaucoup plus rationnelles. Cette étape est cruciale pour la réussite de l'intervention.

### *Technique de cueillette de données*

Cette technique est basée sur :

- Les observations sur le terrain
- Les mesures des éléments statiques
- Les mesures des forces dynamiques
- Les descriptions des éléments de la tâches
- Les quantifications des tâches
- Les entretus avec les travailleurs

### *Observations sur le terrain*

Le but principal de cette étape est d'apprendre le plus possible sur le travail fait par chacun. A cette étape du processus, il n'est pas important de comprendre tous les détails des procédés, comment les appareils fonctionnent, etc. Durant ce processus, plusieurs travailleurs voudront expliquer en détails tout ce qu'ils font, la meilleure façon de faire ceci ou cela. C'est important pour eux mais ce n'est pas, pour l'instant, le but de votre intervention.

Ces observations sur le terrain peuvent être réalisées en personne ou bien recueillies à l'aide d'une bande vidéo ou une combinaison des deux techniques. La meilleure façon est d'observer les travailleurs en personne et de filmer par la suite le travailleur, ce qui vous permettra de recueillir l'information plus spécifique.

Plusieurs personnes travaillent différemment lorsqu'elles sont filmées. Par conséquent il faut essayer de le faire le plus discrètement possible, sans déranger le travailleur. Il faut toujours demander au travailleur la permission de le filmer, c'est une question de respect. Il faut lui expliquer que c'est pour analyser sa tâche et non pour critiquer son travail.

Il est important, lorsque l'on filme un travailleur, de prendre une vue de côté (sagittale) et une vue de face (frontale) lorsque c'est possible. De plus, il faut avoir une vue complète de la posture du travailleur (de la tête au pied. Il doit être en mesure de savoir si le travailleur est en appui sur un pied ou sur deux et pour combien de temps.

### *Mesure des éléments statiques*

La mesure des éléments statiques nous renseigne sur le poste de travail. Voici certains éléments que vous pouvez mesurer au cours de cette étape.

### *Exemples d'éléments statiques*

1. La hauteur de la surface de travail
2. Les distances à atteindre
3. Les distances à marcher
4. Les charges à soulever, pousser ou tirer
5. La fréquence des mouvements
6. L'amplitude des mouvements
7. L'espace de travail
8. La luminosité
9. Le bruit

Il est bien évident que l'information que vous pouvez recueillir dépend du poste de travail. Il faut adapter notre liste en fonction des postes que l'on étudie.

## ***Mesure des forces dynamiques***

Par ces mesures, nous cherchons à quantifier la force nécessaire pour bouger des objets. Pour établir les mesures de forces dynamiques, nous pouvons peser les objets. Pour tirer ou pousser les objets, nous devons utiliser des jauges de contraintes. Une jauge de contrainte (dynamomètre) est un outil qui permet, grâce à la formation d'une plaque de métal, de mesurer (en kilo) la charge nécessaire pour bouger quelque chose. Une jauge de contrainte ressemble vulgairement à un crochet pour peser les poissons. Il faut faire attention dans l'utilisation de cet outil parce que les mouvements rapides augmentent la lecture (à cause de l'inertie des objets) de la jauge de contrainte et peuvent entraîner des erreurs de mesures importantes.

## ***Description de la tâche***

Décrire la tâche consiste à décortiquer cette tâche en ses éléments. Si on regarde de près le travail de manutentionnaire dans un centre de distribution, nous pouvons diviser le travail accompli selon les éléments suivants :

### **Éléments de la tâche d'un manutentionnaire Dans un centre de distribution de la SAQ**

1. Marcher
2. Saisir des caisses (5 niveaux)
3. Descendre ou soulever des caisses au niveau des hanches
4. Transporter des charges
5. Déposer des charges sur un transpalette
6. Identifier les produits
7. Compter les caisses à la fin de la commande
8. Conduire un transpalette

Briser la tâche permet d'identifier les éléments de la tâche qui sont à risques. De plus, cela permet d'intervenir de façon spécifique pour corriger les éléments dangereux. Ce qui est important dans l'identification des éléments de la tâche c'est de remarquer comment chacun de ces éléments est réalisé. Par exemple, voici certaines questions que l'on doit se poser lorsque l'on regarde un manutentionnaire prendre une boîte au sol.

- Est-ce que le plancher est glissant ?
- Est-ce que l'endroit ou l'espace permet au travailleur de prendre une bonne position ?
- Est-ce que la boîte a des poignées ?
- Est-ce que la technique utilisée par le travailleur est adéquate ?
- Est-ce que les caisses sont collées ?
- Est-ce que le produit bouge dans la caisse ?

### Quantification des tâches

Cette partie de l'intervention est souvent déjà réalisée, dans les grandes entreprises, par l'entremise des études de temps et mouvements. En effet, la quantification (temps) des éléments de la tâche sert à standardiser le travail des employés et à fixer des standards de production.

Reprenons encore une fois notre exemple de manutentionnaire dans un centre de distribution qui doit cueillir 90 casses en 38 minutes.

### Quantification du travail de manutentionnaire

Eléments de la tâche	Temps en pourcentage
1. Marcher	8%
2. Soulever des caisses	16%
3. Transporter des caisses	23%
4. Déposer des caisses	15%
5. Conduire le transpalette	27%
6. Identifier les produits	4%
7. Compter les produits	7%

### L'entrevue

A l'aide d'entrevue avec les travailleurs, l'intervenant sera en mesure de recueillir de l'information spécifique sur l'ensemble de sa tâche. Ces entrevues aideront à identifier ce que les travailleurs trouvent difficiles à réaliser, les situations inhabituelles. De plus, ces entrevues permettront d'amasser des suggestions afin d'améliorer le poste de travail. Cette façon de recueillir de l'information peut se faire en groupe de travailleurs ou bien individuellement. L'entrevue est une technique à privilégier pour recueillir de l'information.

## 2.4. Recherche de solutions

Une fois que les diverses analyses sont terminées, nous passons à l'étape de la recherche de solutions. Tout au long du processus d'analyse ergonomique, nous établissons toute une liste d'interventions possibles. Cependant, il faut faire un choix parmi toutes les solutions possibles. Pour ce faire, la recherche de solutions peut se diviser selon les trois étapes suivantes comme suit

Recherche de solutions		
Critère de choix	Mise en place des solutions	Validation de l'intervention

### 2.4.1 Critère de choix

Il y a plusieurs critères que l'on peut utiliser pour faire la sélection des solutions. Dans cette section, nous allons présenter quelques critères et discuter de leur efficacité. Le but de la sélection est de choisir la solution la plus efficace et rentable et la plus sécuritaire. Dans la majorité des cas les premières interventions sont basées sur les coûts.

1. Est-ce que l'implantation va réduire l'incidence des accidents et des maladies professionnelles ?
2. Quels sont les coûts en dinars des équipements et du matériel nécessaires à l'implantation des solutions ?
3. Quel est le coût du personnel nécessaire pour installer les équipements ?
4. Est-ce que l'implantation des solutions va ralentir la production ? Soit oui, quel sera le coût de ce ralentissement ?
5. Quel sera le coût attribuable à la formation des travailleurs pour opérer les nouveaux équipements ?
6. Quel sera l'incidence de l'implantation sur la réduction des accidents.

### *Critères subjectifs*

Dans un monde idéal, nous pourrions regarder ce que les entreprises identiques à celle étudiée ont fait comme solution spéciale et faire la même chose. Ce genre d'intervention est valable et fortement recommandé; cependant, il faut faire attention de trop généraliser. De fait, il n'y a pas deux entreprises exactement identiques. Même si l'environnement et les équipements sont semblables, les gens qui les opèrent ne le sont généralement pas. A cause de ça, vous ne pouvez pas être totalement objectif dans votre prédiction en appliquant les solutions d'ailleurs.

### *Approches rationnelles*

#### **# 1 Productivité et performance de sécurité et confort**

Ce modèle est une tentative de développer une approche numérique sur l'efficacité projetée basée sur l'impact anticipé sur la productivité et la performance des travailleurs et sur le confort et la sécurité de ces derniers.

Une intervention est examinée en termes relativement pratiques et cotée en fonction des point suivants :

#### **A Si cette intervention est implantée, elle :**

- 1.augmentera définitivement le confort et la sécurité des travailleurs
- 2.augmentera possiblement le confort et la sécurité des travailleurs
- 3.n'entraînera aucun changement dans le confort et la sécurité des travailleurs
- 4.diminuera possiblement le confort et la sécurité des travailleurs
- 5.diminuera définitivement le confort et la sécurité des travailleurs

#### **B Si cette intervention est implantée, elle :**

- 1.augmentera définitivement la productivité et la performance
- 2.augmentera possiblement la productivité et la performance
- 3.n'entraînera aucun changement dans la productivité et la performance
- 4.diminue possiblement la productivité et la performance

### 5. diminue définitivement la productivité et la performance

Si il y a plusieurs évaluateurs (intervenants), vous pourrez faire la moyenne des résultats de ces évaluations. Les résultats obtenus à la section « A » sont multipliés par ceux obtenus à la section « B ». la meilleur intervention sera celle qui augmentera la productivité et la performance et qui augmentera également le confort et la sécurité des travailleurs. Un maximum de 25 points peut être obtenu.

## # 2 Impact projeté

Une autre méthode d'évaluation consiste à évaluer l'impact projeté par l'intervention. Pour rendre cette étape simple, nous pouvons donner des chiffres à nos interventions. Le tableau ci-dessous illustre quelques projections pour une entreprise qui a 100 dinars de coûts associés aux accidents de travail.

Intervention	Pourcentage	Coûts
Elimination de facteurs de risques (diminution des accidents de travail)	10%	10 dinars
Formation sur des bonnes méthodes de travail	5%	5 dinars
Sélection des travailleurs	5%	5 dinars
Modifications du poste de travail	25%	25 dinars

## # 3 Coûts

Nous pouvons souvent inclure les coûts de la solution dans le calcul de l'efficacité de la solution. Nous pouvons catégoriser les solutions les coûts. Par exemple, les solutions qui ont coûté de 0 à 500 dinars, de 501 à 2,000 dinars et plus. La solution idéale est celle qui a rapporté le plus de dividendes au coût le plus bas.

## # 4 L'engagement de la direction

Une variable extrêmement importante est le degré d'engagement de la gestion de l'entreprise. De fait, lorsque la direction est fermement derrière les efforts ergonomiques, les chances de réussite sont excellentes. Préférentiellement, les intervenants doivent faire la preuve que les efforts ergonomiques sont rentables pour l'entreprise. Les interventions qui demandent le moins d'engagement de l'entreprise (en terme de temps d'implication) sont celles qui ont le plus de chances de réussir.

### Recherche de solutions

Critère de choix	Mise en place des solutions	Validation de l'intervention
------------------	-----------------------------	------------------------------

#### 2.4.2. Mise en place des solutions

La mise en place des solutions dépend largement du client et des décideurs de l'organisation. L'élaboration et le dépôt d'un plan d'action articulé constituent un outil essentiel qui engage les décideurs. En outre, il faut toujours être préparé à faire face à une résistance au changement. C'est peut-être là un des comportements humains les plus classiques. La résistance au changement peut se manifester à tous les niveaux d'une organisation. Cela est particulièrement étonnant quand elle vient des travailleurs eux-mêmes lorsqu'il est question de modifier leur poste de travail. Il n'est pas facile d'abandonner des habitudes de travail même si les modifications proposées amélioreront les conditions de travail. Cette résistance au changement s'amenuise considérablement idéalement, l'intervenant est partie prenante à la mise en place des solutions. Il peut aussi, par entente, être consulté périodiquement. Il arrive parfois qu'il intervienne à la fin pour donner un avis sur les réalisations effectuées, situation moins souhaitable. Une collaboration étroite avec les travailleurs et les cadres sur place doit s'installer pour augmenter les chances de réussite lors de l'implantation des solutions.

La réalisation doit être planifiée rigoureusement à travers un échéancier serré, un budget déterminé et des ressources humaines compétentes.

### **2.4.3. Validation de l'intervention**

Théoriquement, toute modification d'une situation de travail devrait être précédée de tests appropriés. Pratiquement, cela n'est pas toujours possible en ergonomie de correction. En ergonomie de conception, les tests s'imposent par la force des choses. Faute de pouvoir tester les solutions proposées, il s'avère très utile de consulter une fois de plus les travailleurs et l'encadrement de première ligne directement concernés par les modifications, les démarches aux autres niveaux de l'organisation étant déjà à terme à cette étape. Dans pratiquement tous les cas, des ajustements très pertinents qui tiennent habituellement du détail, seront proposés et éviteront bien des ennuis. La validation n'est véritablement réalisée qu'après une certaine durée de fonctionnement des installations modifiées. C'est à l'usage que les défauts sont perçus, défauts que l'on peut difficilement prévoir à 100% même après une période de test. Les ajustements sont alors effectués en conséquence.

Des critères précis d'évaluation doivent normalement accompagner cette étape nécessaire en termes d'atteinte des objectifs de départ et d'efficacité des solutions proposées, en termes de respect des échéances, en termes de coût, de durabilité, de maniabilité, de transférabilité des solutions, en termes aussi de productivité et d'amélioration du climat de travail. Cet exercice nécessaire déterminera dans quelle mesure le mandat a été rempli. Si tel n'est pas le cas, on se doit de réexaminer une à une les étapes de la démarche pour y relever les lacunes et tirer les leçons qui s'imposent.

## **CHAP.III.**

<i><b>ANTHROPOMETRIE</b></i>	<i><b>PAGE</b></i>
3.1. Introduction	.....2
3.2. Application de l'anthropométrie	.....3
3.3. Techniques et moyens de mesure	.....3
3.4. Variation de l'être humain	.....4
3.5. L'homme mythe ou moyen	.....5
3.6. Facteurs d'affection de l'anthropométrie	.....6
3.7. Mesures anthropométriques	.....7
3.7.1. Mesures statiques	.....7
3.7.2. Mesures dynamiques (fonctionnelles)	.....39
3.7.3. Considérations de la grossesse	.....42
3.7.4. Données anthropométriques pour un fauteuil roulant	.....42
3.7.5. Méthodologie d'applications anthropométriques	.....44
3.8. Force musculaire	.....48
3.8.1. Description de la force musculaire	.....48
3.8.2. Force musculaire statique	.....49
3.9. Facteurs de variation de force humaine dans une position de posture	.....53
3.9.1. Effets de l'âge et du sex.	.....54
3.9.2. Effet de la posture et la position des segments corporels sur la force maximale	.....54
3.10. Prises entre les doigts	.....57

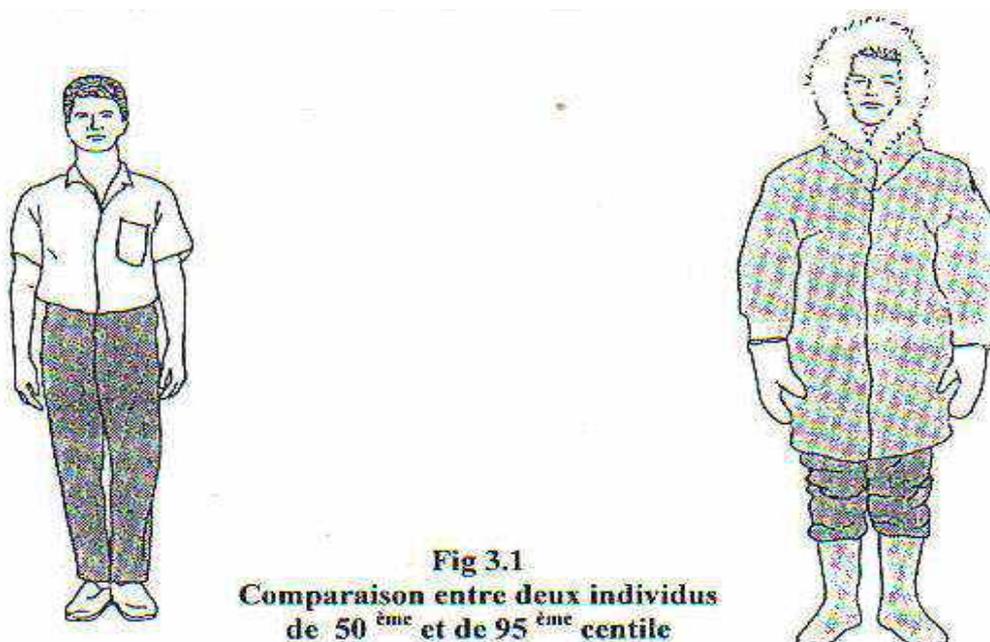
## CHAPITRE.III.

# ANTHROPOMETRIE

### 3.1. INTRODUCTION

L'anthropométrie est une science permettant de mesurer les dimensions de différentes parties du corps de l'être humain ( longueur, largeur, volume, poids, etc... ) qui sont soumis à des mouvements naturels. Ces mesures sont des données très utiles pour l'ergonomie à travers lesquelles, les concepteurs peuvent concevoir des équipements, outils, machines et environnements de travail en fonction des caractéristiques (taille ) des utilisateurs.

En réalité, dans une population donnée, on rencontre une vaste variabilité de tailles d'individus à un autre au niveau des deux sexes et des différentes races. La raison pour laquelle il faut prendre en considération quand il faudra la taille des individus les plus grands et celle les plus petits, fig ( 3.1 ).



### **3.2. APPLICATIONS DE L'ANTHROPOMETRIE**

Les bases de données anthropométriques sont utilisées pour la conception et l'amélioration de l'interface homme-machine et environnement de travail dans le but de fixer les dimensions adéquates pour les objets utilisés par l'individu. Les principaux champs d'applications des données anthropométriques sont en liaison avec :

- la confection des vêtements;
- la conception des postes de travail;
- la conception de l'environnement de travail;
- la conception des équipements, outils, machines, etc....;
- la production des produits de consommation;

Les données anthropométriques servent à déterminer les dimensions optimales pour les différents objets utilisés par l'individu dans la vie de tous les jours. Parmi ces objets, on cite (chaises, tables, lits, bicyclettes, intérieur de véhicule de toutes sortes, machine de production, etc....).

Le devoir d'un concepteur est de concevoir toujours des équipements qui seront utilisés par la population tenant compte de leurs dimensions corporelles.

La meilleure conception des équipements pour les différents âges des individus de la population sera celle qui satisfait la commodité de la plupart des utilisateurs ( 90 à 95% de cette population ).

L'intérêt essentiel de cette démarche de conception est de cibler cet objectif vu que les équipements servent à tout le monde sans exception, ce qui a une bonne répercussion ergonomique dans la mesure où ces équipements peuvent être réglables et adaptables pour n'importe quelles dimensions du corps de l'utilisateur.

Un exemple tout courant est celui de la bicyclette où la selle et le guidon sont ajustables en hauteur d'une façon que la plupart de la population de différents sexes peut atteindre facilement les pédales et comme ça l'utilisateur sera content.

Dans certains cas, l'utilisation des valeurs extrêmes des dimensions corporelles, sera le cas le plus favorable, le bon exemple est lorsqu'on veut localiser les zones d'atteinte d'un poste de travail.

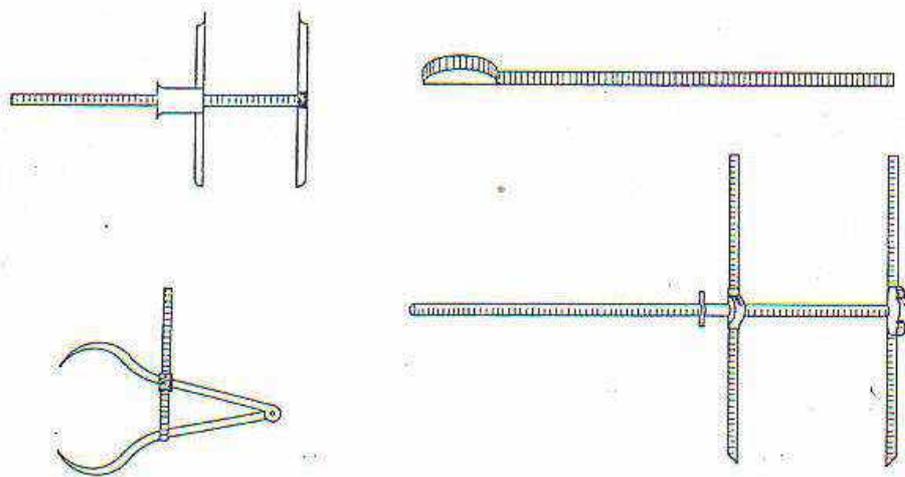
L'application des données anthropométriques portent sur la détermination de la position optimale des cadrans sur un panneau de commande aux pieds des usagers en position assise en fonction des valeurs anthropométriques pour les jambes et les pieds.

### **3.3. TECHNIQUES ET MOYENS DE MESURE**

Les instruments conventionnels les plus simples et les plus utilisés dans la mesure des distances entre des différents points de repère du corps humain sont illustrés dans la fig ( 3.2 ). Parmi lesquels, on cite les suivants:

- **compas à verge ou d'épaisseur** : sert à mesurer des petites distances (longueur, largeur et épaisseur);
- **règle anthropométrique** : composée d'un Té fixe menu d'une règle transversale solidaire avec une autre longitudinale graduée sur laquelle coulisse une règle transversale mobile, la distance mesurée ( hauteur ou longueur ) est celle qui se trouve entre les deux règles transversales;
- **ruban conventionnel de mesurer** : permet à mesurer un contour (distance entre deux points précis épousant la topologie de la surface du segment à mesurer ) ou un périmètre ( longueur de l'enveloppe du segment mesuré );
- **balance** : sert à peser les poids;
- **cônes et gabatits**: permettent la mesurage de la circonférence d'une main et les dimensions des doigts par exemple.

Malgré, leurs inconvénients, les mesures anthropométriques conventionnelles ont donné toujours des résultats satisfaisants



**Fig 3. 2**

### 3.4. VARIABILITE DE L'ETRE-HUMAIN

Tenant compte des caractéristiques physiologiques des individus, les dimensions d'un corps humain varient d'une personne à une autre, d'un groupe ethnique à un autre et d'un pays à un autre. Mais tenant compte aussi de leurs caractéristiques génétiques, on remarque que la différence entre les individus persiste même à l'intérieur du même groupe.

Les mesures anthropométriques illustrées à la fig (3.3) montrent bien la variabilité dans la taille de population d'individus de différentes nationalités.

La conclusion qu'on peut tirer c'est que la variabilité de taille entre des individus de différents groupes ethniques de même sexe peut aller jusqu'à 10 à 15%.

Une variabilité similaire de 5 à 95 centiles a été aussi signalée à l'intérieur d'un seul groupe d'individus.

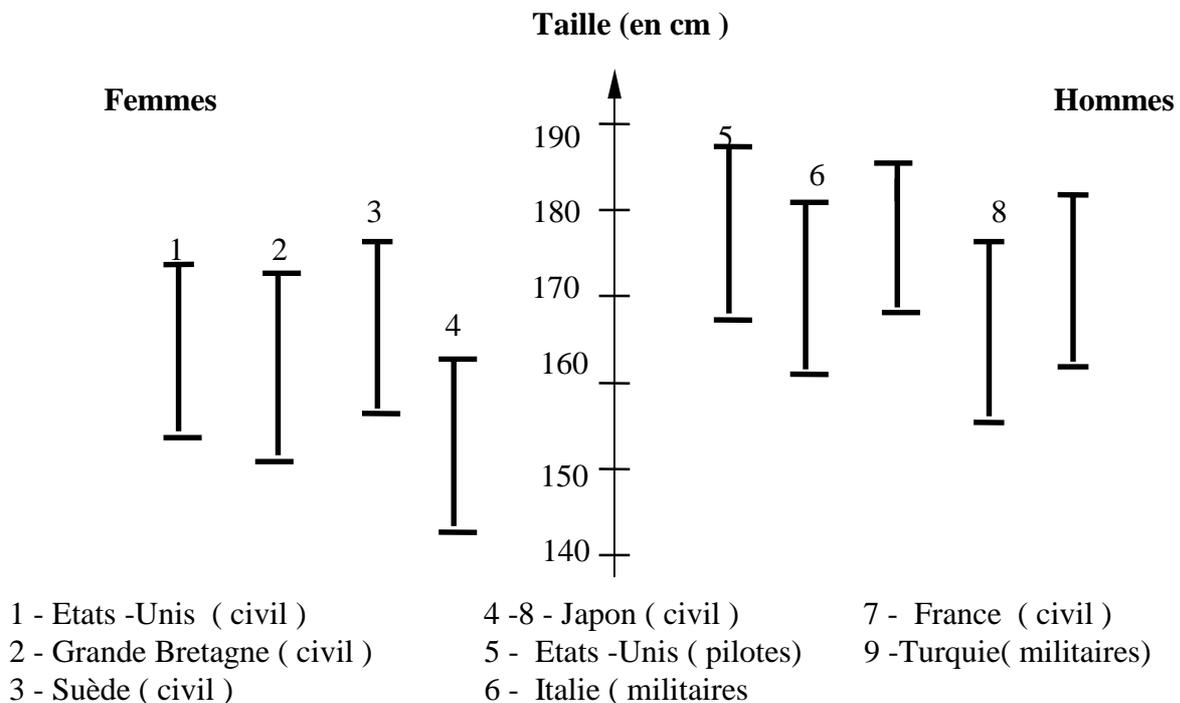
Les mesures des caractéristiques anthropométriques effectuées, prennent en considération simultanément le sex, l'origine et les centiles dont la variabilité peut atteindre «25 à 30% ».

Ces variations entre les individus des groupes ethniques qui forcent les concepteurs; à prendre en considération une plage d'ajustement.

### 3.5. L'HOMME MYTHE OU MOYEN

En prenant en considération les discussions citées ci-dessus et gardant à l'esprit que 300 mesures anthropométriques peuvent être effectuées sur le corps humain, nous pouvons dire que n'existe aucun individus qui peut avoir des mesures moyennes correspondantes à une valeurs de 50<sup>ème</sup> centile. Au cours de la conception d'un élément d'équipement, il faut considérer plusieurs dimensions anthropométriques et déterminer si chaque élément sera dimensionné selon une valeur extrême ( 5<sup>ème</sup> ou 95<sup>ème</sup> centile), une valeur de 50<sup>ème</sup> centile ou encore si une plage d'ajustement sera prévue.

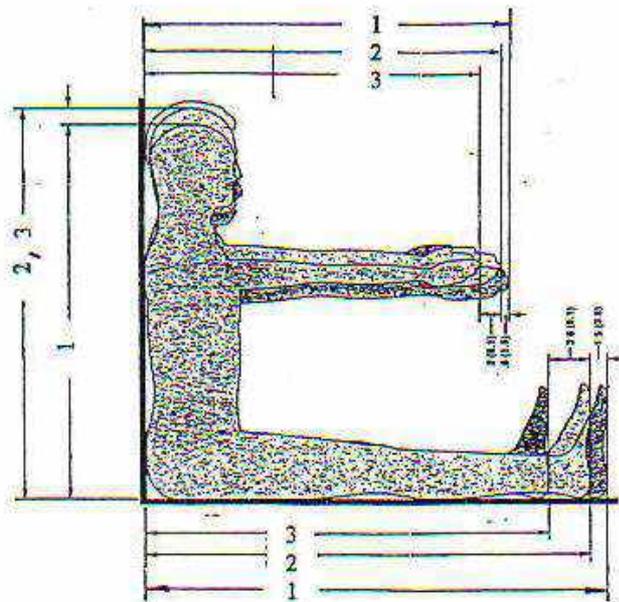
Le fait de concevoir selon la valeur moyenne ( 50<sup>ème</sup> centile ) de la population des utilisateurs permettra de satisfaire un pourcentage réduit de cette population. Cela est particulièrement vraie uniquement si l'équipement est destiné à plus d'un utilisateur.



**Fig 3.3**

Fig 3.4

- 1 - Américain moyen de race noire
- 2 - Américain moyen de race blanche
- 3 - Japonais moyen.



Dans la fig ( 3.4 ), on voit clairement la différence entre les individus de taille moyenne (hommes) de quelques pays de différentes races. Cette différence est prononcée spécialement au niveau de la distance entre le support dorsal et les pieds.

Dans la fig ( 3.5 ), on observe l'état d'évolution de la taille des soldats américains au fil des années, ce changement a été constaté aussi en europe.

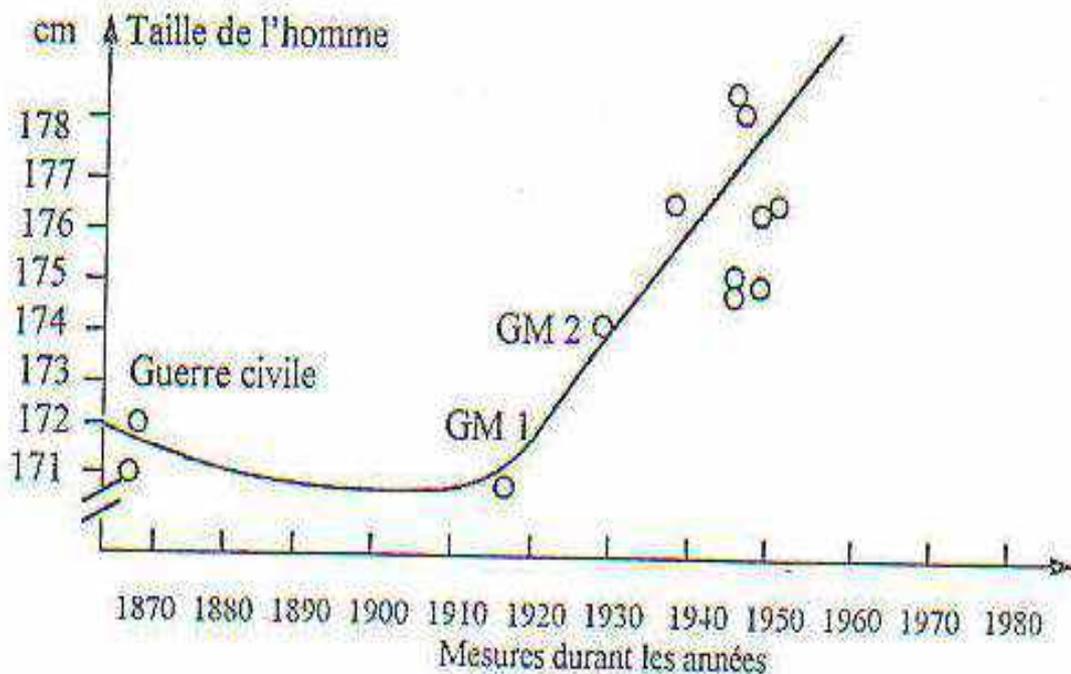


Fig 3.5

### 3.6. FACTEURS D’AFFECTATION DE L’ANTHROPOMETRIE

Les dimensions du corps humain sont affectées par plusieurs facteurs donnés au tableau 3.2. Les concepteurs doivent tenir compte de ces facteurs et prévoir les ajustements adéquats.

\* **Age** . En général, les dimensions du corps augmentent à partir de la naissance jusqu'au début de la vingtaine. Rovhe et Davila ont étudié des échantillons américains où ils ont démontré que chez l'adulte la taille moyenne est atteinte à 21,2 ans pour l'homme et à 17,3 ans pour les femmes. Toutefois, environ 10% parmi les hommes continuent à s'agrandir après l'âge de 23,5 ans et 10% parmi les femmes après l'âge de 21,1 ans.

Après cet âge, les dimensions du corps des individus ne changeront plus mais déclineraient un peu comme l'indique le tableau 3.2 . Trotter et Gleser ont montré que les individus commencent à rétrécir autour de l'âge de 40 ans. Ce rétrécissement est accéléré avec l'âge et les femmes rétrécissent plus que les hommes. En grande partie, ce rétrécissement s'est produit par la dégénérescence des disques intervertébraux. Borkan et autres, ont signalé que les membres inférieurs subissent aussi une partie de rétrécissement. Il est ainsi important pour les concepteurs de définir au préalable la population utilisateurs et de prendre les mesures nécessaires pour la conception d'un équipement.

Tableau 3. 2

Variation de la taille des canadiens ( en cm ) en fonction de l'âge

Age	Centile			changement/ à la valeur précédente(50 <sup>ème</sup> centile)
	5 <sup>ème</sup>	50 <sup>ème</sup>	95 <sup>ème</sup>	
18 - 19	162,8	173,2	183,1	
20 - 24	162	173,3	184,2	+0,1
25 - 29	159,8	175,3	187,9	+0,2
30 - 34	161	172,9	184,9	-0,6
35 - 44	159,2	171,7	184,4	-1,2
45 - 54	156,9	169,7	182,9	-2,0
55 - 64	153,9	167,6	181,1	-2,1
> 64	153,9	165,4	177,3	-2,2

\* **Sexe** . En général, on observe que les hommes ont des dimensions corporelles et centiles plus grands que les femmes à l'exception des dimensions des hanches et des cuisses. Les différences entre les sexes peuvent être plus ou moins grandes d'un groupe ethnique à l'autre. Eveleth a signalé que chez les américains, les dimensions corporelles des deux sexes sont plus prononcées que chez les européens.

\* **Position du corps** . La position affecte les dimensions du corps. Pour cette raison, des positions standards doivent être utilisées durant le relèvement des mesures. L'utilisation des données anthropométriques est aussi affectée par l'immobilité qui a lieu durant la prise de mesures. C'est pour cette raison que les dimensions fonctionnelles sont plus grandes que celles statiques, ces dernières devront être ajustées une liberté totale de mouvement au cours du travail.

\* **Vêtements** . Les vêtements augmentent les dimensions des corps des individus et gênent la liberté des mouvements. Ces deux cas sont affectés par la quantité de vêtements portés et du type de matériel utilisé. L'espace requis par un homme de 5<sup>ème</sup> centile est plus petit que celui requis pour un homme du 95<sup>ème</sup> centile portant des vêtements lourds, fig (3.1). Les gants et

les chaussures nécessitent aussi une attention particulière. Un ajustement pour les gants doit être apporté au cours du dimensionnement si leur utilisation est prévue pendant le travail. Il en va de soi aussi pour la conception et l'espace entre les commandes si des chaussures ou des gants sont habituellement effectuées sur des individus presque nus (port de sous- vêtement seulement). Par exemple : une majoration autour de 3 cm pour les chaussures sera appliquée à la taille des individus.

### 3.7. MESURES ANTHROPOMETRIQUES

On distingue deux principaux types de mesures anthropométriques:

- \* mesures statiques,
- \* mesures dynamiques.

#### 3.7.1. Mesures statiques,

Elles correspondent généralement à des dimensions morphologiques prises sur un corps nu, immobile, dans plusieurs positions standardisées. Les mesures statiques les plus utilisées dans la conception des postes de travail sont illustrées à la fig (3.5).

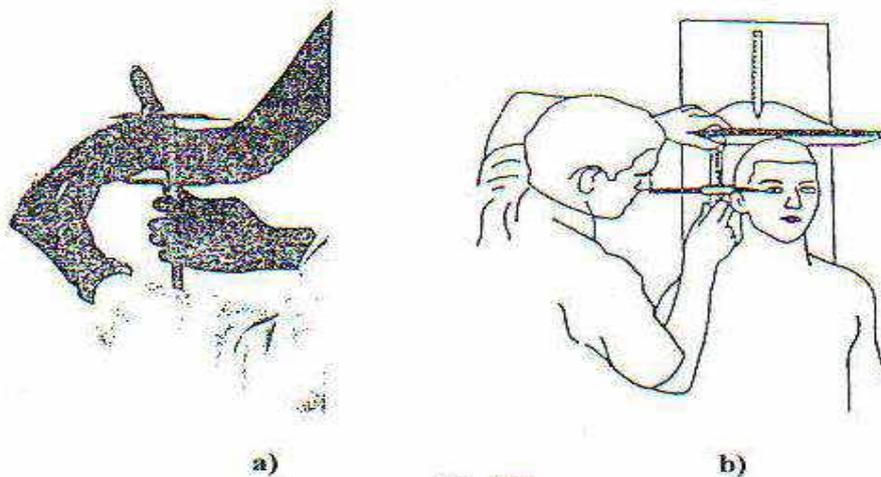


Fig 3.5

#### Dimensions morphologiques

La description des données morphologiques pour des populations d'adultes (hommes et femmes) de différentes nationalités est présentée dans les tableaux suivants en fonction de chaque dimension:

##### a) Poids

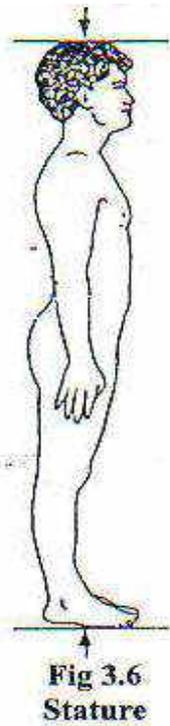
Le poids du corps humain nu est obtenu à partir d'une balance. Les données sont illustrées au tableau 3.3, elles sont utilisées pour la conception des retenu et les éléments de support corporel. Pour des vêtements légers, il faut ajouter 2 Kg mais pour ceux qui sont lourds (vêtement d'hiver), il faut ajouter jusqu'à 10 Kg.

**Poids en Kg****Tableau. 3.3**

Sujets	Centile		
	5 <sup>ème</sup>	50 <sup>ème</sup>	95 <sup>ème</sup>
<b>Hommes</b>			
Etats- Unis ( civils )	58	75	98
Italie ( militaires )	57,6	70,25	85,1
Japon ( civils )	46,1	60,2	74,3
Turquie ( militaires )	51	64,6	78,2
<b>Femmes</b>			
Etats-Unis ( civils )	46	62,4	89,4
Angleterre ( civils )	46,6	60,4	79,4
Japon ( civils )	69,8	51,3	62,8
<b>Hommes</b>	57,2	75,3	96,2
<b>Femmes</b>	47,2	62,1	90,3

**b) Stature**

Représente la distance verticale entre les pieds et le sommet de la tête du corps humain nu, fig ( 3.6 ). Pour les chaussures, ajouter 2,5 cm pour les hommes et jusqu'à 8cm pour les femmes mais pour les casques, ajouter 3.8 cm. Les données nécessaires sont illustrées au tableau 3.4 .



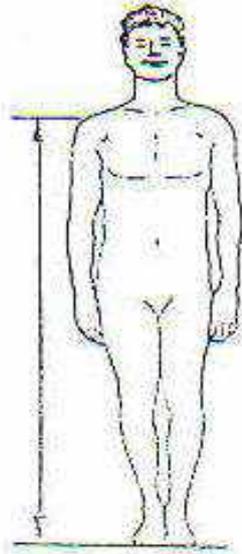
Stature en cm ( sujet debout )

Tableau. 3.4

Sujets	Centile		
	5 <sup>ème</sup>	50 <sup>ème</sup>	95 <sup>ème</sup>
<b>Hommes</b>			
Etats- Unis ( civils )	162	173	185
Italie ( militaires )	160,2	170,8	180,8
Japon ( civils )	155,8	165,3	174,8
Turquie ( militaires )	160,6	169	179,2
<b>Femmes</b>			
Etats-Unis ( civils )	150	160	170
Angleterre ( civils )	149,5	160,1	171,2
Japon ( civils )	145,3	153,2	161,1
<b>Hommes</b>	161,5	173,5	184,9
<b>Femmes</b>	149,9	159,8	170,4

### c) Hauteur de l'épaule

Représente la distance verticale entre les pieds et les épaules, fig ( 3.7 ). Pour l'hauteur de l'épaule, il ne faut pas oublier de tenir compte des ajustements précédents pour les chaussures. Les données nécessaires sont illustrés au tableau 3.5.



**Fig 3.7**  
**Hauteur de l'épaule**

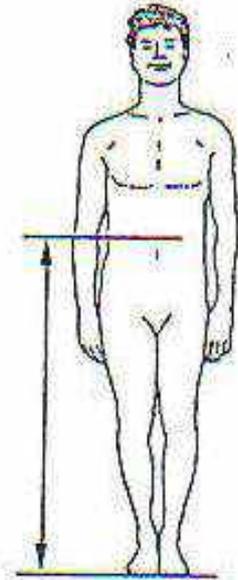
*Hauteur épaule en cm ( sujet debout )*

*Tableau. 3.5*

Sujets			
	5 <sup>ème</sup>	50 <sup>ème</sup>	95 <sup>ème</sup>
<b>Hommes</b>			
Etats- Unis ( aviateurs )	135,7	145,2	154,8
Italie ( militaires )	129,4	138,9	148,2
<b>Femmes</b>			
Etats-Unis ( air-force )	123	131,9	141,1
<b>Hommes</b>	136,5	146,1	155,7
<b>Femmes</b>	122,9	132,2	141,4

d) **Hauteur de la ceinture**

Représente la distance verticale entre les pieds et la ceinture ( milieu du corps ), fig ( 3.8 ). Pour l'hauteur de la ceinture, il faut ajouter les ajustements précédents. Les données nécessaires sont illustrés au tableau 3.6



**Fig 3.8**  
**Hauteur de la ceinture**

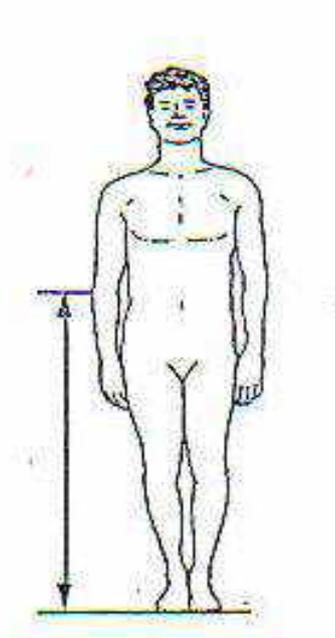
Hauteur de la ceinture en cm ( sujet debout)

Tableau 3.6

Sujets	Centile		
	5 <sup>ème</sup>	50 <sup>ème</sup>	95 <sup>ème</sup>
<b>Hommes</b>			
Etats- Unis ( aviateurs )	98,7	106,5	114,3
Italie ( militaires )	93	101,3	109,2
<b>Femmes</b>			
Etats-Unis ( air-force )	93,1	100,3	107,9
Suède ( civils )	98,2	91,5	104,8

e) **Hauteur du coude**

C'est la distance verticale entre les pieds et le coude de l'individu en position debout, fig ( 3.9 ).Les ajustements des chaussures sont appliquées encore ici. Les données nécessaires sont présentées au tableau 3.7.



**Fig 3.9**  
**Hauteur du coude**

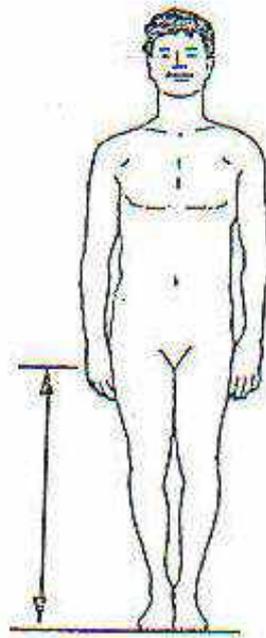
### Hauteur coude en cm ( sujet debout )

**Tableau 3.7**

Sujets	5 <sup>ème</sup>	50 <sup>ème</sup>	95 <sup>ème</sup>
	<b>Hommes</b>		
Etats- Unis ( aviateurs )	104,8	112,3	120
Italie ( militaires )	98,5	106,1	113,7
<b>Femmes</b>			
Etats-Unis ( civils )	95	100,6	109,2
<b>Hommes</b>	105,5	113,2	120,9
<b>Femmes</b>	96,5	102,6	108,7

### f) Hauteur entre- jambe

C'est la distance verticale entre les pieds et le point bas d'intersection entre la face interne de la cuisse et le rebord inférieur droit du périnée ( sans comprimer les tissus mous ), fig ( 3.10 ). Les ajustements des chaussures sont ajoutées aussi. Les données nécessaires sont présentées au tableau 3.8.



**Fig 3.10**  
**Hauteur entre- jambe**

### Hauteur entre-jambe en cm ( sujet debout )

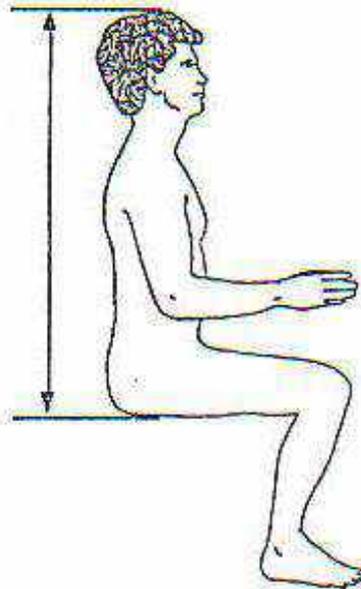
**Tableau 3.8**

Sujets	Centile		
	5 <sup>ème</sup>	50 <sup>ème</sup>	95 <sup>ème</sup>
<b>Hommes</b>			
Etats- Unis ( aviateurs )	78,3	85,1	92,0

Italie ( militaires )	73,6	80,7	87,6
<b>Femmes</b>			
Etats-Unis ( air-force )	68,1	74,5	81,4
<b>Hommes</b>	78,2	74,7	81,3
<b>Femmes</b>	68,1	132,2	141,4

**g) Hauteur vertex-plan d’assise**

C’est la distance verticale du plan d’assise jusqu’au sommet de la tête, fig (3.11). Ajouter aux valeurs mentionnées au tableau 2.9 ; 1,2 cm pour les vêtements lourds et 3,8 cm pour une casque.



**Fig 3.11**  
**Hauteur vertex-plan d’assise**

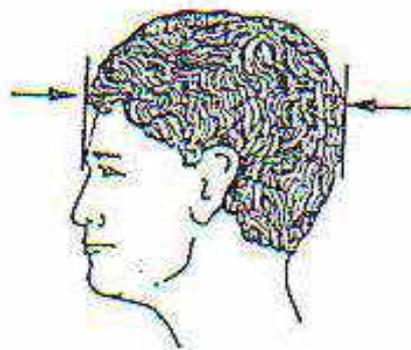
**Distance vertex-plan d’assise en cm ( sujet assis )**  
**Tableau 3.9**

Sujets	Centile		
	5 <sup>ème</sup>	50 <sup>ème</sup>	95 <sup>ème</sup>

<b>Hommes</b>			
Etats- Unis ( civils )	84	91	97
Italie ( militaires )	84,4	89,7	94,8
Allemagne ( pilotes )	86,1	91,3	96,5
Turquie ( militaires )	84,8	89,7	95,1
<b>Femmes</b>			
Etats-Unis ( air-force )	79	85	91
Suède ( civils )	82,3	87,3	92,2
<b>Hommes</b>	84,3	90,7	96,5
<b>Femmes</b>	78,5	84,8	90,7

**h) Longueur de la tête**

Représente la distance maximale de la tête mesurée dans le plan horizontal, fig(3.12). Les données sont présentées au tableau 3.10.



**Fig 3.12**  
**Longueur de la tête**

Longueur de la tête en cm

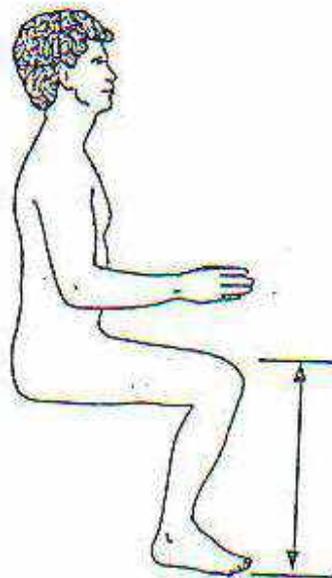
Tableau 3.10

Sujets	Centile		
	5 <sup>ème</sup>	50 <sup>ème</sup>	95 <sup>ème</sup>
<b>Hommes</b>			

Etats- Unis ( pilotes )	18,8	19,9	21
Italie ( militaires )	18,2	19,3	20,4
Turquie ( militaires )	17,5	18,6	19,7
<b>Femmes</b>			
Etats-Unis ( air-force )	17,3	18,4	19,5
<b>Hommes</b>	14,7	15,6	16,5

### i) Hauteur des genoux

Représente la distance verticale des pieds jusqu'au niveau supérieur du genou, fig ( 3.13 ). Pour l'homme ajouter 3 cm pour les vêtements légers et les chaussures et 4,5 cm pour les chaussures de travail. Pour les femmes, ajouter jusqu'à 8 cm pour les vêtements légers et les chaussures. Les données sont présentées au tableau 3.11.



**Fig 3.13**  
**Hauteur des genoux**

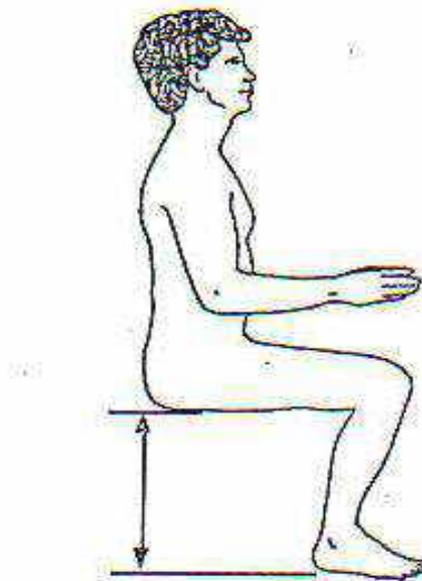
Hauteur des genoux en cm ( sujet assis )

Tableau. 3.11

Sujets	Centile		
	5 <sup>ème</sup>	50 <sup>ème</sup>	95 <sup>ème</sup>
<b>Hommes</b>			
Etats- Unis ( civils )	49	54	59
Italie ( militaires )	49,2	53,4	57,9
<b>Femmes</b>			
Etats-Unis ( civils )	46	50	55
<b>Hommes</b>	49	54,4	59,4
<b>Femmes</b>	45,5	49,8	54,6

## j) Hauteur plan d'assise

Représente la distance verticale entre le plan d'assise et l'appui pieds ajusté aux dimensions du sujet, fig (3.14). Il faut prendre en considération les mêmes ajustements pour les vêtements et les souliers cités dans le cas précédents. Les données sont présentées au tableau 3.12.



**Fig 3.14**  
**Hauteur plan d'assise**

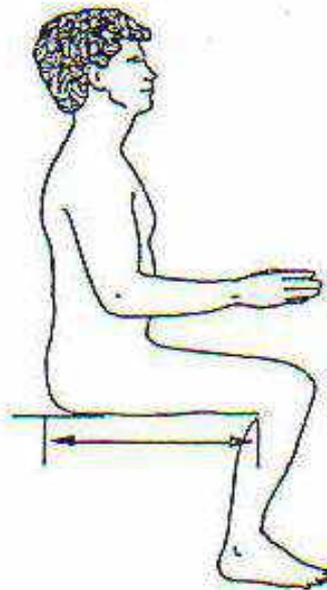
Hauteur plan d'assise en cm ( sujet assis )

Tableau. 3.12

Sujets	Centile		
	5 <sup>ème</sup>	50 <sup>ème</sup>	95 <sup>ème</sup>
<b>Hommes</b>			
Etats- Unis ( civils )	39	44	49
Italie ( militaires )	36,6	40,3	44,2
Allemagne ( aviateurs )	40,4	43,8	47,4
<b>Femmes</b>			
Etats-Unis ( civils )	36	40	45
<b>Hommes</b>	39,3	39,9	44,5
<b>Femmes</b>	35,6	39,9	44,5

### k) Portée arrière point poplité

Représente la distance horizontale minimale entre le dossier et l'intersection entre des tendons biceps fémoral de la jambe, lorsque le sujet est assis et que l'arrière des fesses touche le dossier, fig ( 3.15 ). Les données sont illustrées au tableau 3.13.



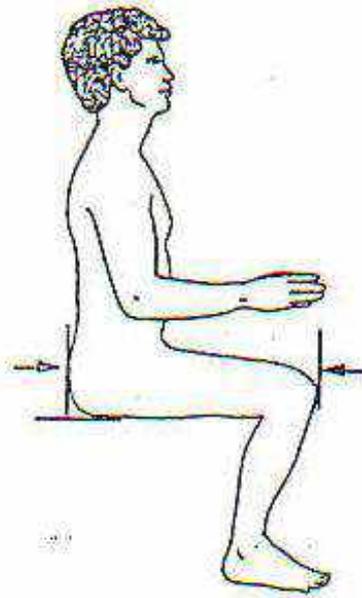
**Fig 3.15**  
**Portée arrière point poplité**

**Portée arrière point poplité en cm ( sujet assis )****Tableau. 3.13**

Sujets	Centile		
	5 <sup>ème</sup>	50 <sup>ème</sup>	95 <sup>ème</sup>
<b>Hommes</b>			
Etats- Unis ( aviateurs )	46,1	50,4	54,6
Allemagne ( air-force )	44,8	48,9	53
<b>Femmes</b>			
Etats-Unis ( air-force )	43,5	47,7	52,6
<b>Hommes</b>	43,9	49	54,9
<b>Femmes</b>	43,2	48	53,3

**1) Portée arrière-genou**

Représente la distance nominale entre le dossier et le point le plus antérieur de la rotule du genou droit, lorsque l'arrière des fesses touche le dossier, fig (3.16). Les données sont illustrées au tableau 3.14.



**Fig 3.16**  
**Portée arrière-genou**

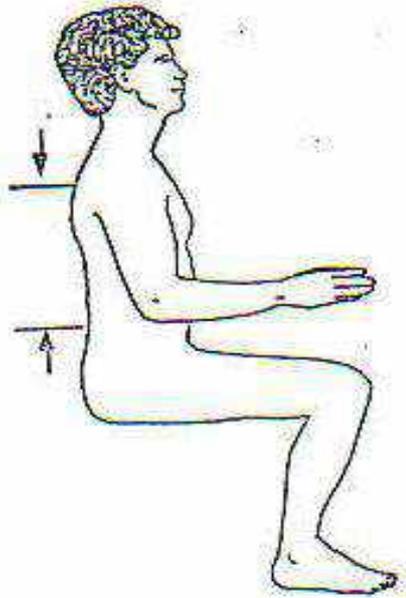
### Portée arrière genou en cm ( sujet assis )

**Tableau. 3.14**

Sujets	Centile		
	5 <sup>ème</sup>	50 <sup>ème</sup>	95 <sup>ème</sup>
<b>Hommes</b>			
Etats- Unis ( aviateurs )	56,1	60,4	65
France ( aviateurs )	56,3	59,5	63,1
<b>Femmes</b>			
Etats-Unis ( air-force )	53,2	57,4	61,9
<b>Hommes</b>	54,1	59,2	64
<b>Femmes</b>	51,8	56,9	62,5

#### m) Hauteur coude-épaule

Représente la distance verticale, du dessous du coude jusqu'à la hauteur de l'épaule, lorsque l'avant-bras droit est horizontal et forme un angle de 90° avec le bras droit, fig( 3.17). Les données sont illustrées au tableau 3.15.



**Fig 3.17**  
**Hauteur coude-épaule**

*Hauteur coude-épaule en cm ( sujet assis )*

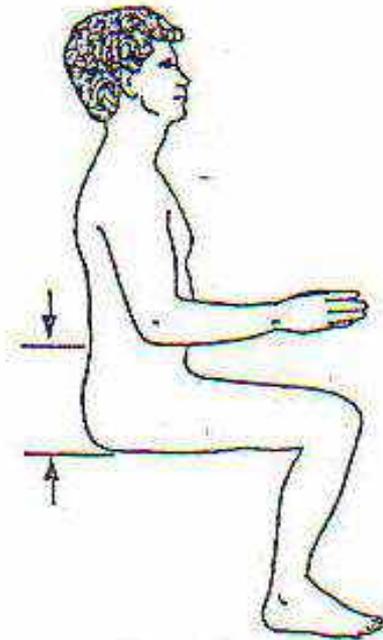
*Tableau 3.15*

Sujets	Centile		
	5 <sup>ème</sup>	50 <sup>ème</sup>	95 <sup>ème</sup>
<b>Hommes</b>			
Etats- Unis ( aviateurs )	32,2	36	38,8
France ( aviateurs )	30	32,2	34,7
<b>Femmes</b>			
Etats-Unis ( civils )	31	34,5	37,4

#### n) Hauteur coude-sujet assis

Représente la distance verticale du plan d'assise jusqu'au dessous du coude, lorsque l'avant-bras droit est horizontal et forme un angle de 90° avec le bras droit, fig(3.18). Il faut

ajouter 1,5 cm pour des vêtements légers et 12 cm ou plus pour les vêtements lourds. Les données sont illustrées au tableau 3.16.



**Fig 3.18**  
**Hauteur coude-sujet assis**

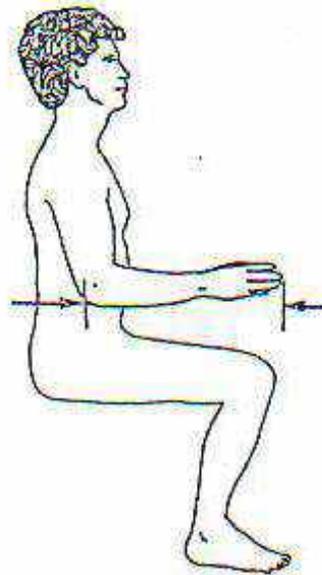
### Hauteur coude en cm ( sujet assis )

**Tableau 3.16**

Sujets	Centile		
	5 <sup>ème</sup>	50 <sup>ème</sup>	95 <sup>ème</sup>
<b>Hommes</b>			
Etats- Unis ( civils )	19	24	30
Italie ( militaires )	18,8	22,5	26,2
France ( aviateurs )	22	25,6	28,8
<b>Femmes</b>			
Etats-Unis ( civils )	18	23	28
Suède ( civils )	19,2	23	26,7
<b>Hommes</b>	18,8	24,1	29,5
<b>Femmes</b>	18	23,4	25,5

#### o) Longueur avant-bras

Représente la distance horizontale entre le point le plus antérieur du coude et l'extrémité de la main, fig( 3.19 ). Il faut ajouter 1,5 cm pour des vêtements légers et des gants et 2 cm ou plus pour des vêtements lourds et des gants. Il faut soustraire 8 cm pour une manipulation requise des doigts et 12 cm pour une manipulation complète requise avec la main. Les données sont illustrées au tableau 3.17.



**Fig 3.19**  
**Longueur avant-bras**

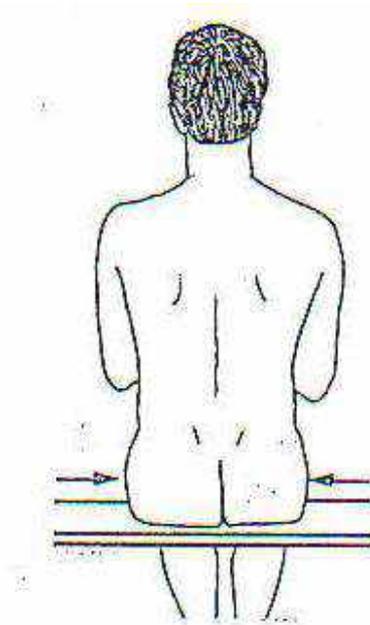
Longueur avant bras en cm ( sujet assis )

Tableau 3.17

Sujets	Centile		
	5 <sup>ème</sup>	50 <sup>ème</sup>	95 <sup>ème</sup>
<b>Hommes</b>			
NASA ( astronautes )	44,3	47,6	50,9
<b>Femmes</b>			
Suède ( civils )	40,2	44,2	48,2

p) Largeur cuisse-cuisse (sujet assis)

Représente la distance minimale entre les points les plus latéraux des cuisses, sans comprimer les tissus adipeux, lorsque le sujet est assis redressé et que les genoux sont les plus rapprochés l'un de l'autre, fig ( 3.20 ). Il faut ajouter 1,5 cm pour les vêtements légers et 4 cm pour des vêtements lourds. Les données sont illustrées au tableau 3.18.



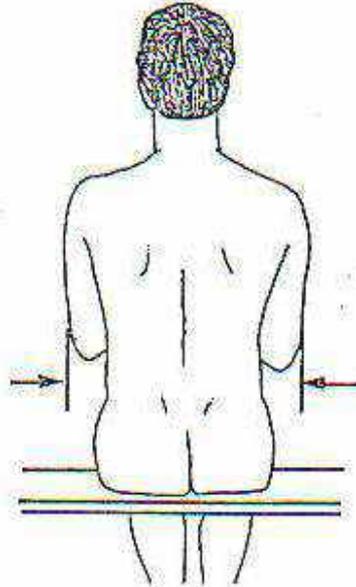
**Fig 3.20**  
**Largeur cuisse-cuisse (sujet assis)**

**Largeur cuisse-cuisse en cm ( sujet assis )**  
**Tableau 3.18**

Sujets	Centile		
	5 <sup>ème</sup>	50 <sup>ème</sup>	95 <sup>ème</sup>
<b>Hommes</b>			
Etats- Unis ( civils )	31	36	40
Italie ( militaires )	32,7	35,7	38,7
France ( aviateurs )	33,9	36,8	39,5
<b>Femmes</b>			
Etats-Unis ( civils )	31	36	43
<b>Hommes</b>	31	35,6	40,4
<b>Femmes</b>	32,1	36,3	43,4

q) **Largeur avant bras - avant bras (sujet assis)**

Représente la distance horizontale entre les faces latérales les plus extérieures des avant-bras, lorsque le sujet est assis redressé et que les coudes sont les plus rapprochés du corps, fig(3.22). Il faut ajouter 1,5 cm pour des vêtements légers et 12 cm ou plus pour des vêtements lourds. Les données sont illustrées au tableau 3.20.



**Fig 3.22**  
**Largeur avant bras - avant bras (sujet assis)**

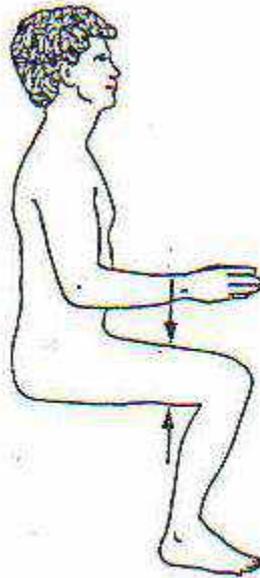
Largeur avant bras - avant bras en cm ( sujet assis )

Tableau 3.20

Sujets	Centile		
	5 <sup>ème</sup>	50 <sup>ème</sup>	95 <sup>ème</sup>
<b>Hommes</b>			
Etats- Unis ( civils )	35	42	51
Etats- Unis ( aviateurs )	38,3	42,4	46,7
<b>Femmes</b>			
Etats- Unis ( civils )	31	38	49
Etats- Unis ( aviateurs )	33,8	38,4	43,4
<b>Hommes</b>	34,8	41,9	50,5
<b>Femmes</b>	31,2	38,4	40,9

r) **Encombrement de la cuisse (sujet assis)**

Représente la distance verticale du plan d'assise jusqu'au point le plus élevé de la cuisse sans comprimer les parties molles du dessus de la cuisse, fig ( 3.23 ). Il faut ajouter 0,5 cm pour des vêtements légers et 3,5 cm ou plus pour des vêtements lourds. Les données sont illustrées au tableau 3.21.



**Fig 3.23**  
**Encombrement de la cuisse (sujet assis)**

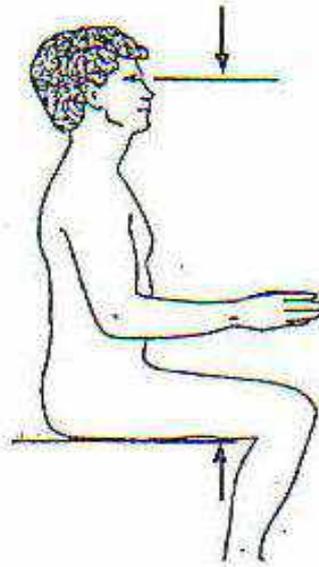
*Encombrement de la cuisse en cm ( sujet assis )*

*Tableau 3.21*

Sujets	Centile		
	5 <sup>ème</sup>	50 <sup>ème</sup>	95 <sup>ème</sup>
<b>Hommes</b> Etats- Unis ( civils )	11	15	18
<b>Femmes</b> Etats- Unis ( civils )	10	14	18
<b>Hommes</b>	10,9	14,5	17,5
<b>Femmes</b>	10,4	13,7	17,5

s) **Hauteur oeil (sujet assis)**

Représente la distance verticale du plan d'assise jusqu'au niveau des yeux. Il faut ajouter entre 0,7 et 1 cm pour tenir compte des vêtements sous les fesses, fig (3.24). Les données sont illustrées au tableau 3.22.



**Fig 3.24**  
**Hauteur oeil (sujet assis)**

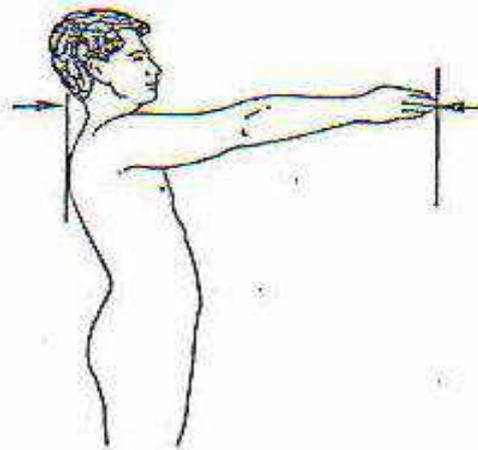
Hauteur oeil en cm ( sujet assis )

Tableau 3.22

Sujets	Centile		
	5 <sup>ème</sup>	50 <sup>ème</sup>	95 <sup>ème</sup>
<b>Hommes</b>			
Etats- Unis ( aviateurs )	76,2	81	86,1
Italie ( militaires )	73,1	78	82,9
France ( aviateurs )	77,5	83,4	87,7
<b>Femmes</b>			
Etats- Unis ( air-force )	68,7	73,7	78,8
<b>Hommes</b>	76,2	81,8	86,1
<b>Femmes</b>	71,4	75,9	80,5

### t) Portée maximale du bras

Représente la distance mesurée entre l'extrémité de la main et le mur, lorsque le bras, la main et les doigts sont tendus horizontalement au maximum vers l'avant et que la tête, les épaules et les fesses touchent le mur, fig ( 3.25 ). Il faut ajouter 1,5 cm pour des vêtements légers et des gants, et 2 cm ou plus pour des vêtements lourds et des gants. De plus il faut soustraire 8 cm pour une manipulation des doigts requise et 12 cm pour une manipulation complète requise avec la main. Les données sont illustrées au tableau 3.23.



**Fig 3.25**  
**Portée maximale du bras**

### Portée maximale du bras en cm

**Tableau 3.23**

Sujets	Centile		
	5 <sup>ème</sup>	50 <sup>ème</sup>	95 <sup>ème</sup>
<b>Hommes</b>			
Etats- Unis ( aviateurs)	83,3	89,4	96
Conducteur de camion Et autobus	83,6	90,7	97,5
<b>Femmes</b>			
Etats- Unis ( aviateurs )	75,4	80,8	86,6

u) **Longueur main**

Représente la distance maximale mesurée entre la base et la paume et l'extrémité de la main ( axe de la main ) sans tenir compte de l'ongle, lorsque la main est tendue à plat, fig (3.26 ). Il faut ajouter 0,4 cm pour les gants légers et 0,8 cm ou plus pour les gants lourds. Les données sont illustrées au tableau 3.24.



**Fig 3.26**  
**Longueur main**

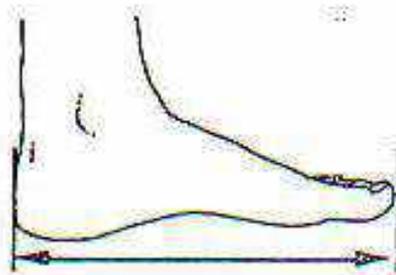
*Longueur de la main en cm*

*Tableau 3.24*

Sujets	Centile		
	5 <sup>ème</sup>	50 <sup>ème</sup>	95 <sup>ème</sup>
<b>Hommes</b>			
Etats- Unis ( aviateurs)	17,8	19,1	20,5
Italie ( militaires )	17,6	19	20,4
France ( aviateurs )	17,7	19,2	20,4
<b>Femmes</b>			
Etats- Unis ( air-force )	16,9	18,4	20,1
Suède ( civils )	16,3	17,9	19,6

## v) longueur pied

Représente la distance minimale mesurée entre l'arrière du talon et l'extrémité du pied (axe du pied), fig ( 3.27 ). Il faut ajouter 3 cm pour des chaussures d'hommes et 2 cm pour des chaussures de femmes et 3,7 cm pour des chaussures de travail. les données sont présentées au tableau 3.25.



**Fig 3.27**  
**longueur pied**

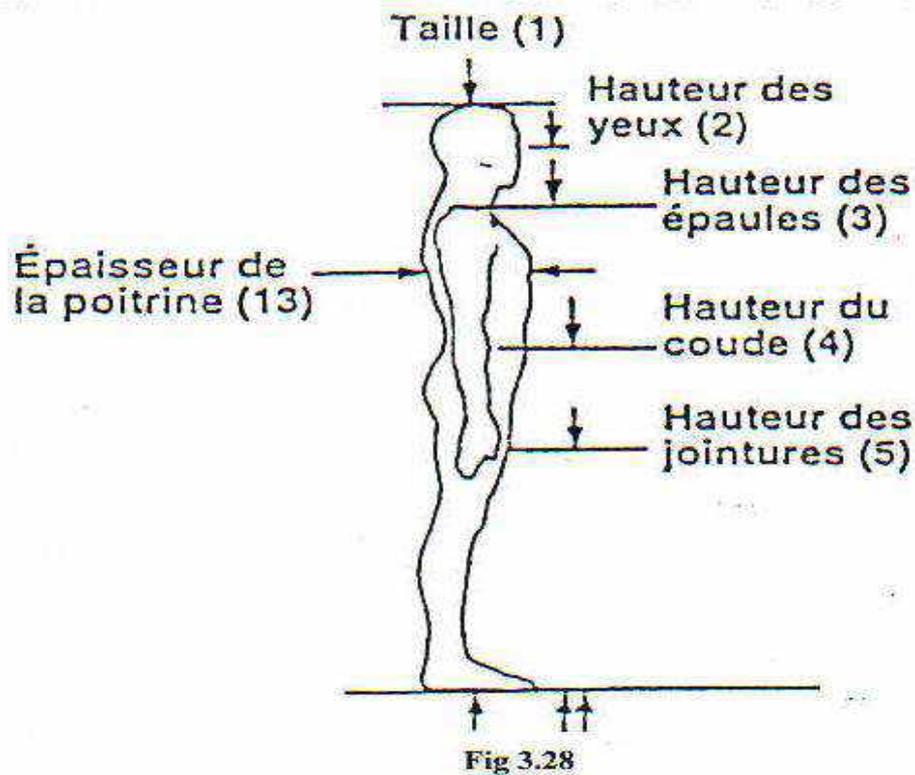
Longueur pied en cm

Tableau 3.25

Sujets	Centile		
	5 <sup>ème</sup>	50 <sup>ème</sup>	95 <sup>ème</sup>
<b>Hommes</b>			
Etats- Unis ( civils )	23,5	26,2	28,2
Italie ( militaires )	24,6	26,5	28,4
France ( aviateurs )	24,7	26,5	28,5
Japon ( civils )	22,8	24,4	26
<b>Femmes</b>			
Etats- Unis ( civils )	22,1	24,1	26,2
Suède ( civils )	22,8	24,6	26,3

Japon	( civils )	21,1	22,6	24,1
-------	------------	------	------	------

Les mesures anthropométriques statiques plus détaillées pour une population d'adultes civils Nord - américains âgés de 20 à 60 ans (nus ) sont données au tableau 3.26, pour des différents centiles dans les fig ( 3.28 ), fig( 3.29 ), fig( 3.30 ) et fig( 3.31).



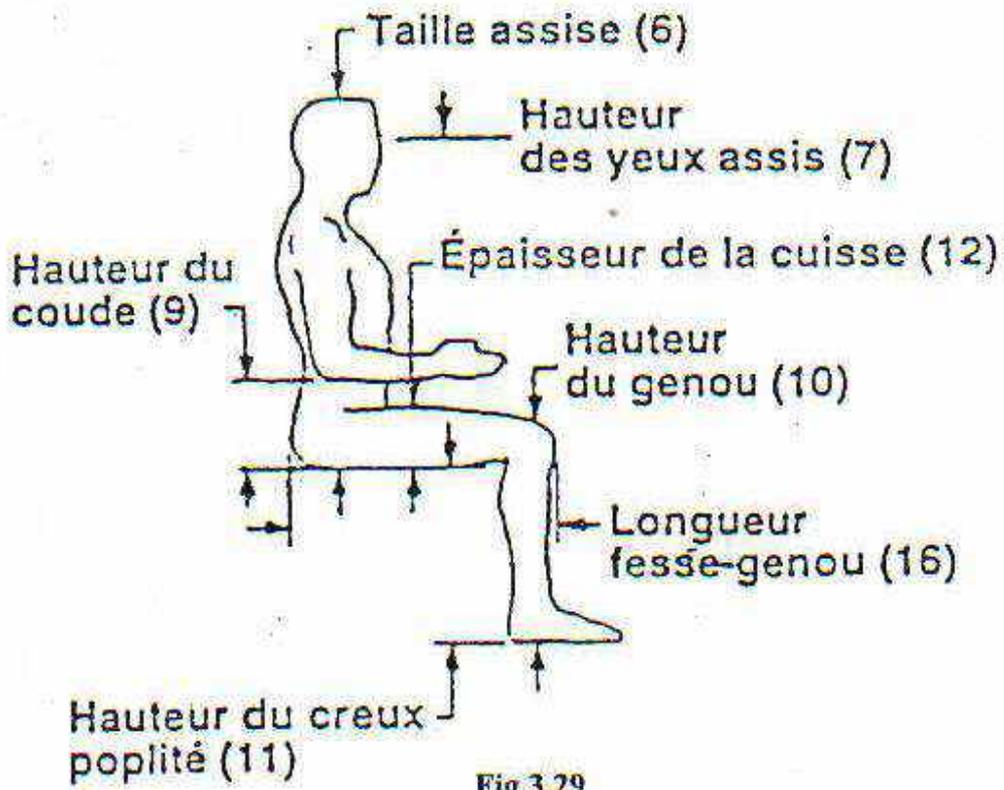


Fig 3.29

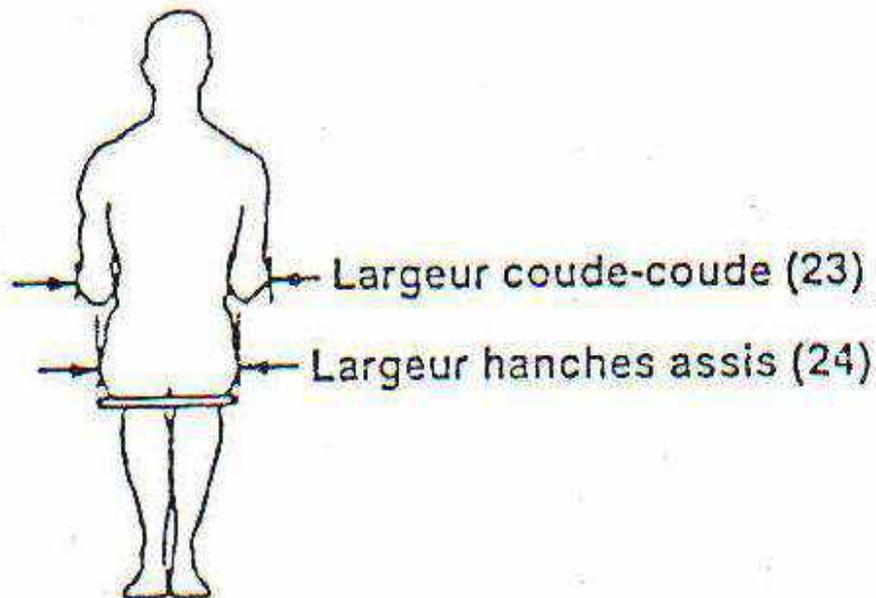


Fig 3.30

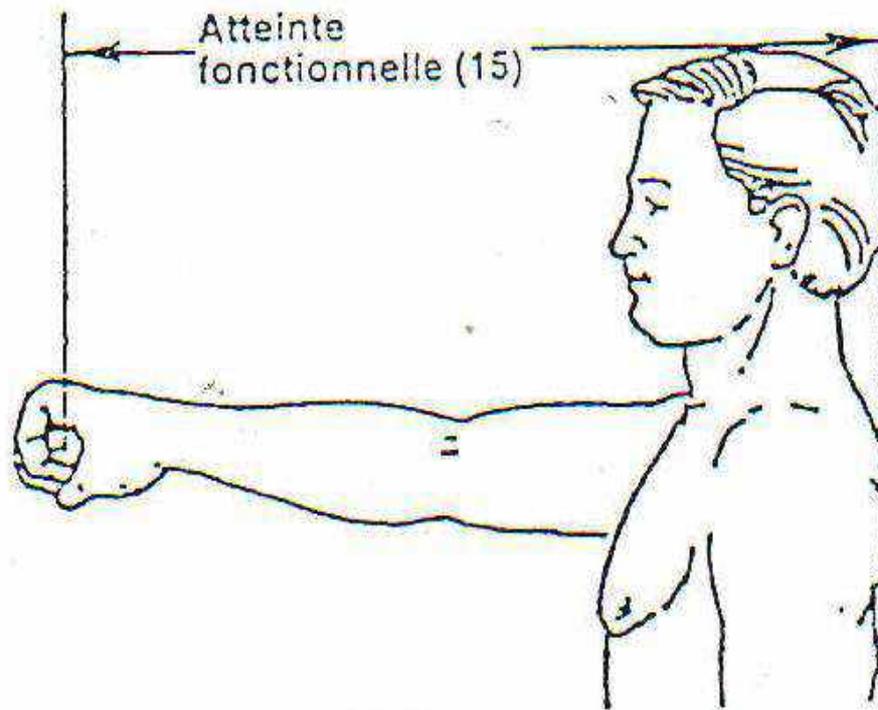


Fig 3.31

Les mesures anthropométriques statiques effectuées par Kroemer pour une population d'adultes civiles sont données au tableau 3.26

Tableau 3.26

Dimension	Valeur centile							
	5e		50e		95e		écart - type	
	Femme	Homme	Femme	Homme	Femme	Homme	Femme	Homme
Hauteurs : debout (par rapport au sol)								
1. Taille	149.5	161.8	160.5	173.6	171.3	184.4	6.6	6.9
2. Yeux	138.3	151.1	148.9	162.4	159.3	172.7	6.4	6.6
3. Épaule	121.1	132.3	131.1	142.8	141.9	152.4	6.1	6.1
4. Coude	93.6	100.0	101.2	109.9	108.8	119.0	4.6	5.8
5. Jointure	64.3	69.8	70.2	75.4	75.9	80.4	3.5	3.2
Hauteurs : assis								
6. Taille(du siège)	78.2	84.2	85.0	90.6	90.7	96.7	3.5	3.7
7. Yeux (du siège)	67.5	72.6	73.3	78.6	78.5	84.4	3.3	3.6
8. Épaule (du siège)	49.2	52.7	55.7	59.4	61.7	65.8	3.8	4.0
9. Coude (du siège)	18.1	19.0	23.3	24.3	28.1	29.4	2.9	3.0
10. Genou	45.2	49.3	49.8	54.3	54.5	59.3	2.7	2.9
11. Creux poplité	35.5	39.2	39.8	44.2	44.3	48.8	2.6	2.8
12. Épaisseur de la cuisse	10.6	11.4	13.7	14.4	17.5	17.7	1.8	1.7
Longue / atteintes								
13. Épaisseur poitrine	21.4	21.4	24.2	24.2	29.7	27.6	2.5	1.9
14. Coude-bout des doigts	38.5	44.1	42.1	47.9	46.0	51.4	2.2	2.2
15. Atteinte fonctionnelle	64.0	76.3	71.0	82.5	79.0	88.3	4.5	5.0
16. Fesse – genou (assis)	51.8	54.0	56.9	59.4	62.5	64.2	3.1	3.0
17. Fesse-creux poplité(assis)	43.0	44.2	48.1	49.5	53.5	54.8	3.1	3.0
Tête								
18. Largeur	13.6	14.4	14.54	15.42	15.5	16.4	0.57	0.59
19. Circonférence	52.3	53.8	54.9	56.8	57.7	59.3	1.63	1.68
20. Distance inter pupillaire	5.1	5.5	5.83	6.2	6.5	6.8	0.44	0.39
Main								
21. Longueur	16.4	17.6	17.95	19.05	19.8	20.6	1.04	0.93
22. Largeur (métacarpe)	7.0	8.2	7.66	8.88	8.4	9.8	0.41	0.47
Largeurs								
23. Coude-coude	31.5	35.0	38.4	41.7	49.1	50.6	5.4	4.6
24. Hanches (assis)	31.2	30.8	36.4	35.4	43.7	40.6	3.7	2.8
Pied								
25. Longueur	22.3	24.8	24.1	26.9	26.2	29.0	1.19	1.28
26. Largeur	8.1	9.0	8.84	9.79	9.7	10.7	0.5	0.53
27. Poids corporel (Kg)	46.2	56.2	61.1	74.0	89.9	97.1	13.8	12.6

Des mesures anthropométriques complémentaires au tableau 3.26 ont été élaborées pour une population d'adultes âgés de 20 à 65 ans de différents centiles et sexes.

Les mesures pour les postures normales et de face ( sujet debout ) pour les hommes et les femmes sont données à la fig ( 3.32 ) respectivement à la fig ( 3.34 ).

Les mesures pour les postures normales et de profil ( sujet debout avec les mains et les pieds dans deux positions différentes ) pour les hommes et les femmes sont données à la fig(3.33) respectivement à la fig (3.35).

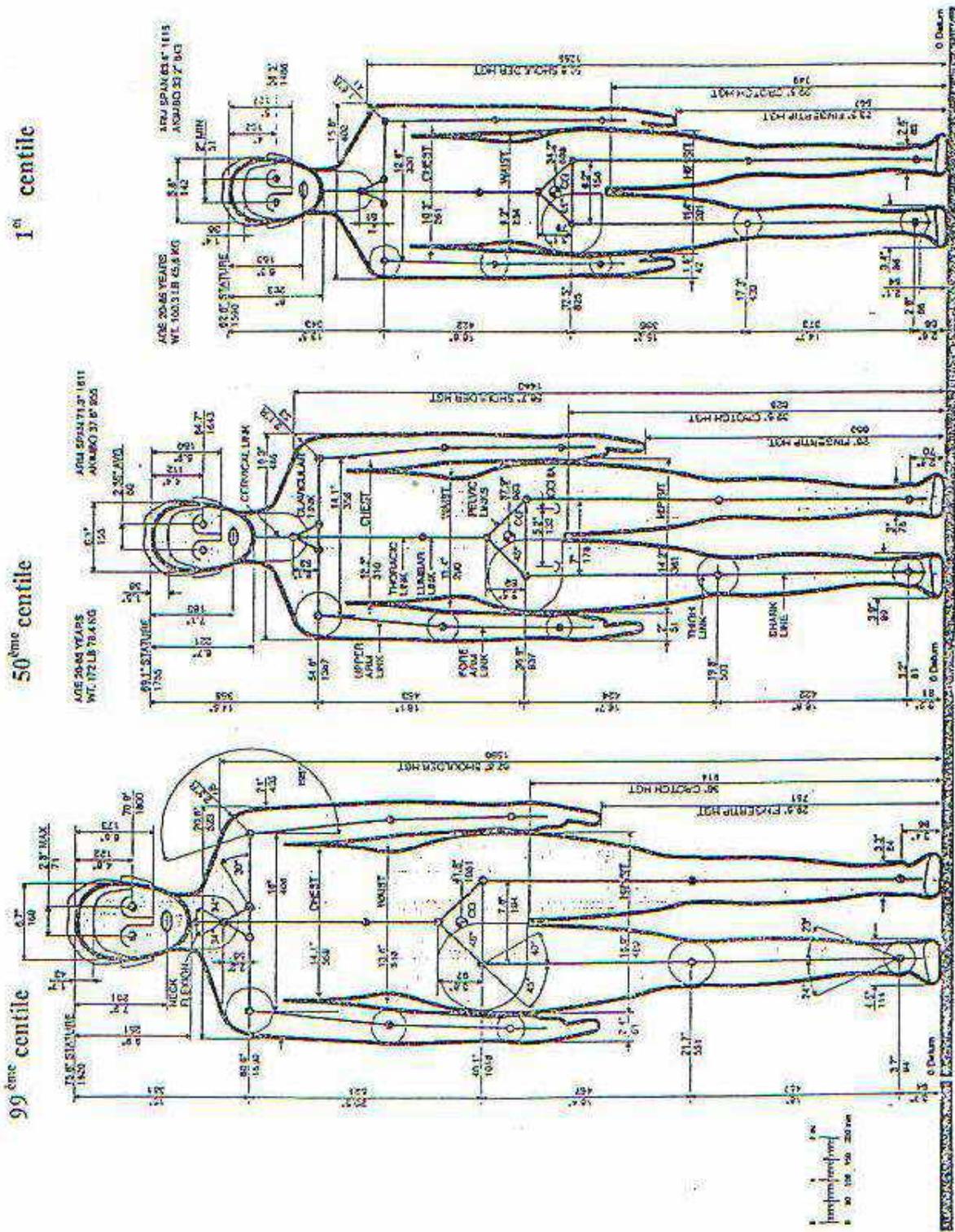


Fig 3.32

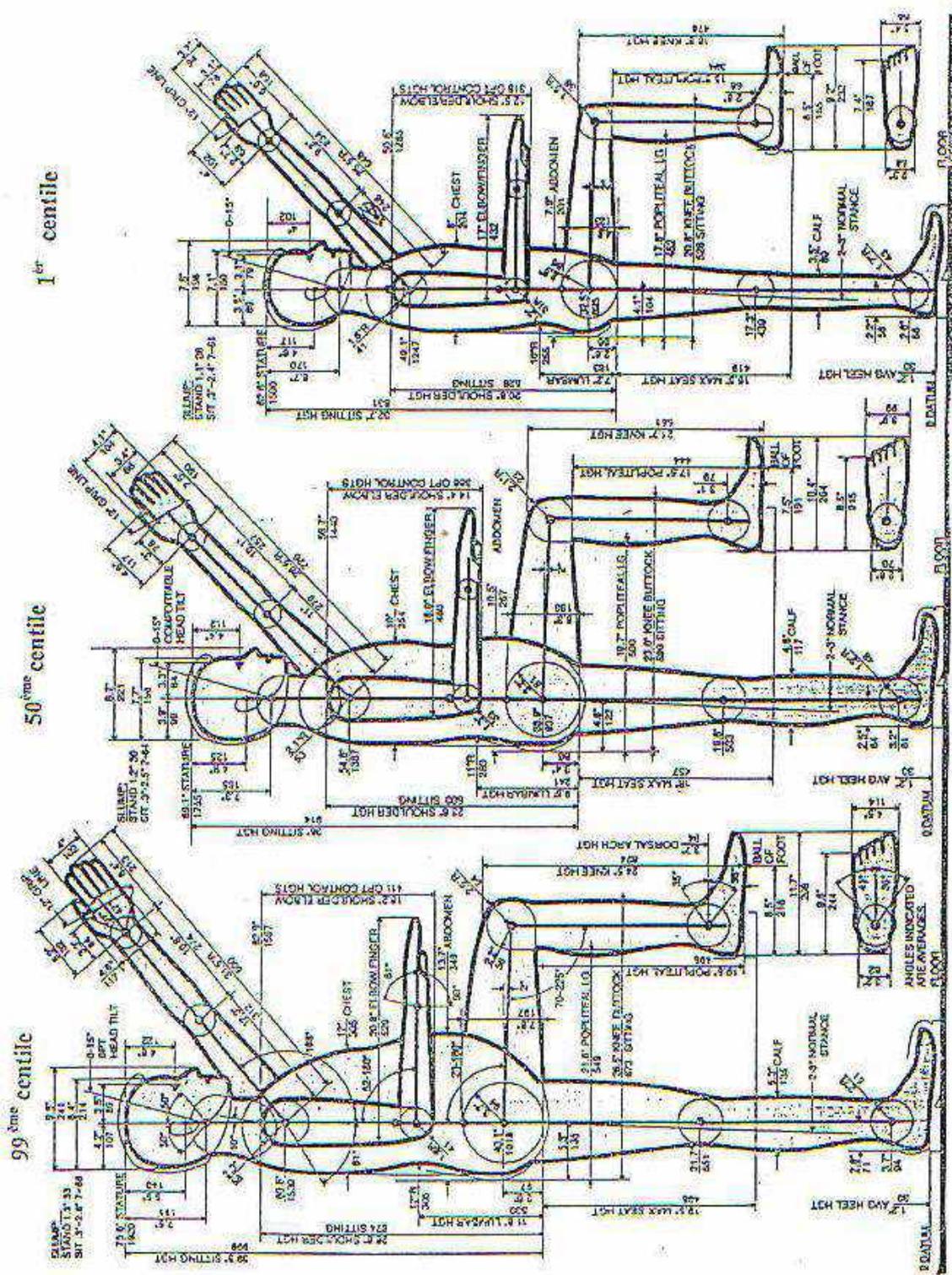


Fig 3.33

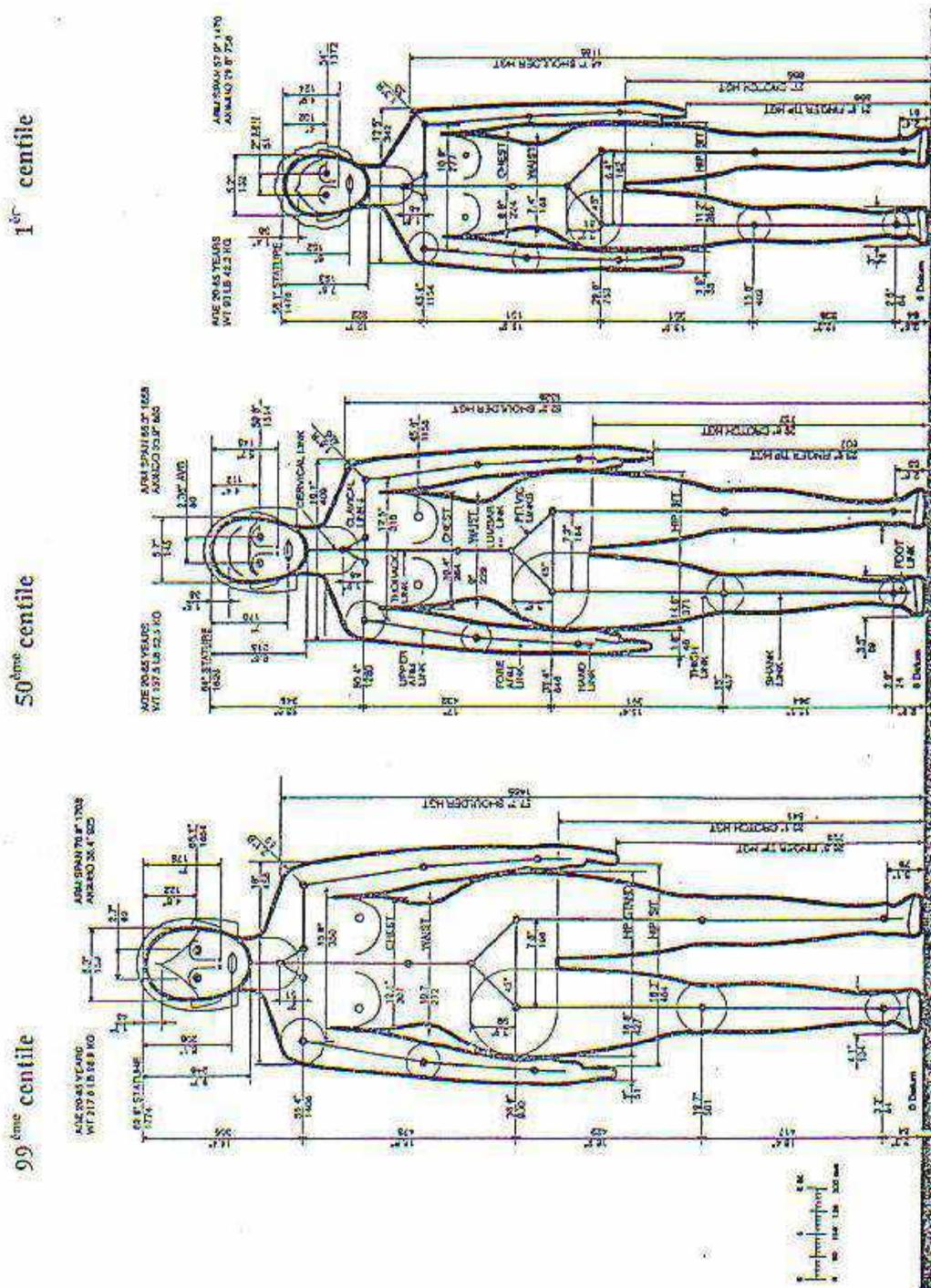


Fig 3.34

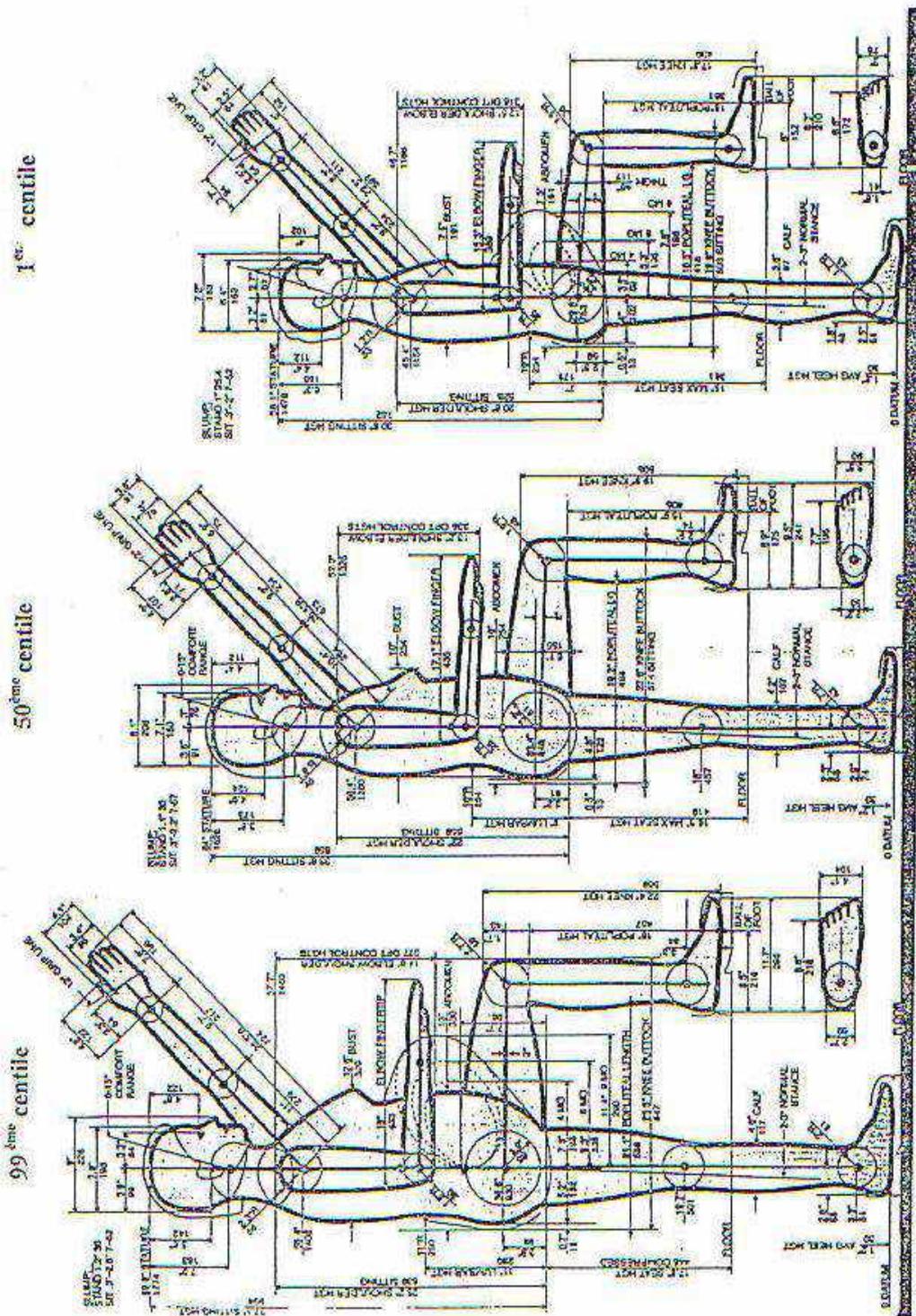


Fig 3.35

## Exemples

1) Déterminer la hauteur de l'estrade AB à partir des relations géométriques entre l'opérateur ( population des aviateurs de 50<sup>ème</sup> centile ) et l'équipement, fig(3.36), sachant que la hauteur DF = 260 cm, la longueur du bac est de 50 cm et que la distance CE = 100 cm.

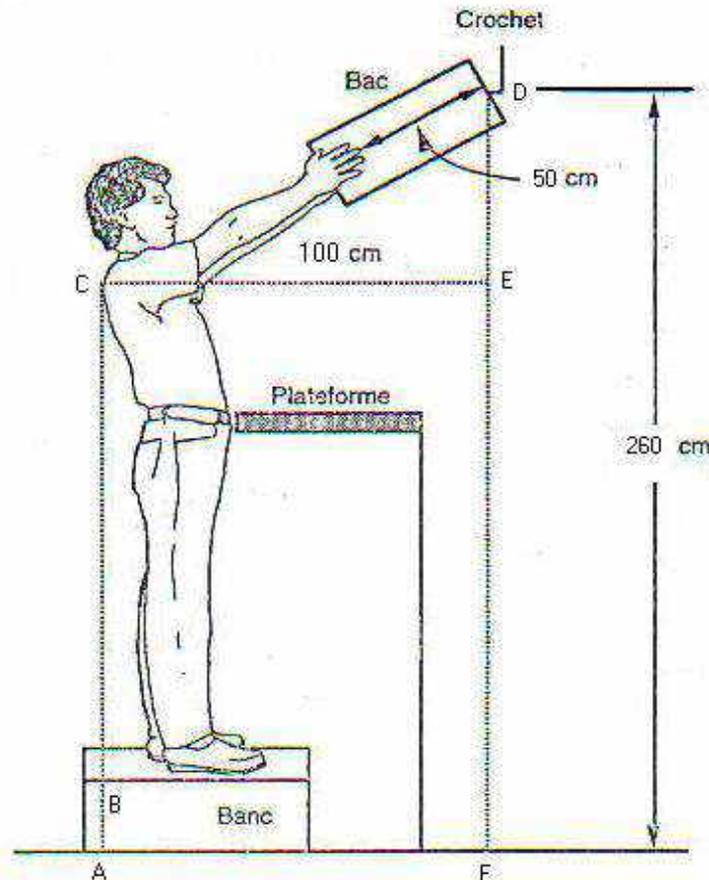


Fig 3.36

Tenant des données anthropométriques ( voir tableaux 3.23 et 3.5 ), la longueur CD est obtenue par:

$$CD = 89,4 + 50 = 139,4 \text{ cm}$$

et

$$CB = 145,2 + 2,5 = 147,7 \text{ cm}$$

2,5 est un ajustement ajouté pour les chaussures.

La distance DE sera déterminée en utilisant le théorème de Pythagore.

$$DE = \sqrt{CD^2 - CE^2}$$

$$DE = 97,12 \text{ cm}$$

$$D' \text{ où la distance } EF = DF - DE = 260 - 97,12$$

$$EF = 162,88 \text{ cm}$$

Par la suite, on calcule la hauteur de l'estrade  $AB = EF - CB = 162,88 - 147,7$

$$AB = 15,18 \text{ cm}$$

2) Partant des dimensions géométriques pour une population de femmes de 5<sup>ème</sup> centile, fig (3.37), déterminer les distances A, B, C, D, et E.

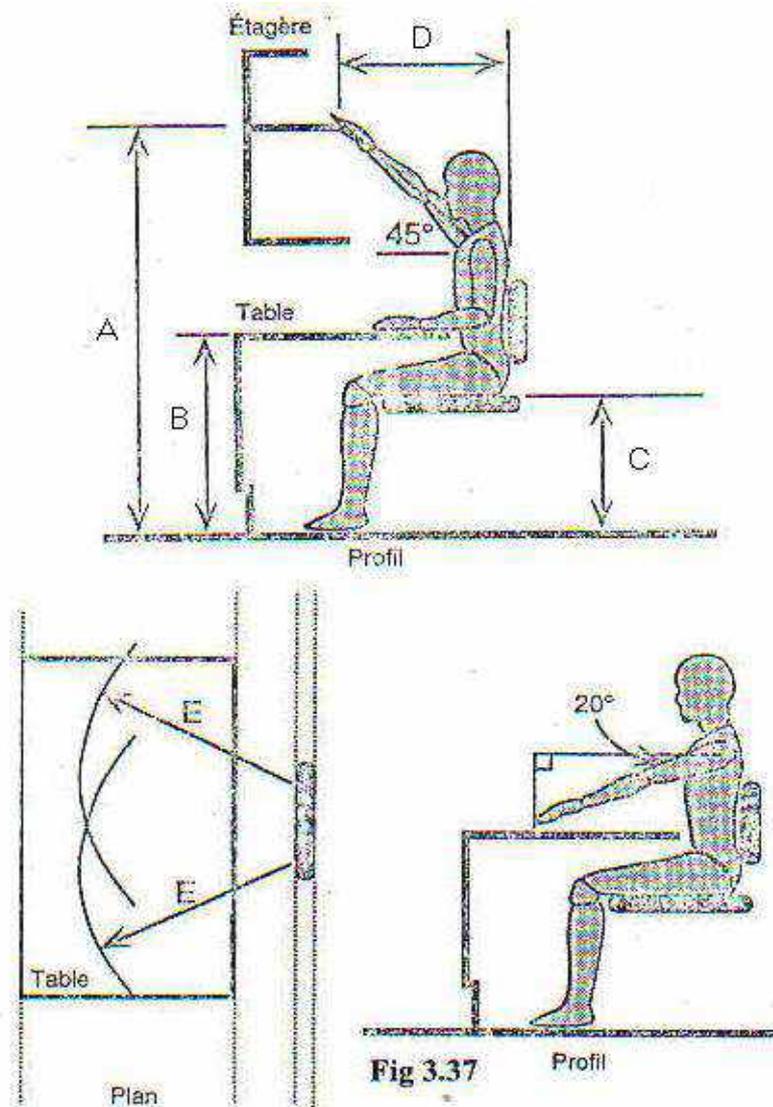


Fig 3.37 Profil

La distance C sera obtenue en utilisant le tableau 3.12,  $C = 36$  cm;

La distance B sera obtenue en ajoutant la hauteur du coude ( c ) qui est retirée du tableau 3.16.

$$B = C + c = 36 + 18$$

$$B = 54 \text{ cm}$$

La distance D est obtenue par un calcul géométrique, sachant que la portée maximale du bras ( d ) est prise du tableau 3.23 .

$$D = d \cdot \sin 45^\circ = 75,4 \cdot \sin 45^\circ$$

$$D = 53,31 \text{ cm}$$

La distance A est obtenue par un calcul géométrique, sachant la portée maximale du bras, de la hauteur coude-épaule ( a : retirée du tableau 3.15 ) .

$$A = B + a + d \cdot \cos 45^\circ = 54 + 31 + 53,31$$

$$A = 138,31 \text{ cm}$$

La distance E est obtenue à partir de la fig ( 3.37 ),

$$E = d \cdot \cos 20^\circ = 70,85 \text{ cm}$$

### 3.7.2. Mesures dynamiques ( fonctionnelles )

Les mesures dynamiques sont des mesures anthropométriques qui reflètent les postures corporelles de l'être humain. Ces mesures telles que les enveloppes d'atteinte, les dimensions des ouvertures et des voies d'accès pour les activités d'entretien et la position des membres dans certaines postures etc... représentent des données importantes pour les concepteurs. La description des données fonctionnelles pour l'homme adulte est présentée dans les tableaux suivants en fonction de chaque dimension .

a) **Portée horizontale, sujet allongé à plat**

Représente la distance horizontale minimale mesurée entre les extrémités du pied et de la main, lorsque le sujet est couché et les jambes, les cuisses, le tronc, les bras et les mains sont allongées au maximum sur le sol, fig ( 3.38 ). Les données sont illustrées au tableau 3.27.



**Fig 3.38**  
**Portée horizontale (sujet allongé à plat)**

Portée horizontale en cm ( sujet allongé )

Tableau 3.27

Sujets	Centile		
	5 <sup>ème</sup>	50 <sup>ème</sup>	95 <sup>ème</sup>
<b>Hommes</b>	215,1	228,8	243,3

b) **Hauteur tête, sujet allongé à plat ventre**

Représente la distance verticale mesurée entre le point le plus haut de la tête et le sol, lorsque le sujet est allongé, fig ( 3.39 ). Les données sont illustrées au tableau 3.28.



**Fig 3.39**  
**Hauteur tête (sujet allongé à plat ventre)**

Hauteur tête en cm ( sujet allongé à plat ventre )

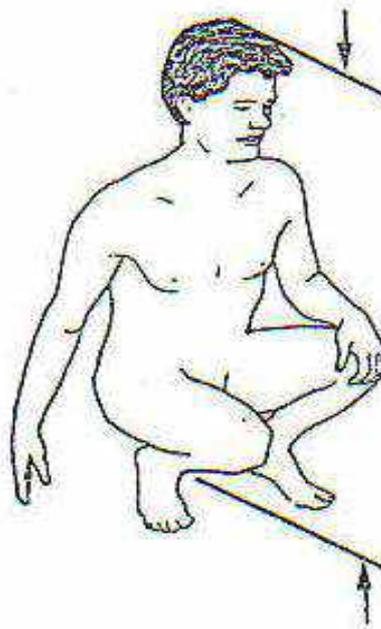
Tableau 3.28

Centile		
---------	--	--

	5 <sup>ème</sup>	50 <sup>ème</sup>	95 <sup>ème</sup>
<b>Hommes</b>	31,2	63,8	41,6

c) **Stature, sujet accroupi**

Représente la distance verticale du plancher jusqu’au sommet de la tête, lorsque le sujet est accroupi en équilibre sur ses orteils avec le dos redressé, fig ( 3.40 ). Les données sont illustrées au tableau 3.29.



**Fig.3.40**  
**Stature en cm ( sujet accroupi )**

Stature en cm ( sujet accroupi )

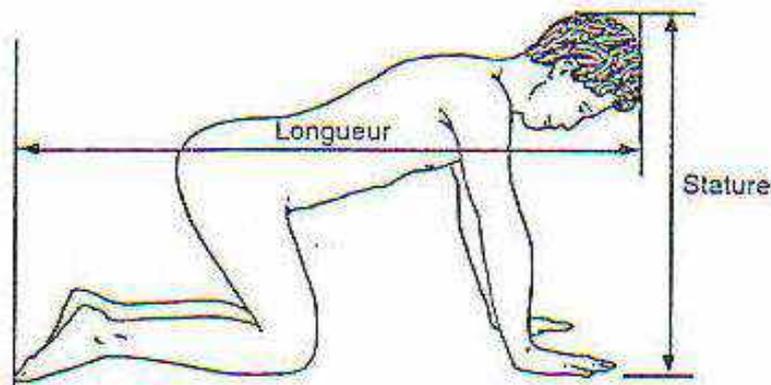
Tableau 3.29

Centile

Sujets	5 <sup>ème</sup>	50 <sup>ème</sup>	95 <sup>ème</sup>
Hommes	103,6	110,7	119,4

d) **Stature et longueur, sujet rampant**

Le sujet reflète la position de marche à quatre pattes dont la stature est représentée par la distance verticale entre le point le plus haut de la tête et le sol par contre la longueur est représentée par la distance horizontale entre le point le plus loin de la tête et l'extrémité du pied, fig ( 3.41 ). Les données sont illustrées au tableau 3.30.



**Fig.3.41**  
**Stature et longueur en cm ( sujet rampant )**

*Stature et longueur en cm ( sujet rampant )*

*Tableau 3.30*

Centile	
---------	--

Sujets	5 <sup>ème</sup>	50 <sup>ème</sup>	95 <sup>ème</sup>
Longueur <b>Hommes</b>	125,2	135,1	147,8
Stature <b>Homme</b>	66,8	72,1	77,5

### 3.7.3. Considérations de la grossesse

La grossesse fait que certaines activités se font avec des difficultés. Alors que la grossesse avancée conduit à limiter les activités de la femme ( se pencher ou atteindre un objet ). Les dimensions du corps changent durant la grossesse, d'où la nécessité de cette situation dans chaque étape de conception d'un équipement ou d'un poste de travail . Pheasant prévoit deux dimensions anthropométriques importantes illustrées au tableau 3.31

#### Données anthropométriques pour une population de femmes enceintes en mm

Tableau 3.31

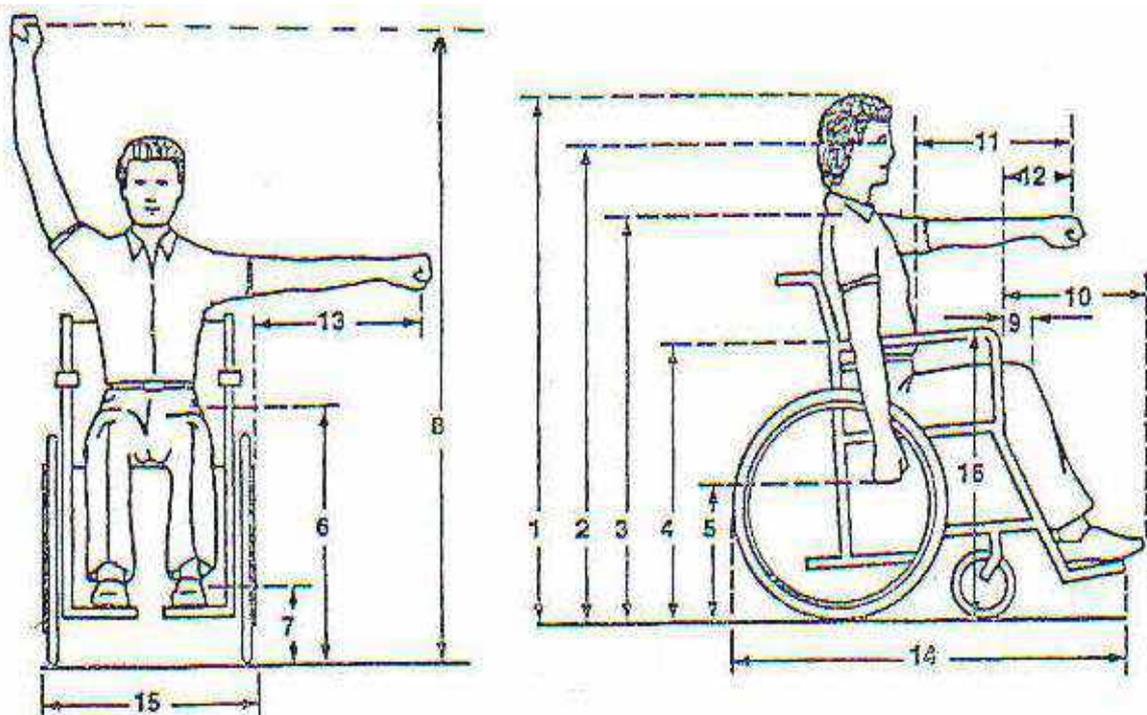
Dimension	Mois de grossesse							
	2-3	4	5	6	7	8	9	10
<b>1. Portée arrière abdomen</b>								
5 <sup>ème</sup> centile	195	41	22	25	27	30	31	330
50 <sup>ème</sup> centile	245	0	5	0	5	0	5	375
95 <sup>ème</sup> centile	295	26	28	30	32	34	36	425
$\sigma$	29	0	0	0	0	5	0	28
<b>2.Portée arrière Poing</b>		31	33	35	36	38	40	
5 <sup>ème</sup> centile	390	0	5	0	0	5	5	260
50 <sup>ème</sup> centile	460	29	34	29	26	26	27	330
95 <sup>ème</sup> centile	530							400
$\sigma$	42	37	35	33	32	29	28	42
		5	0	5	0	5	0	
		44	42	40	38	36	34	
		5	5	5	5	0	5	
		51	50	47	45	42	41	
		5	0	5	0	5	0	
		42	46	42	40	40	41	

### 3.7.4. Données anthropométriques pour un fauteuil roulant

Goldsmith, a observé que les fauteuils roulants sont utilisés par les handicapés de trois manières:

- 1) L'existence de la condition pour laquelle il doit utiliser le fauteuil roulant;
- 2) La hauteur de l'œil de ces individus est environ 40 cm plus basse que la population en position debout;
- 3) L'utilisateur prend un espace encombrant semblable avec celui pris par les véhicules.

Pour des raisons ergonomiques, il faut tenir compte de certaines modifications à apporter aux niveaux des portées horizontales, des accès, des zones de dégagement et des dimensions des plans de travail. Les principales mesures anthropométriques d'une population d'utilisateurs de fauteuil roulant sont données à la fig (3.42) et au tableau.3.32.



**Fig 3.42**

*Données anthropométriques pour un fauteuil roulant en mm*

*Tableau 3.32*

Dimensions	Homme				Femme			
	Centile				Centile			
	5ème	50ème	95ème	$\sigma$	5ème	50ème	95ème	$\sigma$
1. Plancher – vertex	1260	1335	1410	45	1180	1265	1355	53
2. Plancher – oeil	1150	1220	1290	43	1080	1160	1235	50
3. Plancher – épaule	965	1080	1100	40	910	985	1065	47
4. Plancher – coude	625	685	745	37	610	670	730	36
5. Plancher – doigt(jointure)	370	435	500	41	330	405	480	45
6. Plancher – dessus cuisse	620	650	680	18	565	600	635	21
7. Plancher – dessus pied	120	150	180	19	165	190	215	16
8. Plancher – portée verticale poing	1550	1665	1785	71	1460	1570	1680	67
9. Genou - devant fauteuil	80	140	200	37	55	120	180	37
10. Orteil - devant fauteuil	360	435	505	43	305	370	435	40
11. Portée horizontale poing(abdomen)	370	455	540	51	330	410	490	49
12. Portée horizontale poing(devant fauteuil)	250	315	385	41	175	240	305	39
13. Portée horizontale poing(côté fauteuil)	580	645	710	38	520	580	640	37
	Minimum		Moyenne		Maximum			
14. Longueur fauteuil	915		1075		1445			
15. Largeur fauteuil	560		615		645			
16. Hauteur appui-bras	705		735		770			

### 3.7.5. Méthodologie d'applications anthropométriques

Pour la conception, il est préférable de présenter les données anthropométriques en centile. Les valeurs extrêmes sont des cas limites qui ne peuvent pas être considérées dans plusieurs applications. Partant d'un ensemble de mesures obtenues pour une caractéristique anthropométrique donnée, les centiles peuvent être calculés comme suit:

- Déterminer la moyenne « m »;
- Déterminer l'écart type «  $\sigma$  »;
- Déterminer la valeur de z correspondante au centile recherché.

L'application des données anthropométriques exige la suivie des étapes suivante:

- 1) Déterminer les dimensions corporelles importantes pour la conception de l'équipement, du produit ou du poste de travail;
- 2) Définir la population des utilisateurs;
- 3) Sélectionner le centile de la population à accommoder;
- 4) Pour chacune des dimensions corporelles identifiées:
  - \* trouver la donnée anthropométrique dans la table correspondante;
  - \* appliquer cette donnée;
  - \* faire les ajustements nécessaires ( vêtement, chaussures, etc....).

Les mesures anthropométriques ont une distribution raisonnablement normale (ou de Gauss ). Les statistiques paramétriques habituelles s'appliquent dans la plupart des cas.

L'écart type est une mesure statistique paramétrique très utile en anthropométrie car il décrit la dispersion (ou la variabilité) d'une mesure anthropométrique autour de la valeur moyenne de cette mesure. Par exemple, autour d'une valeur moyenne de 173,6 cm, les valeurs de taille des hommes nord-américains se dispersent de façon symétrique selon un écart-type de 6,9 cm. Ainsi, d'après la fig (3.43), on peut affirmer que 68% des hommes nord-américains ont une taille comprise entre 166,7 cm (moyenne-1écart-type=173,6-6.9) et 180,5 cm (moyenne + 1 écart-type = 173,6 + 6,9). De la même façon,95% des hommes nord-américains ont une taille comprise entre 159,8 cm (moyenne -2 écart-types = 173,6 - 2 x 6,9) et 187,4 cm (moyenne + 2 écart-types = 173,6 + 2 x 6,9).

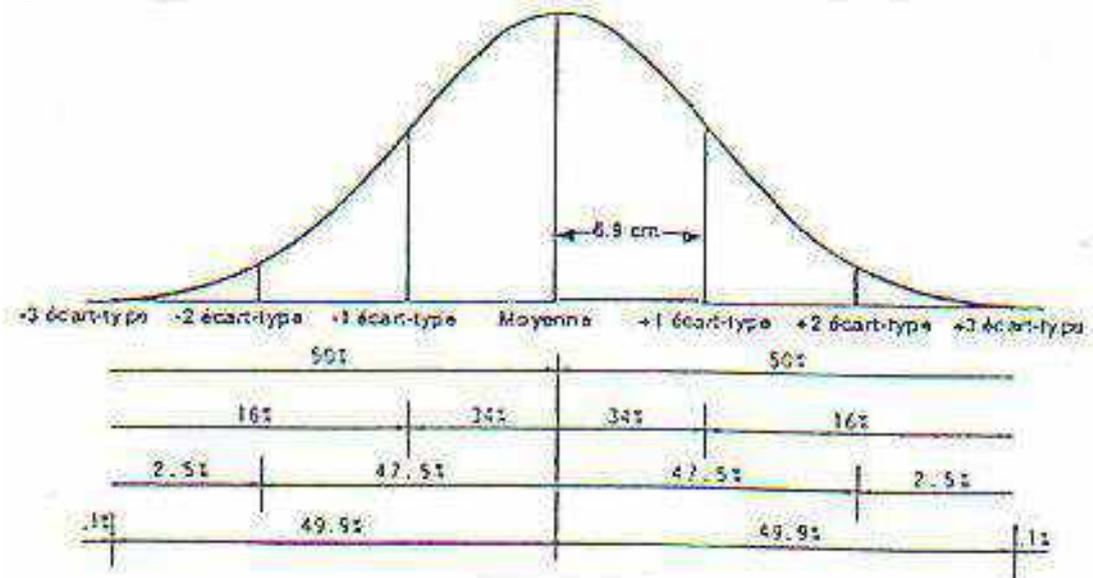


Fig 3.43

Les vrais valeurs de la moyenne ( $\mu$ ) et de l'écart type ( $\sigma$ ) d'une mesure anthropométrique ne sont jamais connus pour une population. Ainsi, par une stratégie d'échantillonnage de cette population, on estime avec une précision qui est fonction entre autres de la taille de l'échantillonnage, la moyenne de la mesure dans la population ( $\mu$  estimée par  $m$ , la moyenne de l'échantillon) et l'écart type ( $\sigma$  estimé par  $s$ , l'écart type de l'échantillon). Par conséquent, on estime les paramètres d'une population à partir des paramètres calculés sur un échantillon.

A l'aide de la transformation donnée à la fig (3.44), par application de la loi normale centrée réduite  $N(0; 1)$ , on peut estimer la proportion ( $p$ ) des individus de la population pour lesquels la mesure anthropométrique est plus petite ou égale à une valeur donnée ( $X$ ). Cette proportion s'obtient à partir de la valeur  $Z$  apparaissant au tableau .3.33.

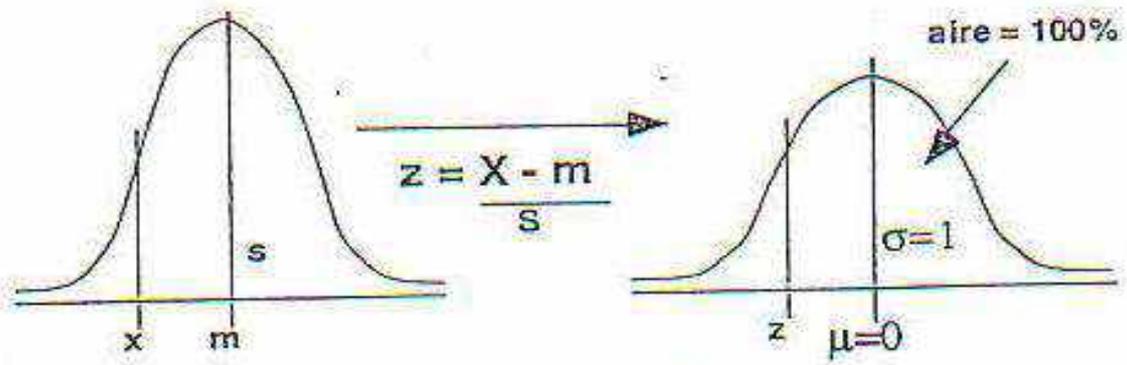


Fig 3.44

Valeurs de p et de z pour une distribution normale N ( 0 : 1 )

Tableau 3.33

P	Z	P	Z	P	Z	P	Z
---	---	---	---	---	---	---	---

1	-2.33	26	-0.64	51	0.03	76	0.71
2	-2.05	27	-0.61	52	0.05	77	0.74
3	-1.88	28	-0.58	53	0.08	78	0.77
4	-1.75	29	-0.55	54	0.10	79	0.81
5	-1.64	30	-0.52	55	0.13	80	0.84
6	-1.55	31	-0.50	56	0.15	81	0.88
7	-1.48	32	-0.47	57	0.18	82	0.92
8	-1.41	33	-0.44	58	0.20	83	0.95
9	-1.34	34	-0.41	59	0.23	84	0.99
10	-1.28	35	-0.39	60	0.25	85	1.04
11	-1.23	36	-0.36	61	0.28	86	1.08
12	-1.18	37	-0.33	62	0.31	87	1.13
13	-1.13	38	-0.31	63	0.33	88	1.18
14	-1.08	39	-0.28	64	0.36	89	1.23
15	-1.04	40	-0.25	65	0.39	90	1.28
16	-0.99	41	-0.23	66	0.41	91	1.34
17	-0.95	42	-0.20	67	0.44	92	1.41
18	-0.92	43	-0.18	68	0.47	93	1.48
19	-0.88	44	-0.15	69	0.50	94	1.55
20	-0.84	45	-0.13	70	0.52	95	1.64
21	-0.81	46	-0.10	71	0.55	96	1.75
22	-0.77	47	-0.08	72	0.58	97	1.88
23	-0.74	48	-0.05	73	0.61	98	2.05
24	-0.71	49	-0.03	74	0.64	99	2.33
25	-0.67	50	0	75	0.67		

P	Z	P	Z
2.5	-1.96	97.5	1.96
0.5	-2.8	99.5	2.58
0.1	-3.09	99.9	3.09
0.01	-3.72	99.99	3.72
0.001	-4.26	99.999	4.26

Par exemple, sachant que la taille moyenne des femmes nord- américaines ( m ) est de 160,5 cm et que l'écart type ( s ) de cette mesure anthropométrique est de 6,6 cm, on peut affirmer qu'une proportion de 5% des femmes sera de taille plus petite ou égale à:

$$160,5 - 1,64 \cdot (6,6) = 149,7 \text{ cm}$$

où - 1,64 est la valeur z correspondant à p = 0,05 ( ou 5% ) tirée du tableau 3.33.

Une femme dont la taille est de 149,7 cm serait donc plus grande qu 5% des femmes de la population mais aussi, plus petite que 95% des femmes de la population. La démarche inverse est également intéressante. Ainsi, la proportion des femmes ayant une taille inférieure à 173,6 cm qui représente la valeur moyenne de la taille pour les hommes qui se calcule comme suit:

- en premier lieu, il faut transformer la valeur de taille de 173,6 cm pour en obtenir la valeur z correspondante à :

$$z = ( m_1 - m_2 ) / s = ( 173,6 - 160,5 ) / 6,6 \approx 2$$

où 2 est la valeur z. Du tableau 2.33 , on observe bien que cette valeur z correspond de près à une valeur p = 98%. Par conséquent, 98% des femmes ont une taille inférieure à 173,6 cm.

La valeur **centile** est la base de la description des mesures anthropométriques. Elle permet d'associer une proportion de la population à une valeur d'une mesure anthropométrique. La valeur centile (et non percentile qui est tiré de l'anglais) est la valeur d'une variable (ex : taille ) en dessus de laquelle il y a une proportion connue de toutes les valeurs (ex : 5%) et au delà de laquelle il y a des valeurs restantes (ex : 95%). Les valeurs centiles les plus utilisées en anthropométrie sont: 1 - 2,5 - 5 - 50 - 95 - 97,5 et 99 . La moyenne correspond au 50<sup>ème</sup> centile.

On calcule la valeur d'une donnée anthropométrique en appliquant la transformation suivante:

$$X(\text{en cm}) = m + s \cdot z$$

où z est fonction de la valeur centile d'intérêt.

Les valeurs de z et de p correspondants sont illustrées au tableau 3.34

**Tableau 3.34**

centile	P	z	portion centile couverte	K = 2z
30	70	0,524	40	1,045
25	75	0,674	50	1,349
20	80	0,842	60	1,683
15	85	1,036	70	2,073
10	90	1,282	80	2,563
5	95	1,645	90	3,290
2,5	97,5	1,960	95	3,920
1,0	99	2,326	98	4,653
0,5	99,5	2,576	99	5,152

Exemple:

- Pour trouver la valeur 95<sup>ème</sup> centile, on utilise z = 1,645.

Si m = 173,6 cm et que s = 6,9 cm alors la plage d'ajustement est :

s x z = 6,9 cm x 1,645 = 11,4 cm et la valeur 95<sup>ème</sup> centile est 173,6 cm + 11,4 cm = 185 cm .

- Pour trouver la plage d'ajustement pour une portion centrale symétrique accommodant 90% du même groupe, alors la plage d'ajustement est:

sx ( 2 K ) = 6,9 cm x 3,29 = 22,7 cm d'ajustement

La conception d'un modèle du corps humain à partir des valeurs centiles des données anthropométriques n'est pas une approche appropriée. Une telle approche résulte généralement en erreurs de conception importantes.

### 3.8. Force musculaire

La description des grandeurs liées à la force musculaire est basée sur les notions statistiques, telles que la moyenne et l'écart-type. Les données de la force musculaire sont

souvent indispensables pour la conception des équipement , machines et outillages. Les forces musculaires sont concernées par la biomécanique en ce qui concerne les postures et les dimensions du corps humain.

### 3.8.1 Description de la force musculaire

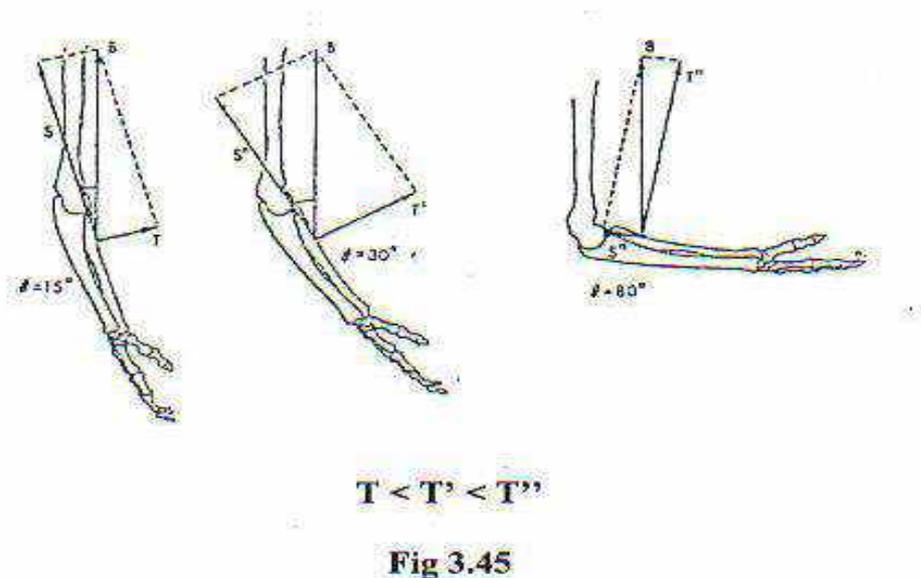
La force musculaire peut être considérée comme le moment maximum qu'un muscle est capable de développer autour d'une articulation qu'il met en mouvement. La force musculaire est mesurable toujours par un instrument.

La force musculaire est dite dynamique lorsqu'elle est mesurable sur un objet en mouvement. Mais lorsque la force est appliquée sur un objet fixe, la mesure effectuée est isométrique et elle est dite statique. Vue les difficultés rencontrées pour mesurer les forces musculaires dynamiques, il est recommander aux concepteurs d'être vigilants lors de l'utilisation des grandeurs de la force statique, lorsque les segments corporels sont en mouvement dont leur inertie ou leur vitesse ont un rôle important sur la force extérieure que sur la force statique.

La force statique est d'une part supérieure à la force musculaire dynamique mais d'autre part elle est inférieure à la force dynamique résistante.

La force dynamique maximale à développer sur un objet en mouvement est fonction de la vitesse de mouvement.

Le mouvement entraîne un changement de posture, l'effet qui modifie les bras de levier internes des muscles au centre de l'articulation d'où de changer l'avantage mécanique des muscles qui travaillent. Par conséquent, la force que peut exercer un muscle dépend de la posture. La posture qui offre le plus grand effort a un avantage mécanique supérieur, fig ( 3.45 ).



### 3.8.2 Force musculaire statique

La force musculaire statique représente la force maximale volontaire (CMV) qui peut être développée par un muscle ou un ensemble de muscles. Cette force diminue en fonction de la durée de la contraction, fig ( 3.46 ).

La durée de maintien d'un effort musculaire statique donné est fonction de l'intensité de cet effort comme le montre la fig(3.46). Un effort nécessitant l'utilisation de 50% de la capacité musculaire (50% de la CMV) ne peut être maintenu plus d'une minute en moyenne. Au bout d'une minute, la fatigue est telle au niveau du muscle qui travaille que l'effort ne peut plus être maintenu .

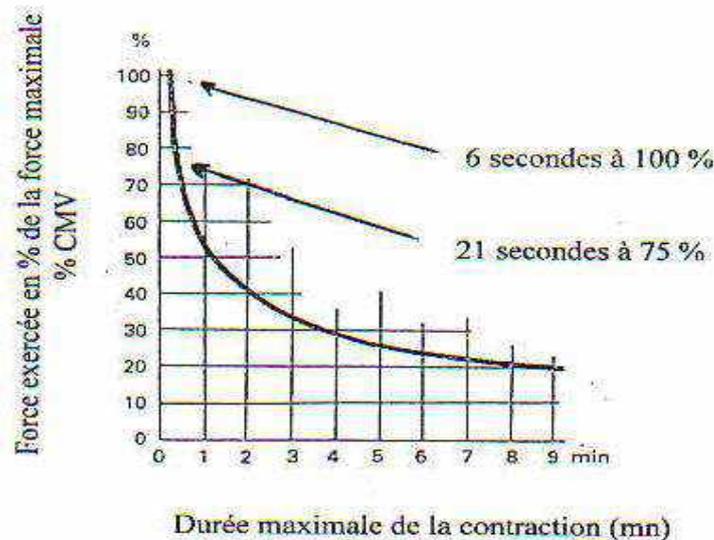


Fig 3.46

On remarque aussi que la force statique varie en fonction de la position angulaire des segments corporels .

Le travail statique est généralement associé à une conception déficiente du poste de travail. Les postures illustrées à la fig (3.47) impliquant un travail musculaire statique.

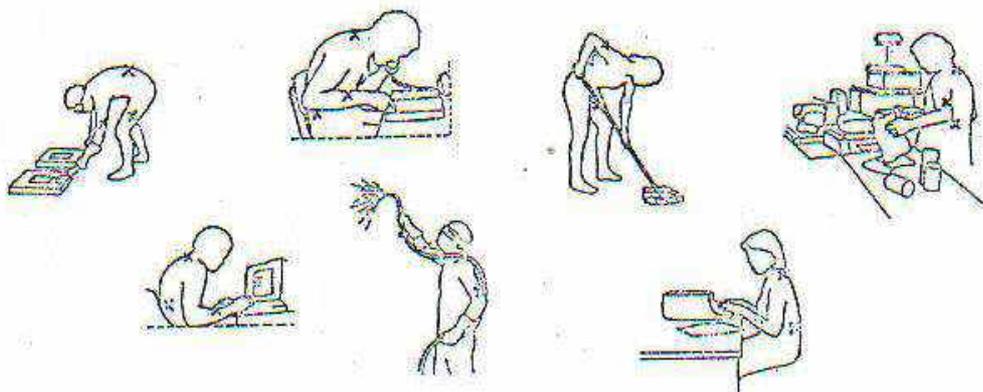
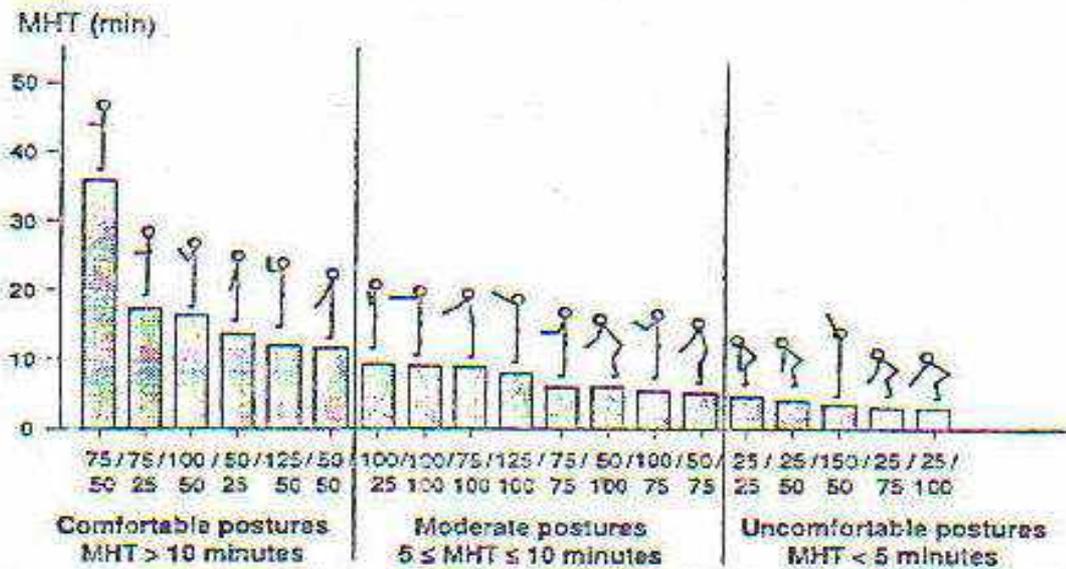


Fig 3.47

Postures impliquant du travail statique

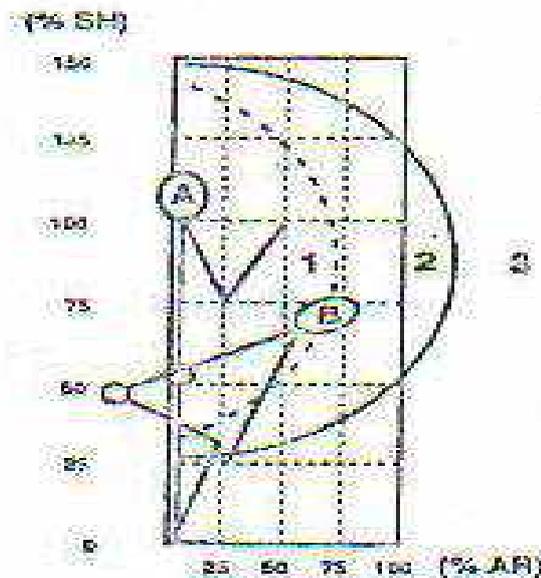
Les tâches nécessitant une attention visuelle élevée (ex : surveillance d'un procédé) ou une grande précision des gestes (ex : gestes rapides) entraînent souvent une fixité de la posture à laquelle un travail musculaire statique important est associé.

Miedema, Douwes et Dul (1997) fournissent des directives sur la durée acceptable de maintien en statique pour 19 postures symétriques debout. Leurs recommandations sont résumées aux figures suivantes.



**Fig 3.48**

Graduation des postures selon les valeurs moyennes des temps du maintien maximum (MHT). Le temps maximale de maintien recommandé est 20% de MHT.



**Fig 3.49**

Recommandation concernant le temps du maintien maximum (MHT) des postures statique. --- = Ligne de démarcation entre les postures non confortables et modérés. --- = Ligne de démarcation entre les postures modérés et confortables. 1 = Positions des mains des postures confortables avec MHT supérieur à 10mn et un temps du maintien maximum recommandé de 2mn maximum. 2 = Positions des mains des postures modérés avec MHT entre 5 et 10mn et un temps du maintien maximum recommandé d'une minute maximum. 3 = Positions des mains des postures non confortables avec MHT inférieur à 5mn ce qui n'est pas conseillé. La personne **A** adopte une posture confortable et la personne **B** adopte une posture non confortable.

Les postures sont souvent combinées des applications de force sur des objets. Le tableau qui suit donne des exemples d'allocations de repos selon la posture et les efforts appliqués durant le travail (BIT, 1981). Ces allocations ont beaucoup servi à établir des standards de temps.

Tableau 3.35

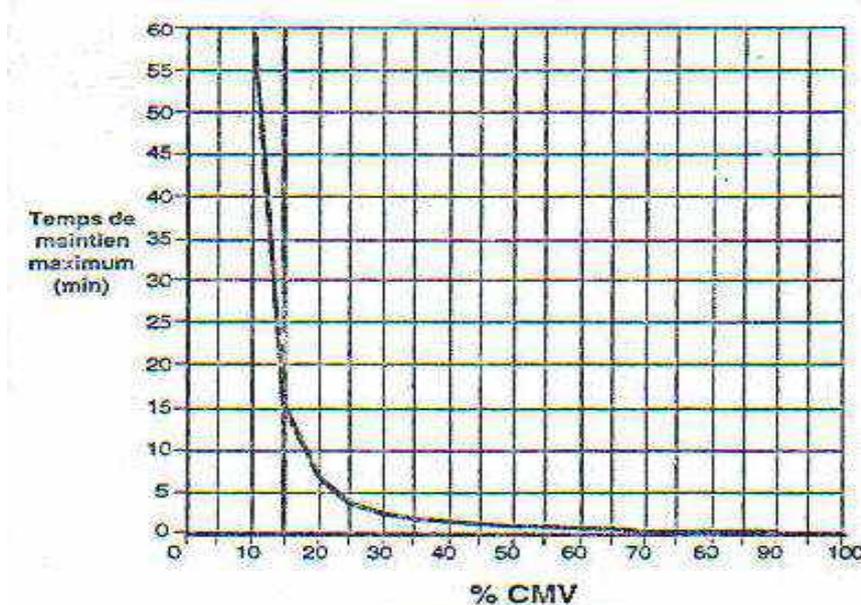
POSITION		EFFORT EN KG										
Cas : effort simple	Cas : effort combiné	0 à 1	1 à 3	3 à 6	6 à 10	10 à 15	15 à 20	20 à 25	25 à 30	30 à 35	35 à 40	40 à 45
⊥ E		1,08	1,09	1,10	1,12	1,14	1,16	1,18	1,20	1,22	1,24	1,26
	⊥ E	1,11	1,12	1,13	1,15	1,17	1,19	1,21	1,23	1,25	1,27	1,29
⊥		1,13	1,14	1,15	1,17	1,19	1,21	1,23	1,25	1,27	1,29	1,31
⊥	⊥	1,15	1,16	1,17	1,19	1,21	1,23	1,26	1,28	1,30	1,32	1,34
	⊥	1,17	1,18	1,19	1,21	1,24	1,26	1,28	1,30	1,32	1,34	1,36
⊥		1,19	1,20	1,21	1,24	1,26	1,28	1,30	1,32	1,35	1,37	1,39
⊥	⊥	1,24	1,25	1,26	1,28	1,30	1,32	1,35	1,37	1,39	1,42	1,44
⊥		1,26	1,27	1,28	1,30	1,33	1,35	1,37	1,40	1,42	1,44	1,46
	⊥	1,28	1,29	1,30	1,33	1,35	1,37	1,40	1,42	1,44	1,47	1,49
⊥	⊥	1,32	1,33	1,35	1,37	1,40	1,42	1,44	1,47	1,49	1,52	1,54
	⊥	1,39	1,40	1,41	1,44	1,46	1,49	1,51	1,54	1,56	1,59	1,61

Ces allocations indiquent par exemple, que la posture penchée est plus fatigante et donc qu'on doit allouer un temps de repos plus long au travailleur lorsqu'il travaille dans cette posture par rapport à une posture plus droite.

**Efforts intermittents et fatigue**

Le temps maximum (en minutes ) qu'un effort statique peut être maintenu est fonction du %CMV (proportion de la Contraction Maximale Volontaire ou Taux d'Utilisation Musculaire : TUM) et est donné par la relation ci-contre (Rohmert, 1973).

Le %CMV décrit l'intensité relative de l'effort musculaire fourni pour appliquer une force sur un objet.



**Fig 3.50**

Cette relation peut être décrit par :

$$T = -1,5 + \frac{2,1}{fCMV} - \frac{0,6}{fCMV^2} + \frac{0,1}{fCMV^3}$$

Le temps de récupération (en minute) associé à un effort statique est donné par (Rohmert, 1973) :

$$T_{\text{récup}} = 18 \left[ \frac{t}{T} \right]^{1,4} [fCMV - 0,15]^{0,5} [t]$$

où t = temps de maintient réel en minutes (tâche)

T = temps maximum de maintien en minutes tel que calculé plus haut

Kahn et Monod (1989) recommandent : t < T/3 lorsque %CMV > 40% et  
t < 2T/3 lorsque 15% < %CMV < 40%

Force maximale selon l'angle au niveau de l'articulation pour le calcul de la CMV pour les femmes (F) et les hommes (H) (adapté de Kamon, 1982)

	Angle							
	45°		90°		135°		180°	
	H	F	H	F	H	F	H	F
Flexion de l'épaule (Nm)	67	29	68	30	47	21		
Flexion du coude (Nm)	52	24	85	43	60	23		
Extension du dos (Nm)			240	130			250	150
Prise de la main (N)							470	269
Le poignet est à 180° (posture neutre)								
Extension du genou (Nm)	135	93	196	130	174	136		

Notes : Toutes les valeurs sont pour des sujets de moins de 40 ans  
Le coefficient de variation est d'environ 25%

### *Données additionnelles sur la force musculaire maximale*

La fig 3.51 décrit les angles entre les divers segments corporels qui sont utilisés dans le tableau de la page suivante afin de calculer la force maximale au niveau de chaque articulation et ce pour une posture donnée.

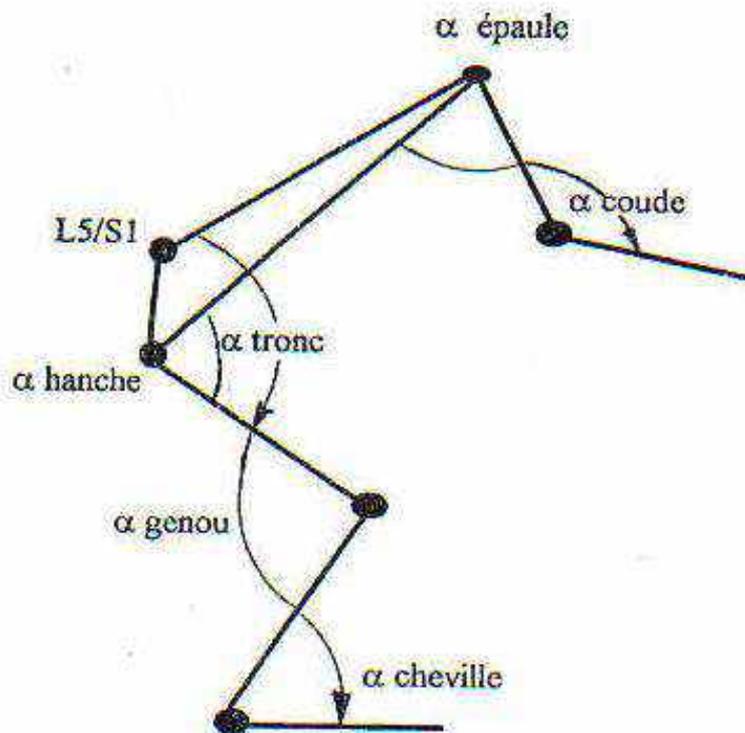


Fig 3.51

### **3.9. Facteurs de variation de la force humaine dans une position de posture**

Quand une activité quelconque, qui demande une dépense considérable d'effort, les mouvements nécessaires à cette activité doivent être organisés de telle façon que les muscles en action puissent développer la plus grande puissance possible afin d'arriver à un maximum d'efficacité et d'habileté.

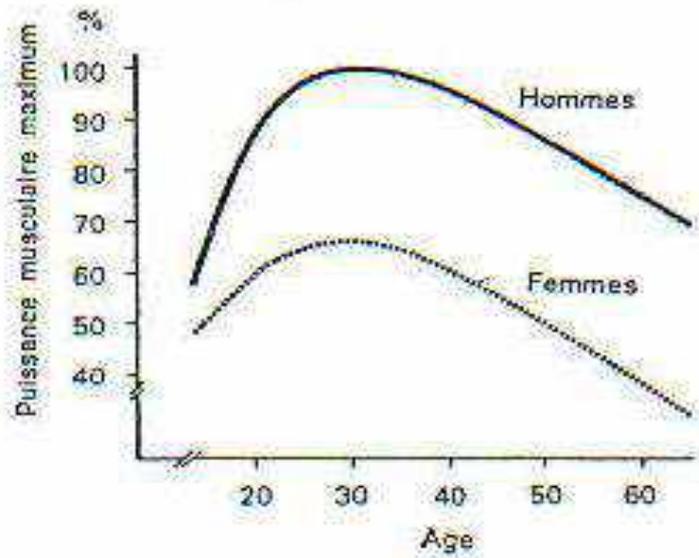
Un muscle développant une plus grande puissance en début de contraction, il est en principe souhaitable de choisir une posture de départ dans laquelle le muscle sollicité se trouve en extension complète. Cette règle a une valeur théorique, car il y a, en pratique, de nombreuses exceptions. On doit en effet tenir compte, aussi, de rôle des os dans l'opération de levage, et, au cas où plusieurs muscles entrent en action, c'est la somme de leurs puissances qui doit être considérée. Dans le dernier cas, la force exercée est en principe se contracte en même temps. La force maximale qu'un muscle peut développer dépend:

- a) de l'âge
- b) du sexe

- c) de la constitution
- d) de l'entraînement;
- e) de la motivation

### 3.9.1 Effets de l'âge et du sexe

Les effets de l'âge et du sexe sur la puissance musculaire sont exposés à la fig ( 3.52 ), pour les hommes, comme pour les femmes, la puissance musculaire est à son maximum entre 20 et 35 ans. Entre 50 et 60 elle n'atteint plus que 75 à 85 % de ce maximum.



**Fig 3.52**  
Effets de l'âge et du sexe

La puissance musculaire moyenne d'une femme représente environ les 2/3 de celle d'un homme. Les forces maximales, susceptibles d'être développées par des hommes et des femmes, faisant intervenir trois groupes de muscles qu'il considère posséder une signification particulière pour l'évaluation de la puissance musculaire humaine. Ces données sont illustrées au tableau 3.35.

**Tableau 3.36**

Fonctions	Homme		Femme	
	Force maxi(kg)	Ecart-type	Force maxi(kg)	Ecart-type
Serrer la main	46	12	28	7
Donner un coup de pied ( le genou étant plié à 90° )	40	6	32	5
Tendre le dos ( étirement )	109	16	74	16

### 3.9.2 Effet de la posture et de la position des segments corporels sur la force maximale

Lorsque l'opérateur est en posture assise, la force qu'il peut exercer varie en fonction de la position des segments du membre par lequel l'effort est exercé. Les données sont illustrées au tableau 3.36.

#### A. Force maximale dans le cas d'un travail assis

D'après la fig ( 3.53 ), on constate que quelle que soit la nature de l'effort , en angle de  $120^{\circ}$  au niveau du coude paraît, en règle générale, être favorable. En outre, on remarque que la nature de l'effort exercé sur la poignée influe très nettement sur la force maximale, l'effort de poussée étant en moyenne, le plus élevé, et l'effort de rotation externe le plus faible.

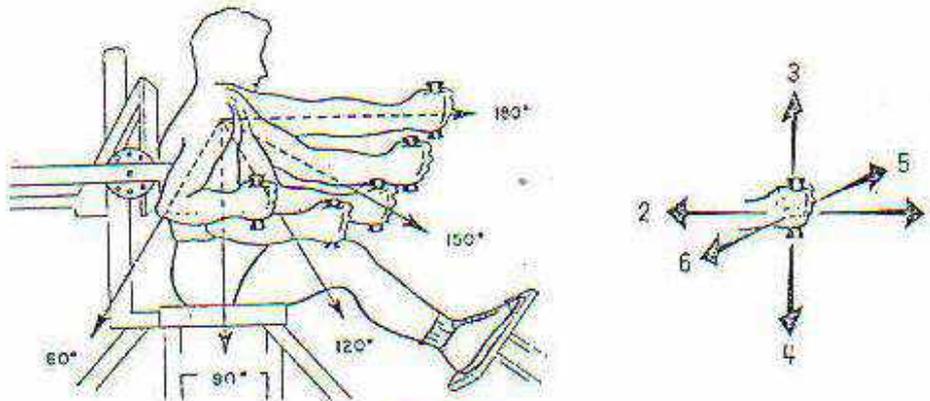
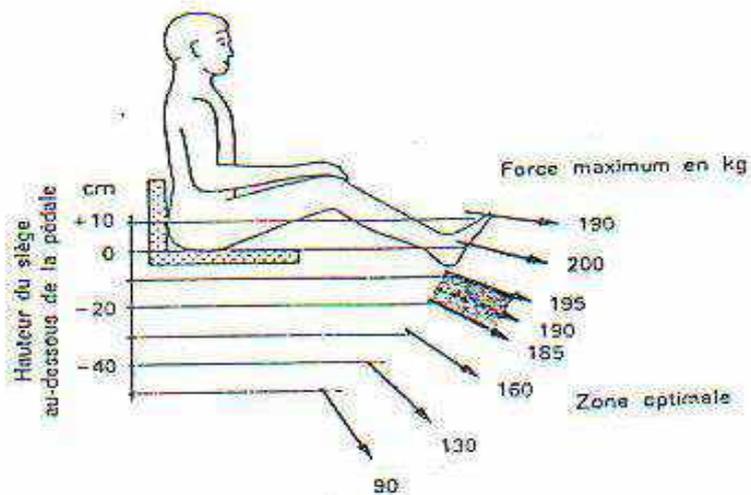


Fig 3.53

Pour chacun des efforts considérés et chacune des mêmes positions en flexion du coude, la force maximale varie en fonction du degré de flexion ou d'adduction horizontale de l'épaule et selon que la main est en pronation ou en supination. La position en supination de la main correspond à la force la plus grande. La force de rotation est maximale quand le geste se fait à 30 cm devant l'axe du corps. La force de la main est nettement supérieure dans un mouvement de traction vers le bas ou dans un mouvement vers le haut. La force de poussée de la main est supérieure à la force de traction et elle est maximale quand le mouvement se fait à 50 cm devant soi. La force de traction est maximale à une distance de 70 cm du corps.

### B. Pression maximum du pied

Quand un mécanisme de commande requiert une force importante, la commande au pied est préférable pour un opérateur assis, la force de poussée des muscles de la jambe étant très grande, fig ( 3.54 ). Les résultats expérimentaux, montrent qu'une force maximale pouvait être obtenue lorsque les genoux sont pliés entre  $140^{\circ}$  et  $160^{\circ}$  et le pied incliné entre  $20^{\circ}$  et  $30^{\circ}$ . Il en déduit que la différence de hauteur entre le siège et la pédale devait être aussi réduite que possible, et que l'emplacement de la pédale devait se situer environ à 90% de la portée totale du pied de l'opérateur.



**Fig 3.54**  
**Pression maximum du pied**

**C. Force maximale pour un travail debout**

D’après la fig ( 3.55 ), et les résultats expérimentaux, on peut constaté que :

- a) quelle que soit la posture, la force de poussée du bras est presque toujours supérieure à la force de traction;
- b) les mouvements de poussée et de traction s’exercent avec plus de force verticalement qu’horizontalement;
- c) les forces de poussée et de traction sont du même ordre de grandeur, que le mouvement soit effectué sur le côté ou devant soi;
- d) dans un plan horizontal, la force de poussée peut atteindre:

- pour les hommes : 16 à 17 kg
- pour les femmes : 8 à 9 kg

**Tableau 3.37**

Nature de l’effort	Angle du coude ( en ° )	Centiles ( kg )			Ecart-type kg
		5ème	50 ème	95ème	
( 1 ) Poussée	60	15,4	41,7	68,0	17,2
	90	16,3	39,0	69,8	15,0
	120	16,3	46,7	78,0	19,5
	150	19,0	55,8	88,0	20,4
	180	22,7	62,6	95,3	22,2
( 2 ) Traction	60	10,9	28,6	33,6	10,4
	90	16,8	39,9	61,2	13,6
	120	19,0	47,2	69,8	14,1
	150	25,4	55,3	85,7	16,3
	180	23,6	54,4	77,6	16,8
	60	9,1	22,2	37,2	8,2
	90	9,1	25,4	48,1	10,0

( 3 ) Elévation	120	10,9	27,2	56,2	10,9
	150	8,2	25,4	53,5	12,7
	180	6,3	19,5	39,9	10,0
( 4 ) Abaissement	60	9,1	23,1	40,4	9,5
	90	11,8	24,0	39,9	9,1
	120	11,8	26,3	44,4	10,4
	150	9,1	21,3	36,3	8,2
	180	7,7	18,6	37,2	8,2
( 5 ) Rotation interne	60	9,1	23,6	39,5	8,6
	90	8,2	22,7	44,0	10,4
	120	10,0	24,0	45,4	11,8
	150	9,1	24,5	47,2	11,3
	180	9,1	22,7	47,2	11,8
( 6 ) Rotation externe	60	7,7	19,0	37,2	9,1
	90	7,3	16,8	30,8	8,2
	120	6,8	15,4	28,1	7,7
	150	6,8	15,0	29,0	8,2
	180	6,3	15,4	28,1	10,9

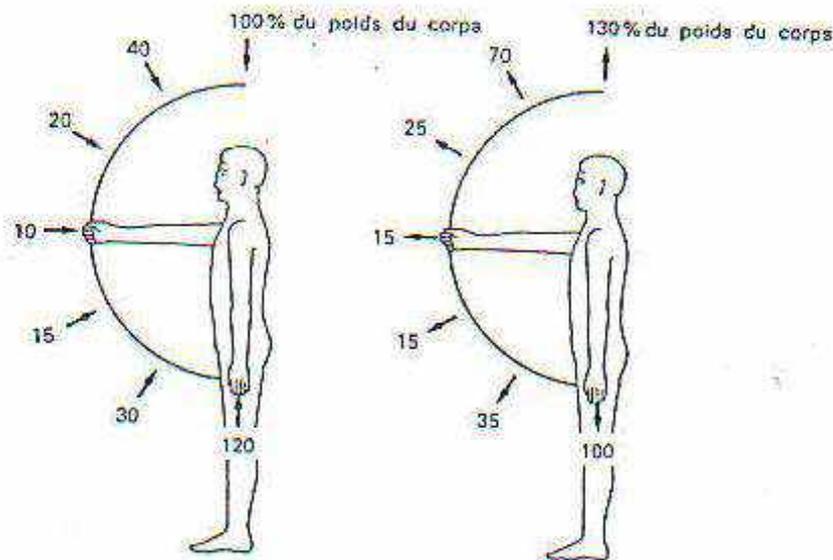


Fig.3.55  
Force maximale pour un travail debout

### 3.10. Prises entre les doigts

Les dimensions de la prise entre les doigts sont données pour les trois types illustrés au tableau 3.38 .

Tableau 3.38

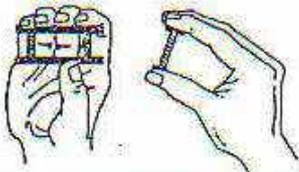
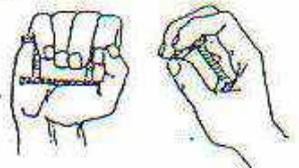
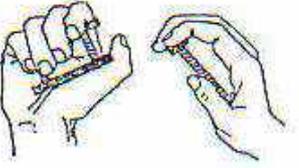
Type de prise	Espace en cm pour les hommes et les femmes			
		5 <sup>ème</sup> centile	50 <sup>ème</sup> centile	95 <sup>ème</sup> centile
Par pincement 	confortable	2,1	4,3	7,9
	Maximum	10,8	12,5	15,0
Prise cylindrique 	confortable	4,5	5,5	5,9
	Maximum	9,5	11,0	13,0
Prise conique 	confortable	3,6	4,5	5,8
	Maximum	9,5	11,0	13,0

Tableau 3.39

**Moyenne  $\bar{x}$  et l'écart -type  $s$  pour une force statique maximale des membres du corps humain**

Caractéristiques	$\bar{x}$	$s$
Prise de la main ( pression en Kg )		
Travailleur dans d'industrie: la main de l'homme est préférée	53.1	7.0
: la main de la femme est préférée	33.6	4.7
Etudiants à l'école : main droit de l'homme	49.0	9.5
: main gauche de l'homme	43.1	8.2
Couple de torsion manuel (cm.Kg) exercé sur une poignée striée (homme)		
Diamètre du poignée ( cm ) 0,6	1,4	0,4
1,3	3,3	1,0
1,9	6,7	2,4
2,5	8,4	2,6
3,8	10,6	2,7
5,1	15,1	3,5
7,6	34,4	9,8
10,2	50,3	12,5
12,7	70,1	18,9
Force des doigts de la main droite de l'homme		
Le pouce contre l'objet	7,3	1,7
L'index contre l'objet	5,9	1,3
Le majeur contre l'objet	6,4	2,0
L'annulaire contre l'objet	5,0	1,7

le petit doigt contre l'objet	3,2	1,1
Le pouce contre le bout de l'index	9,6	2,3
Le pouce contre le coté de l'index	10,5	2,2
<b>Bras droit tiré horizontalement (Kg ), pour un opérateur masculin assis</b>		
Angle de coude 180° ( bras droit tendu )	54,9	16,8
150°	55,3	16,3
120°	47,2	14,1
90°	39,9	13,6
60°	28,6	10,0
<b>Bras droit poussé horizontalement (Kg ),pour un opérateur masculin assis</b>		
Angle de coude 180° ( bras droit tendu )	62,6	22,2
150°	55,8	20,4
120°	46,7	19,5
90°	39,5	15,0
60°	41,7	17,2

- Les forces au niveau des pieds au delà de 267 N provoquent aussi la fatigue.

Les facteurs de réduction de la force humaine en pourcentage sont déterminés en fonction :

- \* **Position** : voir fig ( 3.48 ); fig ( 3.49 ); fig ( 3.50 ) et fig ( 3.51 );
- \* **Age** : si l'adulte a l'âge plus que 60 ans, la force se réduit à 50%;
- \* **Sexe** : généralement la femme a 75% alors que l'homme a une force supérieure;
- \* **Stress** : utilise 66% de sa force maximum pour une opération sans fatigue;
- \* **Durée** : utilise 50% de la force maximale si la force doit être soutenue sans douleur;
- \* **Fréquence** : utilise 33% de la force maximale si la force doit être utilisée avec une fréquence discontinue;
- \* **Fatigue** : les forces au niveau des mains qui sont supérieures à ( 133,4 à 178 N ) provoque la fatigue;

La force maximale fournie par la main et appliquée sur un levier dans une posture appui en arrière représente ( 100% de la position donnée à la fig( 3.47) ,même les autres positions peuvent avoir une valeur de 100% ).

Un homme fort fournit (1001 N);  
 Un homme fournit ( 614 N) pour un travail moyen;  
 Un homme faible fournit ( 151 N )

La force maximale fournie par le pied et appliquée sur une pédale dans une posture appui - lambaire ( 100% de la position donnée à la fig( 3.54 ) ,même les autres positions peuvent avoir une valeur de 100% ).

Un homme fort fournit (1930 N);  
Un homme fournit ( 1352 N) pour un travail moyen;  
Un homme faible fournit ( 774 N )

**Note:** Pour mieux concevoir les équipement il faut utiliser des valeurs réduites.

## CHAP.IV.

### **CONCEPTION DES POSTES DE TRAVAIL ET LEURS ENVIRONNEMENTS**

*Page*

4.1.	Introduction	.....	2
4.2.	Choix de la posture de travail	.....	3
4.3.	Hauteur du plan de travail	.....	4
4.4.	Conception d'un poste pour un travail de précision assis.....		6
4.4.1.	Travail de bureau	.....	7
4.4.2.	Travail de bureau courant	.....	7
4.5.	Travail debout et assis	.....	8
4.5.1.	Plan de travail incliné (penché)	.....	10
4.5.2.	Plan de travail vertical	.....	11
4.5.3.	Hauteur de portée du bras	.....	12
4.5.4.	Portée horizontale du bras sur un plan de travail.....		13
4.5.5.	Espace de maintenir les objets	.....	13
4.5.6.	Espace de manœuvre pour les jambes	.....	14
4.6.	Travail assis et conception des sièges	.....	15
4.6.1.	Avantages et inconvénients d'un travail assis	.....	15
4.6.2.	Maux du dos	.....	16
4.6.3.	Positions du dos; sujet assis	.....	17
4.6.4.	Effet de l'inclinaison du dossiers sur le dos	.....	18
4.6.5.	Importance du dossier et des appuis – bras	.....	20
4.6.6.	Principes fondamentaux pour la conception des sièges...		20

## CHAPITRE.IV

# CONCEPTION DES POSTES DE TRAVAIL ET LEURS ENVIRONNEMENTS

### 4.1. Introduction

La conception des postes de travail ( outils, machines, équipements etc...), représente la phase la plus importante qui touche directement le comportement des organes de l'être humain lors du déroulement de son activité dans un poste de travail. D'une façon qu'une bonne conception d'un poste de travail se traduit par un travail soulagé avec un maximum de confort et de santé permettant d'augmenter la productivité et le rendement de l'employé.

L'ensemble des méthodes et techniques qui concourent à la définition matérielle du poste de travail a deux objectifs essentiels:

#### a) Prévention des accidents:

Ces accidents qui ont pour origine le non-respect par le système matériel de l'une ou de plusieurs exigences de la tâche: exigences visuelles, gestuelles et posturales. Ces exigences concourent à assurer, d'une part des conditions biomécaniques, physiologiques et psychologiques optimales, d'autre part la finalité économique du travail, c'est à dire la fabrication à réaliser ou le service à assurer.

#### b) Prévention des altérations de la santé

Généralement, les troubles articulaires ou circulaires, qui résultent des postures et des efforts incorrects maintenus pendant le temps excessif. Ceci concerne tous les postes assis en bureaux ou en ateliers.

L'étude des aspects matériels est bien souvent l'occasion pour l'ergonomie et le préventif d'étudier, ou de faire étudier les autres aspects essentiels du poste : organisation de la tâche, co-organisation des tâches interdépendantes.

Analyse d'un poste de travail

L'analyse du travail portera plus particulièrement sur les quatre points suivants :

- la description et le découpage des différentes composantes de la tâche ;
- la recherche des différentes exigences visuelles, leurs conséquences sur la définition générale de la posture ;
- la description de l'activité gestuelle et des forces exercées ;

- les relations entre la tâche étudiée et celle des autres postes liés.

Les silhouettes de la fig (4.1) constituent un système simple pour codifier les postures, et éventuellement leur évolution durant la journée de travail. Il est judicieux de combiner ces observations avec un questionnaire médical sur les troubles posturaux éventuels ( médecin du travail, physiologistes ,etc...) et avec une analyse des dimensions des postes existant.

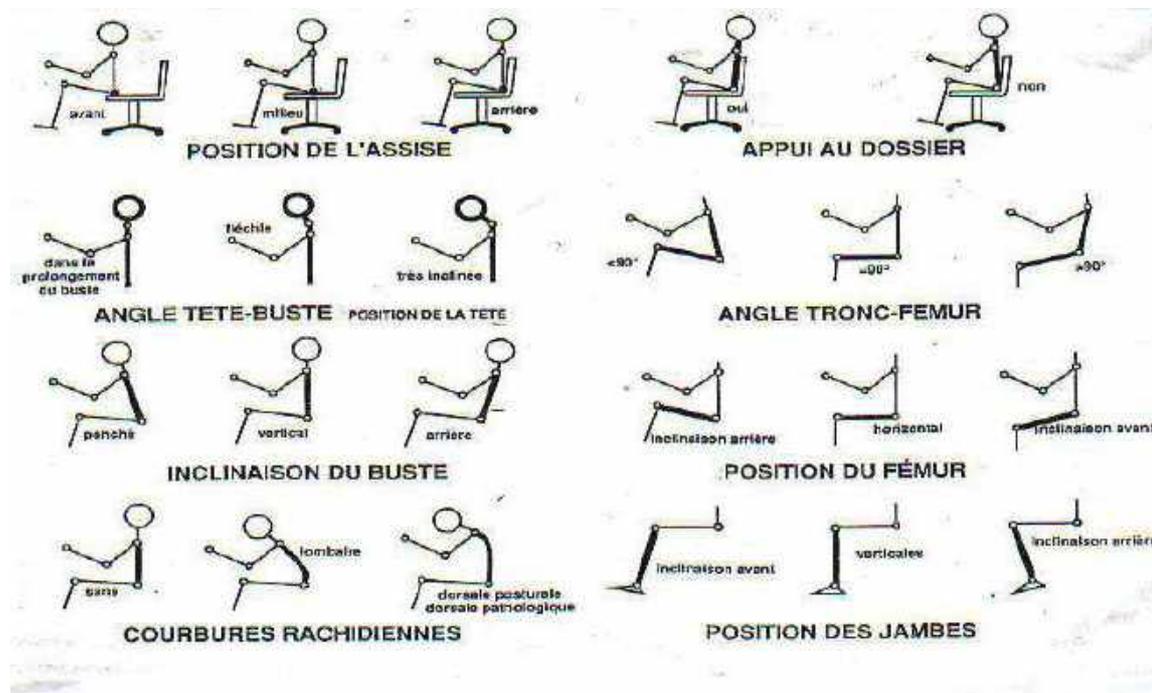


Fig 4.1  
ANALYSE DES POSTURES DE TRAVAIL

## 4.2. Choix de la posture de travail

L'identification de la posture de travail la plus appropriée selon les caractéristiques du poste de travail illustrées dans le tableau 4.1. Les caractéristiques données au tableau, sont examinées deux à la fois en relation avec la posture de travail la plus appropriée ( assis , debout, assis -debout ou debout avec une chaise disponible ).

Plusieurs solutions pour la position des travaux sont acceptables parmi l'ensemble des combinaisons, mais celle la plus appropriée y est recommandée.

Poste assis ou poste debout

- Une posture de travail debout mobile, c'est à dire avec de petits déplacements très fréquents, est admissible, mais des pauses en position assise sont nécessaires.
- Une posture de travail debout immobile n'est pas admissible. Il faut donc dans ce cas aménager le poste pour la posture assise. Mais pour un siège sans effectuer une étude dimensionnelle complète aboutit souvent à l'impossibilité de s'asseoir. Un ou plusieurs des facteurs suivants sont en cause:

- exigences visuelles dispersées;
- tâche gestuelle dispersée: position des commandes, amplitude des gestes;
- forces manuelles excessives ou sur des axes inadéquats;

- absence d'emplacement pour les membres inférieurs;
- taille verticale excessive de la pièce travaillée ( plus de 30 à 40 cm ).

L'aménagement d'un poste de travail nécessite la correction de celle de ces caractéristiques qui s'avèreraient inadéquates.

**Tableau 4.1**

	Efforts et/ou charges élevées	Travail occasionnel	Zone de travail étendue	Tâches variables	Tâche variable du plan de travail	Mouvements répétitifs	Attention visuelle	Manipulations fines	Durée > 4 heures
Effort et / ou charges élevés		D	D	D	D	A/D	A/D	A/D	D/ACD
Travail Occasionnel			D	D	D	A ou A/D	A ou A/D	A ou A/D	A ou A/D
Zone de travail étendue				D	D	A/D	A/D	A/D	D/ACD
Tâches Variables					D	A/D	A/D	A/D	D/ACD
Hauteur variable du plan de travail					A	A	A	A	A
Mouvements Répétitifs						A	A	A	A
Attention Visuelle							A	A	A
Manipulations fines								A	A
Durée > 4 Heures									

Avec :

- A** : assis;
- D** : debout ;
- A/D** : assis- debout ;
- D / ACD** : Debout avec chaise disponible.

### 4.3. Hauteur du plan de travail

La détermination de la hauteur du plan de travail est très importante dans la conception des postes de travail. Si le plan de travail est trop haut, il faut pour compenser lever les épaules, ce qui entraîne des crampes douloureuses au niveau des omoplates, dans le cou et les épaules. Si la hauteur du plan de travail est au contraire insuffisante, le dos sera trop courbé, ce qui provoquera des douleurs dans les muscle du dos. Il faut donc que le plan de travail soit situé à une hauteur adaptée à la taille de l'opérateur, que celui-ci travaille assis ou debout.

La hauteur la plus appropriée, dans les cas d'un travail manuel debout est de 5 à 10 cm au- dessus du niveau du coude. La hauteur moyenne du coude ( distance du sol au coude faisant un angle approprié avec le bras tenu vertical ) est de 105 cm pour les hommes et 88 à 93 cm pour les femmes.

On peut donc conclure qu'une hauteur moyenne du plan de travail de 95 cm à 1m pour les hommes, et de 88 à 93 cm pour les femmes est satisfaisante.

Outre ces considérations anthropométriques, on doit également tenir compte de la nature du travail :

- a) pour un travail précis ( par exemple, le dessin ) il est souhaitable que les coudes soient soutenus afin de réduire les charges statiques dans les muscles du dos. La bonne hauteur du plan de travail est alors de 5 à 10 cm au dessous du niveau du coude;
- b) un opérateur a souvent besoin, pour son travail, d'outils, de matériaux, de récipients variés; l'espace qui leur est réservé doit être situé de 10 à 15 cm au dessous du niveau des coudes;
- c) pour un travail debout qui demande de gros efforts et utilise le poids de la partie supérieure du corps ( travail du bois, assemblage lourd) le plan de travail doit être situé plus bas; de 15 à 40 cm au dessous du niveau des coudes.

Les dimensions conseillées à la fig (4.2) étant fondées sur des mensurations moyennes, sans considération de variations individuelles, doivent servir de référence générale. Les hauteurs de plan de travail citées sont trop hautes pour des personnes de petite taille qui devront alors utiliser une petite estrade. Les opérateurs de grande taille devront au contraire se courber pour travailler, ce qui leur occasionnera des maux de dos.

Les différentes hauteurs de plans de travail recommandées dans le cas d'un travail debout, fig ( 4.2 ).

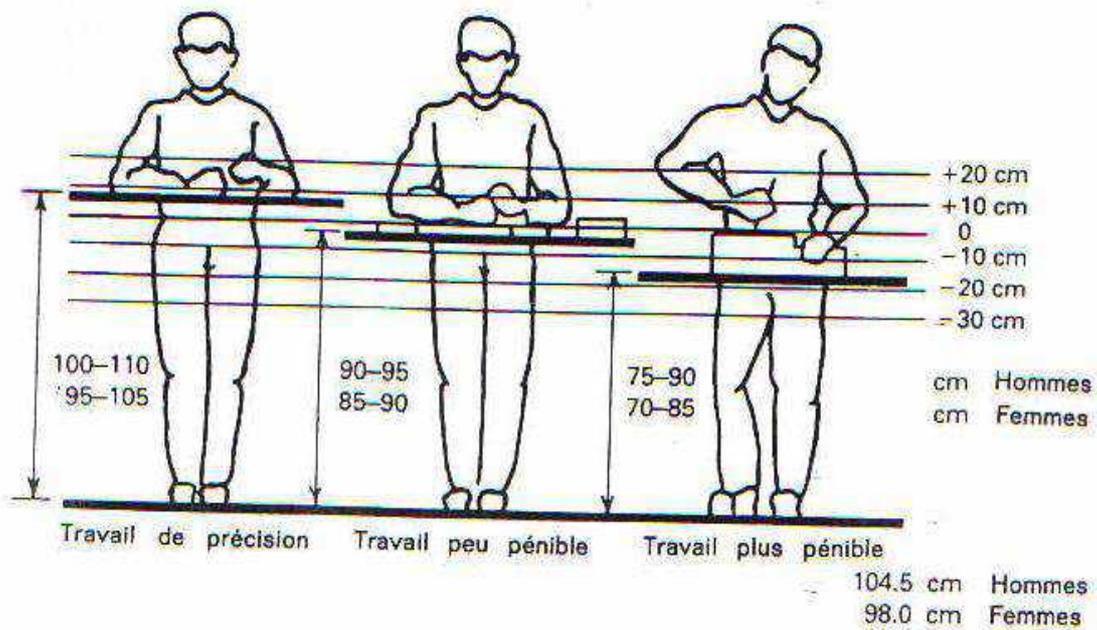


Fig 4.2

Tables de travail réglables

D'un point de vue ergonomique, il est donc souvent souhaitable d'ajuster la hauteur du plan de travail à l'individu, fig (4.3). Les hauteurs de plan de travail conseillées pour des travaux légers en rapport avec la taille des opérateurs. S'il est impossible à une entreprise, pour des raisons administratives ou techniques, d'être équipée d'établissements réglables, ou bien si la hauteur des plans de travail sur les machines ne peut être modifiée, il faut alors prévoir la hauteur des plans de travail en fonction des opérateurs de plus grande taille; les plus petits pouvant utiliser des estrades pour être à la bonne hauteur.

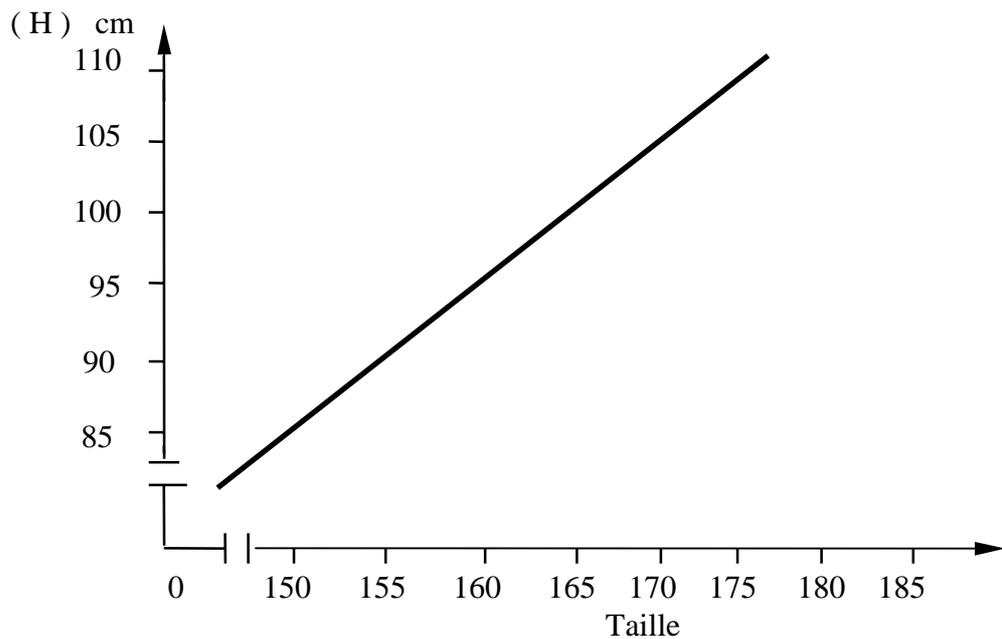


Fig 4.3

4.4. Conception d'un poste pour un travail de précision assis

Pour un travail assis, la hauteur optimale du plan de travail se situe aussi à quelques centimètres au-dessous du niveau des coudes. S'il s'agit d'un travail de manipulation délicate, la

hauteur du plan de travail devra être prévue en tenant compte de la distance de vision optimale, fig ( 4.4 ). L'opérateur doit pouvoir travailler dans une posture correcte sans fatiguer ses yeux.



**Fig 4.4**  
Variation de l'hauteur du plan de travail en fonction de la taille

**4.4.1. Travail de bureau**

Pour un travail exigeant une grande liberté de mouvement et l'application d'une certaine force, il faut par contre abaisser la hauteur du plan de travail. Les travaux de dactylographie nécessitent une table surbaissée, la hauteur du clavier définissant le plan de travail, la table doit être à peine plus haute que le niveau des coudes. Il faut cependant penser à prévoir une place suffisante pour les jambes. Si l'on part de la distance sol-dessus des genoux pour un sujet de grande taille, d'après le tableau 3.12, en tenant compte des talons et de nécessité d'une liberté de mouvements, on obtient les valeurs suivantes concernant la hauteur nécessaire aux genoux:

<b>hommes : ( 59 cm + 5 cm ) = 64 cm</b>
<b>femmes : ( 59 cm + 7 cm ) = 61 cm</b>

En prévoyant 4 cm d'épaisseur de plateau ( sans rebord ), on arrive à une hauteur de table minimum de :

<b>hommes : 68 cm</b>
<b>femmes : 65 cm</b>

Cette hauteur de plan de travail convient aux travaux de dactylographie, à l'utilisation prolongée d'une calculatrice, aux postes de montage lourd, aux manipulations de récipients de toutes sortes ou à des préparations culinaires. Il faut préciser que la distance maximum entre le siège et le dessus de la table doit être de 17cm ( 95% de l'épaisseur des cuisses ).

**4.4.2. Travail de bureau courant**

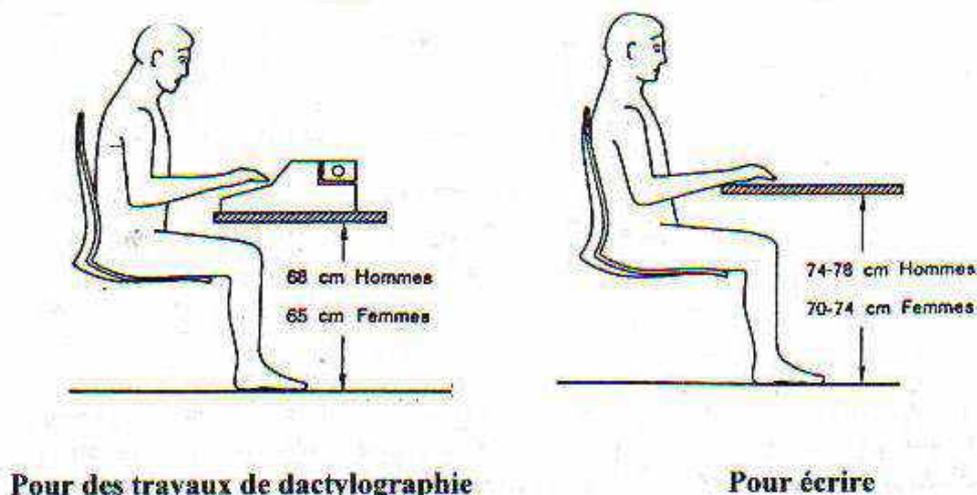
Il est facile de choisir une bonne hauteur de plan de travail quand il s'agit de travail courant, n'impliquant pas de problèmes de distance visuelle, de hauteur de machine, et ne nécessitant pas d'effort physique soutenu. La table convenant à ce type de travail la plus largement répandue est la table de bureau classique utilisée pour lire et écrire. Une légère inclinaison du buste vers l'avant, les bras reposant sur le bureau, est pour ce travail la posture impliquant le minimum de fatigue. Il faut cependant prévoir une distance de 27 à 30 cm entre l'assise du siège et le bureau pour une position du dos tout à fait satisfaisante. Dans une de nos expériences, dont on parlera plus loin, on a pu démontrer que la grande majorité des employés de bureau observés avaient choisi de régler la chaise de telle façon que la distance entre l'assise et le dessus du bureau soit de 27 à 30 cm.

Il ressort de cette étude qu'une personne assise pour travailler recherche d'abord une position confortable permettant au dos d'être détendu, et préférera une hauteur de siège inconfortable pour ses jambes mais bonne pour son dos. Pour déterminer la hauteur des plans de travail pour lire et écrire (mais surtout pas pour taper à la machine), les règles sont les mêmes que pour un travail debout: il est préférable de choisir une hauteur adaptée aux personnes des plus grandes tailles, les plus petites pouvant toujours surélever leur siège pour l'adapter à la table, alors qu'une personnes de grande taille installée à la table trop basse ne peut rien faire, sinon régler son siège tellement bas que la position de ses jambes sera tout à fait inconfortable.

Ces observations permettent de retenir les hauteurs suivantes pour des tables de bureau utilisées sans machine à écrire:

<b>Hommes : 74 à 78 cm</b>
<b>femmes : 70 à 74 cm</b>

En supposant qu'on dispose de sièges réglables et de repose-pieds pour les personnes de petite taille, les tables de travail doivent permettre une grande liberté de mouvement aux jambes, et encore mieux, de pouvoir les croiser. Il faut donc éviter les tiroirs au-dessus des genoux et les rebords trop épais, fig ( 4.5 )



**Fig 4.5**

Les hauteurs de plan de travail recommandées pour un travail assis sont indiquées dans le tableau 4.2.

Tableau 4.2

Type de travail	Hommes	Femmes
Travail de précision	90 - 110	80 - 100
Lecture et écriture	74 - 78	70 - 74
Dactylographie	68	65

#### 4.5. Travail debout et assis

Un poste de travail, permettant à l'opérateur de s'asseoir et de se lever quand il le veut, est très satisfaisant d'un point de vue physiologique et orthopédique. Assis, on a moins de choses à soulever que debout, mais d'un autre côté, au bout d'un certain temps, la position assise occasionne des crampes et un phénomène d'ankylose que l'on peut combattre en se mettant debout. Les positions assise et debout font intervenir des muscles différents, et chaque changement de position permet à certains muscles de se détendre alors que d'autres se contractent et ainsi de suite. On peut aller plus loin, on a en effet de bonnes raisons de penser qu'à chaque passage de la position assise à la position debout et vice versa, il se produit des variations dans l'alimentation des disques intervertébraux; ceci est donc un point positif de plus en faveur du changement de position.

La fig ( 4.6 ), montre une machine permettant d'altérer les positions debout et assise pendant sa manipulation, les dimensions correspondantes sont données au tableau 4.3.

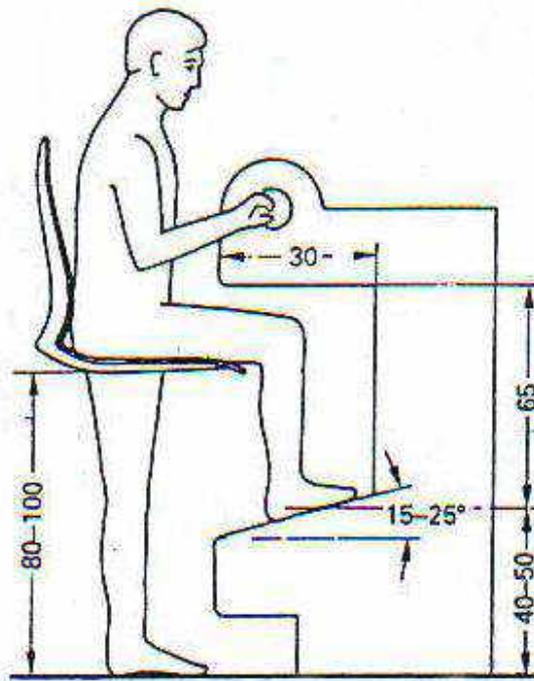


Fig 4.6

Tableau 4.3

Caractéristiques	dimensions en cm
place pour les genoux	30 x 65
hauteur du plan de travail par rapport au siège	30 à 60
hauteur du plan de travail par rapport au sol	100 à 120
plage de réglage du siège	80 à 100

La surface du plan de travail devant rester constamment dans le champ de vision de l'opérateur, doit être placée de telle façon que la position de la tête soit confortable. Une trop grande inclinaison vers l'avant comme vers l'arrière provoque, au bout d'un certain temps, des douleurs dans les muscles du cou. Lehman et Stier se sont penchés sur ce problème, et leurs expériences ont montré que, pour un travailleur assis, la position la plus confortable de la tête était obtenue quand l'angle formé par la ligne de vision et l'horizontale était de 32 à 44°, pour un travail debout, cet angle est de 23 à 37°. Dans ce cas, l'inclinaison de la tête et des yeux est à peu près identique.

La fig (4.7), illustre les principes tirés de cette expérience et montre l'emplacement idéal d'une tâche faisant intervenir de façon importante la vision.

L'inclinaison de la tête ( angle formé par les axes de la tête et du tronc ), pour de tels angles de vision, est de :

a) debout : 8 à 22°
b) assis : 17 à 29°

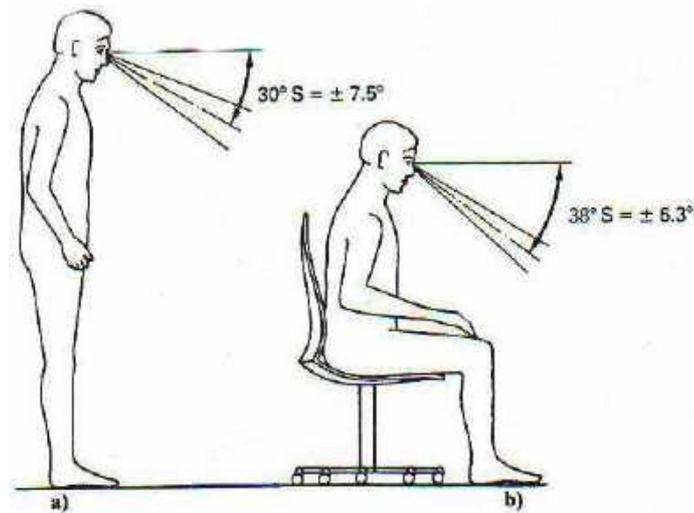


Fig 4.7

S : sous l'horizontale

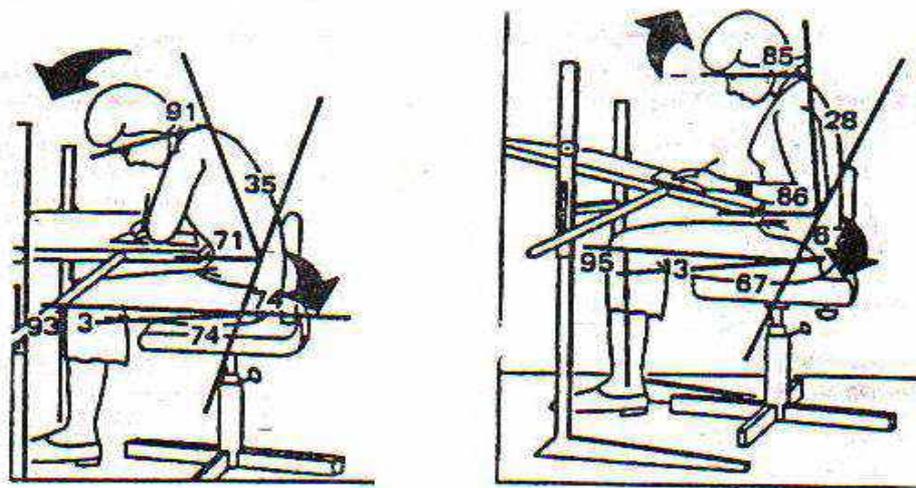
#### 4.5.1. Plan de travail incliné ( penché )

Les angles de vision de  $30^\circ$  dans la position assise sont dans bien des cas peu pratiques. Par exemple pour lire, écrire ou dessiner sur une surface horizontale l'inclinaison de la tête peut être quelquefois excessive.

A la suite d'une série d'observations menées par des chercheurs qui ont pu formuler des conseils pratiques concernant les caractéristiques des tables à dessin industriel:

- le plateau de la table doit à la fois être à une hauteur et à une inclinaison variable;
- la hauteur doit pouvoir varier entre 65 et 130 cm ( bord avant- sol );
- l'inclinaison doit pouvoir varier entre  $0$  et  $75^\circ$  par rapport à l'horizontale.

On remarque aussi que plus le plan est incliné plus la posture est droite. On observe que l'inclinaison du plan entraîne une posture plus droite et des pulsations ralenties sur l'électromyogramme, fig (4.8). On note aussi des sensations de fatigue moins grande et moins de malaises. Donc, d'une manière générale, il semble que l'utilisation d'un plan de travail incliné implique une meilleure vision et une meilleure posture.



a) surface inclinée est bonne pour la lecture

b) surface à plat est bonne pour l'écriture

Fig 4.8

#### 4.5.2. Plan de travail vertical

Pour une bonne conception des commandes, des outils, ou de divers accessoires, il est important de déterminer l'espace nécessaire aux bras et aux mains pour saisir et déplacer les objets. Saisir des objets trop éloignés oblige à des mouvements excessifs du tronc, ce qui compromet la précision du geste lui-même et accroît les risques de fatigue et de douleurs du dos et des épaules. Une prise verticale implique le rayon d'action des bras, les mains étant en position de préhension. La hauteur de l'axe d'articulation de l'épaule et sa distance à la main fermée sont les éléments importants dans ce cas. On doit tenir compte du 5<sup>ème</sup> centile représenté par les hommes de petite taille, dont les mesures sont illustrées au tableau 4.4.

Tableau 4.4

Caractéristiques	Homme	Femme
	de petite taille	en cm
Hauteur d'épaule debout	130	120
Hauteur d'épaule assis ( au-dessus du siège )	54	49
Longueur du bras ( main fermée )	65	58

La prise verticale dans le plan sagittal du corps est en principe un arc de cercle de rayon égal à 65 cm ( pour les hommes ) et à 58 cm ( pour les femmes ) au-dessus de la hauteur de l'épaule. Si l'on veut également permettre des mouvements latéraux des bras, l'espace de portée utile peut être matérialisé par une coquille semi-circulaire de même rayon, fig ( 4.9 ).

On peut envisager un dépassement des limites de portée données, à condition que ce soit occasionnel, afin de ne pas imposer trop d'effort au tronc et aux épaules par cet allongement excessif.

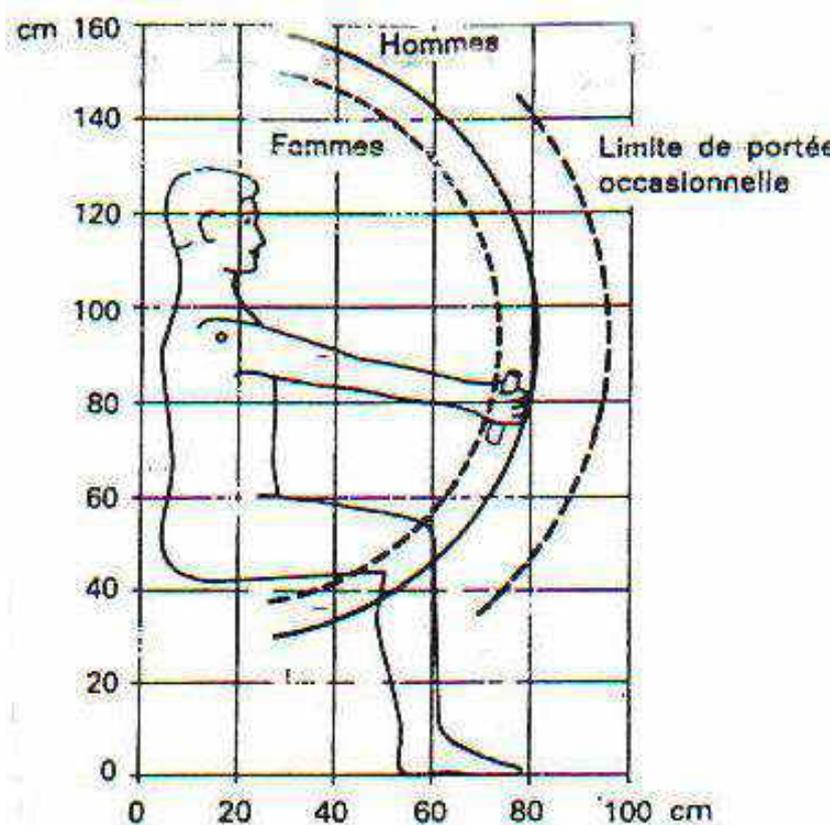


Fig 4.9

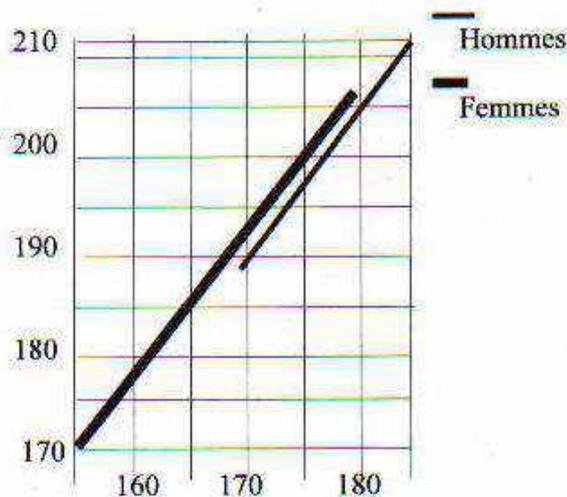
#### 4.5.3. Hauteur de portée du bras

Pour déterminer l'emplacement d'étagères, de surfaces de rangement, de poignées, de commandes, il faut connaître la hauteur maximale de portée du bras.

Les droites de régression et les coefficients de corrélation relatifs au rapport entre la taille et la hauteur de portée du bras pour les hommes et les femmes ont été calculés et l'hauteur d'une étagère par rapport à la taille des utilisateurs est représentée à la fig ( 4.10 ).

Le rapport entre la hauteur de portée du bras et la taille de l'opérateur:

$$\text{Hauteur maximum de portée utile} = 1,24 \times \text{taille de l'opérateur}$$



**Fig 4.10**

Les portées maximum du bras et les hauteurs permettant de saisir un objet sont illustrées au tableau 4.5.

**Tableau 4.5**

	centile	Portée max.du bras (bout des doigts) en cm	Portée utile (hauteur permettant de saisir un objet ) en cm
<b>Hommes:</b>			
Grands	95	228	216
moyens	50	213	201
petits	5	198	186
<b>Femmes:</b>			
Grands	95	213	201
moyens	50	200	188
petits	5	186	174

Il est souvent nécessaire de pouvoir regarder ce qu'il y a sur l'étagère afin de voir l'objet à saisir: bouteille, boîte, etc... Dans ces conditions, les étagères les plus hautes ne devraient pas dépasser une hauteur de :

**pour les hommes : 150 à 160 cm**

**pour les femmes : 140 à 150 cm**

On peut ajouter 60 cm à ces dimensions pour la profondeur de l'étagère.

#### 4.5.4. Portée horizontale du bras sur un plan de travail

La portée utile et l'espace de travail sur une table sont donnés à la fig ( 4.11 ) dont les équipements et le matériel nécessaire doivent être localisés dans cet espace . En sachant toutefois qu'il peut être nécessaire d'étendre occasionnellement le bras jusqu'à des distances de 70 à 80 cm sans effets secondaires nuisibles. Dans cette figure, on voit claire l'arc horizontal de portée du bras et l'aire de travail sur une table. La distance de portée utile tient compte de la distance de l'épaule à la main. Les dimensions de l'espace de travail sont déterminées par la distance du coude à la main.

Ces valeurs s'appliquent aussi au 5ème centile, c'est à dire aux hommes et aux femmes d'une taille inférieure à la moyenne.

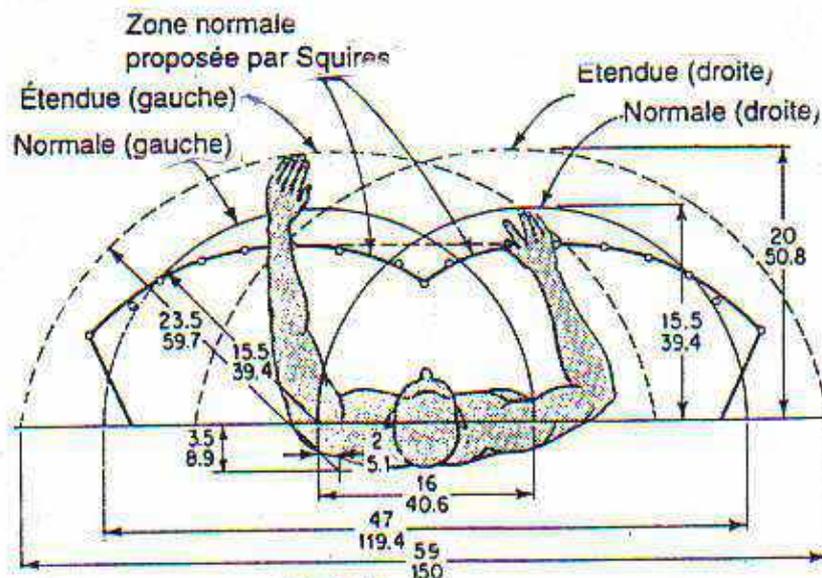


Fig 4.11

#### 4.5.5. Espace de maintenir les objets

Dans la posture debout, on devrait tenter de maintenir les objets manipulés et assemblés le plus près du corps possible afin de minimiser la fatigue au niveau des épaules et du dos, fig (4.12)

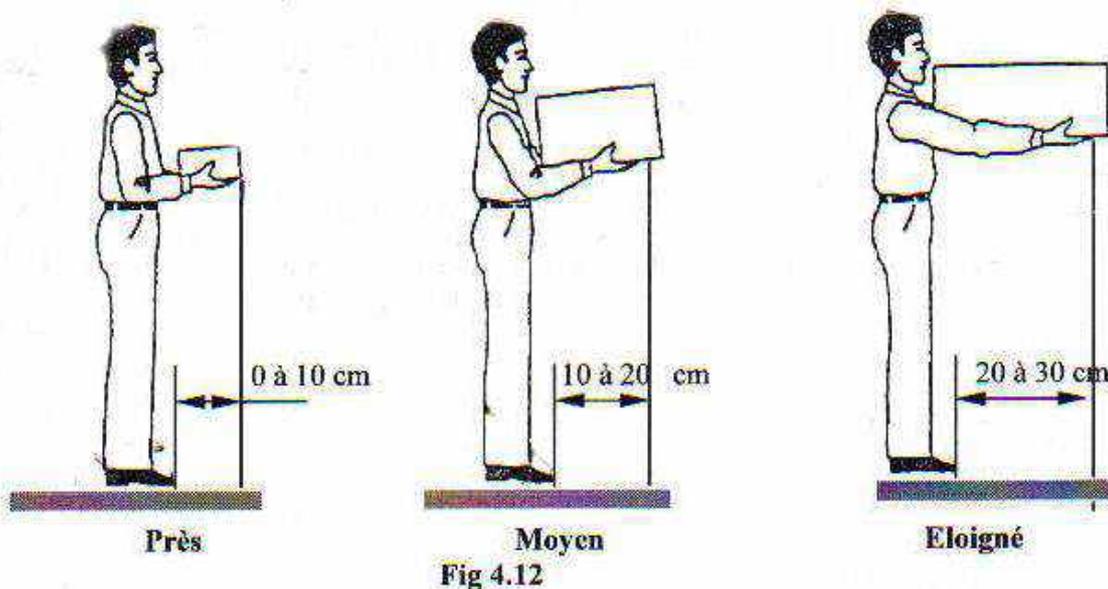


Fig 4.12

#### 4.5.6. Espace de manœuvre pour les jambes

Pour actionner une commande avec le pied, il faut disposer d'un certain espace, fig (4.13). Les commandes à pédales n'ont généralement pas à supporter des pressions supérieures à 10 kg sauf dans le cas de grosses machines dans l'agriculture, le bâtiment, et quelquefois dans l'industrie. Les pédales de freins de véhicules à moteur entrent aussi dans cette catégorie.

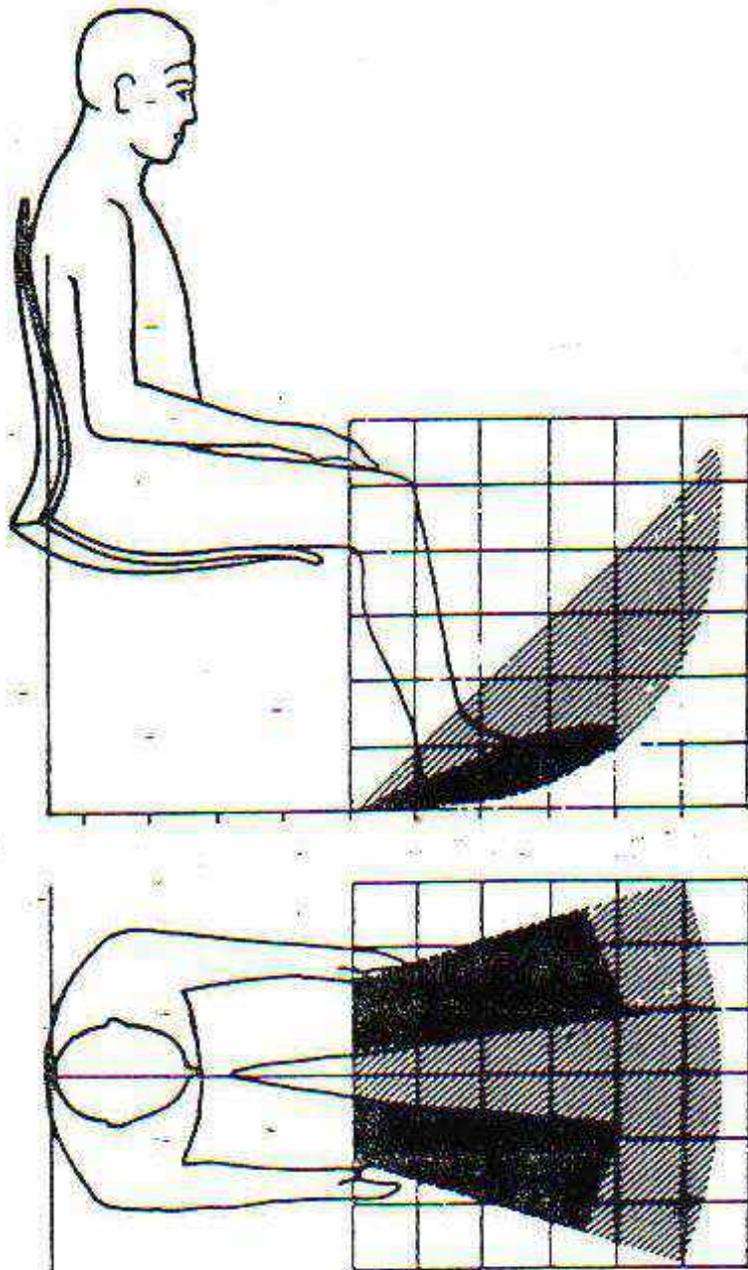


Fig 4.13

Ce type de commande convient parfaitement à la mise en oeuvre des pressions importantes, le pied étant capable d'exercer une force de pression allant jusqu'à 200kg . Quand il est nécessaire d'exercer sur des pédales des pressions importantes, il faut tenir compte des conseils suivants:

- a) s'appuyer contre un dossier haut;
- b) avoir les genoux pliés entre 140 et 160°;
- c) que la cheville fasse avec le pied un angle de 90°;
- d) que la partie inférieure des jambes soit inclinée à 20 à 30°.

Pour l'application de pressions encore plus fortes, la jambe toute entière doit entrer en action, et la résistance de départ doit être assez élevée afin de supporter le poids de la jambe reposant sur la pédale.

La pression doit être exercée sur le bout du pied ( demi- pointe ) et la direction du mouvement doit coïncider avec la droite passant par la cheville et le point d'appui du dos. Les conseils suivants concernent les pédales exigeant une forte pression:

- a) Parcours de la pédale: 5 à 15 cm**  
(plus l'angle formé par le genou plié est petit, plus long sera le déploiement);
- b) résistance minimum rencontrée: 6 kg**

Les pédales du type accélérateur de voiture par exemple, ont besoin pour être actionnées de pressions très légères du pied, et ont une résistance initiale faible. L'utilisation de ce type de pédales est facilitée si elles peuvent être actionnées avec le bout du pied, le talon restant au sol. Pour ce type de pédales les dimensions conseillées sont les suivantes:

- a) trajet de la pédale: au plus 6 cm
- b) angle maximal de débattement de la pédale: 30°
- c) angle optimum de débattement de la pédale: 15°
- d) résistance rencontrée: 3 -5 kg

Toutes les pédales devraient comporter une surface anti-dérapante. La distance entre deux pédales adjacentes doit être de l'ordre de 5 à 10 cm. Dans des circonstances particulières ( port de grosses chaussures ou bottes en caoutchouc ), l'intervalle pourra être plus important.

## **4.6. Travail assis et conception des sièges**

Au début de ce siècle, on s'est rendu compte que si les gens avaient la possibilité de s'asseoir pendant leur travail, on obtenait un meilleur rendement. La position debout implique un effort musculaire statique pour maintenir les articulations des pieds, des genoux et des hanches fixes. Cet effort musculaire cesse dès qu'on s'assied.

Cette prise de conscience entraîna une considération plus grande des points de vue médical et ergonomique dans la conception des sièges de travail. Ce phénomène prit de l'importance avec le nombre toujours croissant des postes de travail assis. Aujourd'hui, environ les trois quarts de la population active des pays industrialisés ont un travail sédentaire.

### **4.6.1. Avantages et inconvénients d'un travail assis**

Les avantages d'un travail assis sont les suivants:

- a) les jambes n'ont pas à supporter le poids du corps;
- b) il est possible d'éviter les mauvaises postures;
- c) la consommation d'énergie est réduite;
- d) le système sanguin est moins sollicité.

Les inconvénients se présentent dans la position assise prolongée des muscles entraîne un relâchement des muscles abdominaux et une déviation de la colonne vertébrale ( dos rond qui retentit sur le fonctionnement des systèmes digestif et respiratoire ).

### **4.6.2. Maux du dos**

Le problème essentiel concerne la colonne vertébrale et les muscles du dos, qui dans un grand nombre de postures assises sont constamment contractés. Presque les 2 / 3 des adultes souffrent au moins une fois dans leur vie du mal de dos. Les disques intervertébraux sont le plus souvent à l'origine de ce trouble.

Un disque intervertébral est une sorte coussin séparant deux vertèbres, l'ensemble des disques sont constitués d'un anneau fibreux et résistant, contenant un liquide visqueux.

Pour des raisons encore inconnues, les disques intervertébraux peuvent dégénérer et perdre de leur force: Ils s'affaissent, et dans des cas extrêmes, le liquide qu'ils contiennent peut se trouver soumis à une trop forte pression et s'écouler vers l'extérieur. Le fonctionnement de la colonne vertébrale se trouve alors perturbé, les tissus et les nerfs déformés et comprimés peuvent être à l'origine de nombreuses maladies, allant du lumbago à la paralysie des jambes.

Les différentes postures et positions assises ont une influence importante sur la pression à l'intérieur d'un disque intervertébral, d'une manière que d'une part, la pression interne accrue signifie qu'ils supportent un excès de charge et qu'ils s'useront plus vite, mais d'autre part la pression à l'intérieur d'un disque est équivalente à une fois et demie la force vertébrale exercée sur lui par la vertèbre située au-dessous. Donc la pression à l'intérieur du disque est plus importante dans la position assise que dans la position debout.

L'influence de la posture sur la pression à l'intérieur du disque situé entre la 3<sup>ème</sup> et la 4<sup>ème</sup> vertèbre lombaire est donnée au tableau 4.6.

**Tableau 4.6**

<b>Posture</b>	<b>Pression à l'intérieur du disque en %</b>
Debout	100
Couché, sur le dos	24
Assis, le buste droit	140
Assis, penché en avant	190

L'étude du mécanisme d'articulation du bassin et du sacrum se résume dans le passage de la position debout à la position assise, la cuisse sert de levier, le bord supérieur du bassin effectue un basculement vers l'arrière, le sacrum se redresse, la forme de la colonne vertébrale se modifie, sa courbure s'inverse ( passage de lordose en cyphose ), fig (4.14 ).

Le basculement vers l'arrière du bassin met la colonne vertébrale dans cette région en position de cyphose, ce qui accroît la pression à l'intérieur des disques.

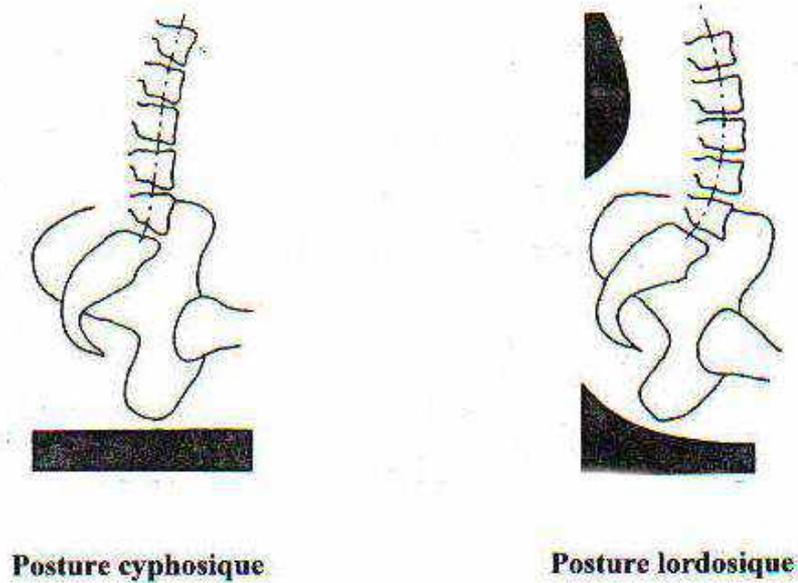


Fig 4.14

### 4.6.3. Positions du dos, sujet assis

De point de vue orthopédique, il est recommandé la posture assise, le dos droit et la colonne vertébrale dans sa position naturelle. La pression à l'intérieur des disques est moins grande que si le dos est rond, tableau 4.6 . Cet avis est cependant en contradiction avec le fait qu'une attitude légèrement voûtée soulage les contraintes exercées sur les muscles du dos, ce qui rend la position plus confortable. Ce phénomène a été bien étudié et les résultats sont donnés à la fig ( 4.15 ).

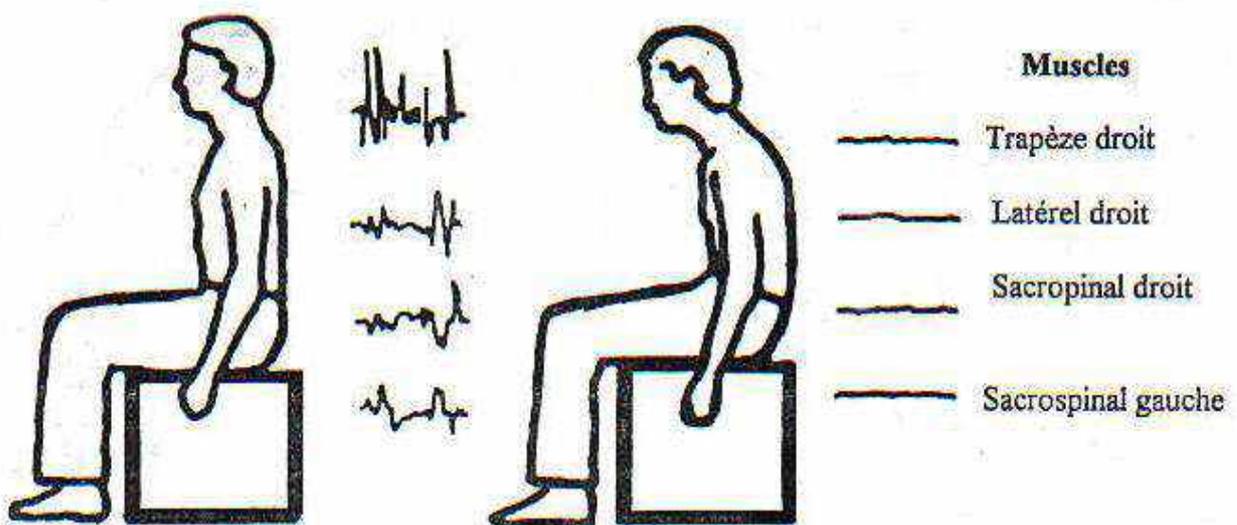


Fig 4.15  
Position du dos (sujet assis)



Les résultats obtenus permettent de retenir les suivants conseils nécessaires pour la conception des sièges:

- a) La pression à l'intérieur des disques est le plus faible quand le dos est incliné vers l'arrière et détenu;
- b) Plus le dossier est incliné, moins les muscles du dos sont contractés;
- c) Un rembourrage de 5 cm d'épaisseur au niveau des reins ( vertèbres lombaires ) permet de soulager la pression discale et l'activité musculaire du dos;
- d) Les conditions optimales pour la pression discale et l'activité musculaire sont réalisés quand le dossier est incliné à  $120^\circ$  et le siège à  $140^\circ$  par rapport à l'horizontale, avec un rembourrage de 5 cm au niveau des reins.

Ces résultats montrent que si le dos repose sur un dossier incliné, une certaine proportion du poids de la partie supérieure du corps est supportée par le dossier, la pression discale est alors réduite. Cet effet se poursuit si l'on augmente l'angle entre le siège et le dossier jusqu'à au moins  $110^\circ$ , fig ( 4. 18 ).

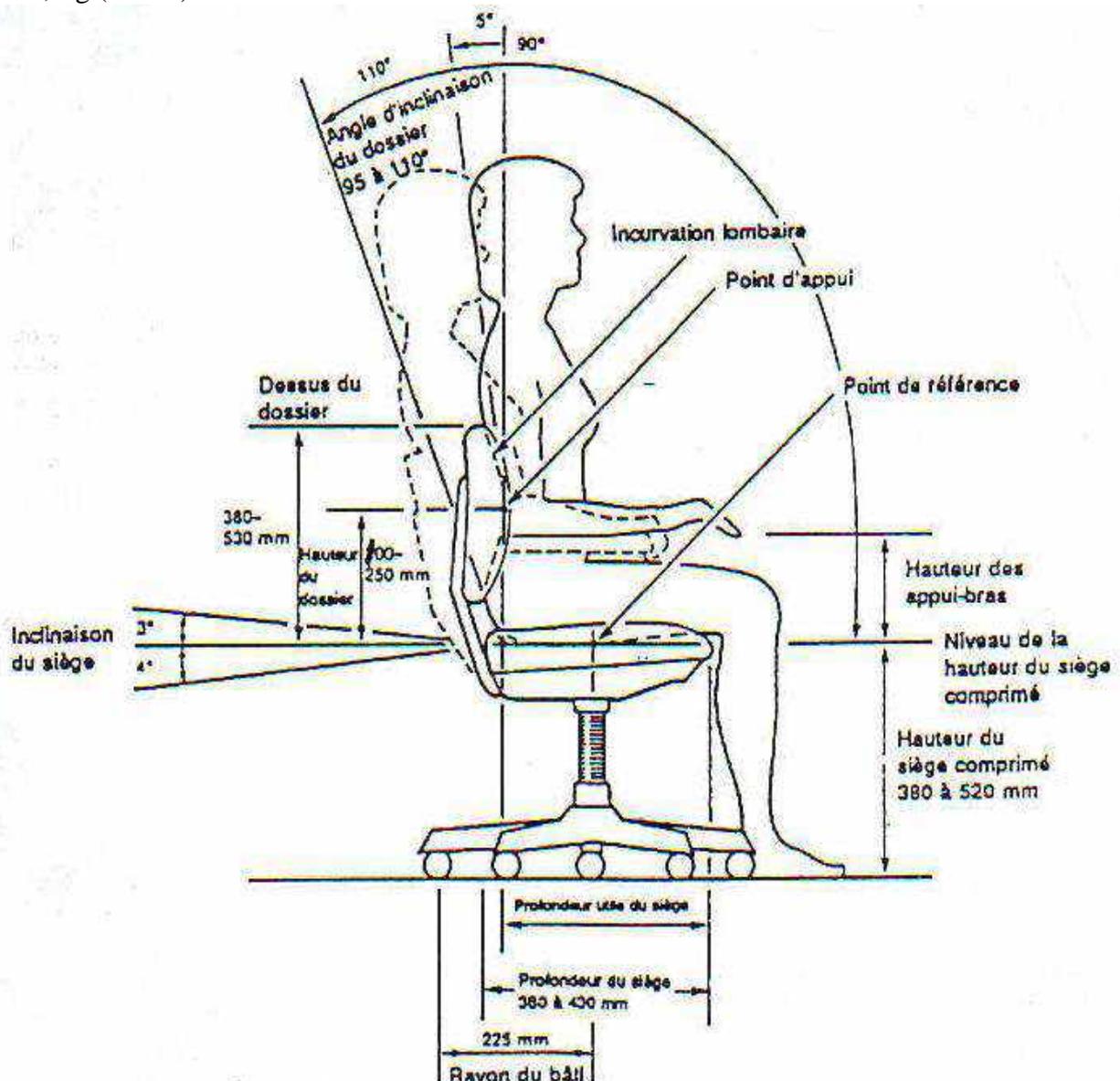


Fig 4-18

#### 4.6.5. Importance du dossier et des appuis – bras

Les appuis-bras ne sont pas un luxe, ils sont nécessaire pour diminuer la fatigue et les contraintes au niveau de la colonne vertébrale. On doit cependant s'assurer qu'ils n'empêchent pas une bonne posture de travail ( ex: ne doivent pas empêcher le siège d'avancer sous la table de travail ), fig ( 4.19 ).

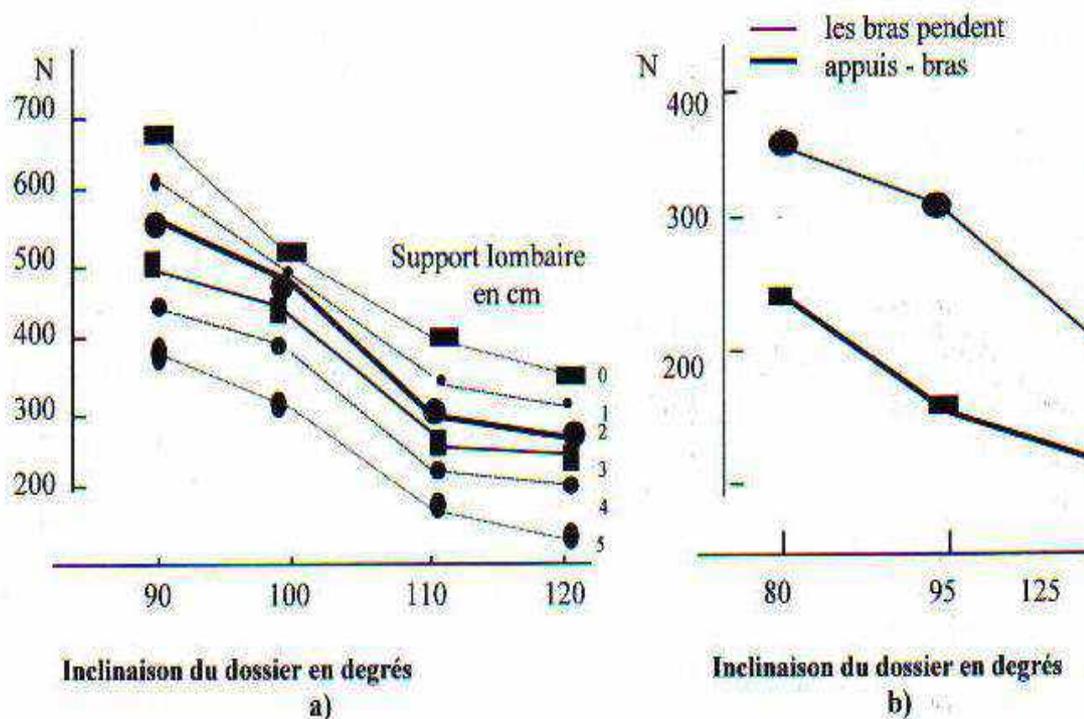


Fig 4.19

Dans la posture debout, la colonne vertébrale a une courbure naturelle chez le travailleur en bonne santé. Lorsqu'on s'assoit, le bassin pivote vers l'arrière ce qui change la courbure de la colonne, particulièrement à la région lombaire, fig ( 4.14 ). Le support lombaire afin de forcer celle-ci à retrouver une courbure plus proche de la courbure naturelle.

#### 4.6.6. Principes fondamentaux pour la conception des sièges

Les principaux principes utiles pour la conception des sièges sont donnés comme suit:

- Tout siège doit être à une hauteur réglable ( entre 38 et 53 cm ) pour des postes de travail de bureau;
- Il faut être sûr que le siège ne puisse ni basculer ni dérapier, il doit comporter cinq pieds s'inscrivant dans un cercle au moins égal à l'assise ( 40 à 50 cm de diamètre).
- L'occupant de siège doit disposer d'une liberté suffisante de mouvement. S'il doit se lever ou déplacer latéralement, les pieds doivent être équipés de roulements.

d) L'espace prévu pour les jambes au-dessous du plateau doit être assez important pour que les jambes puissent bouger et éviter ainsi les courbatures, fig ( 4.20 )

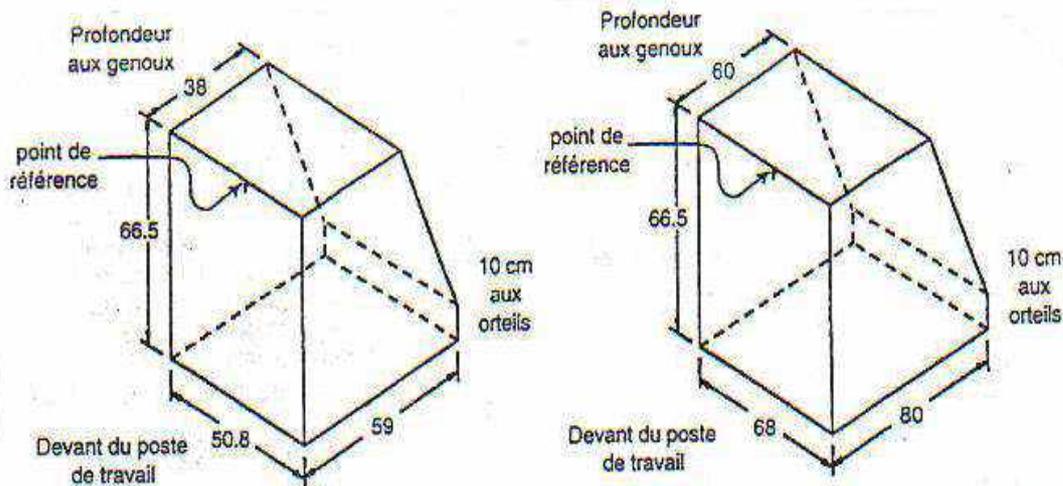


Fig 4.20

e) La surface d'assise doit avoir 40 à 50 cm de large et 38 à 42 cm de profondeur. Le bord avant du siège relevé de 4 à 6° empêche les cuisses de glisser vers l'avant, le bord doit être bien sûr arrondi.

g) Un dossier haut non réglable ( que le siège soit fixe ou inclinable ) permet de détente de temps en temps les muscles du dos. Il doit avoir une hauteur de 48 à 50 cm et une largeur de 32 à 36 cm. Il faut prévoir un rembourrage plus épais au niveau des vertèbres lombaires ( 10 à 20 cm au-dessus du point le plus bas de l'assise ) pour soutenir la colonne vertébrale et le sacrum. La partie supérieure du dossier doit être concave vers l'avant.

h) Un siège à dossier réglable doit soutenir le mieux possible les vertèbres lombaires. Le dossier doit avoir 30 cm de haut et 38 cm de large et être réglable verticalement et horizontalement.

i) Les repose-pieds ont un rôle important; ils permettent aux personnes de petite taille, et même aux autres, d'éviter les mauvaises postures, chaque table de travail devrait en être équipée.

j) On doit concevoir un siège en fonction du poste de travail pour lequel il sera utilisé. La distance entre le plan de travail et l'assise du siège est un élément important. Si les coudes sont le long du corps et les bras pliés à 90°, cette distance doit être comprise entre 27 et 30 cm.

Dans la fig ( 4. 21 ) sont illustrées les dimensions les plus importantes relatives aux sièges de travail associés à des bureaux normaux ou des tables de micro- ordinateurs.

k) Les sièges pour les pilotes des avions doivent être conçus d'une façon qu'ils conviennent à toutes les considérations spéciales de contrôle, pour la hauteur de vision de l'œil, la commodité du parachute, pour le sauvetage et autres équipements essentiels, fig ( 4.22 ).

l) Les dimensions d'un siège d'automobile sont illustrées sur la fig ( 4.23 )

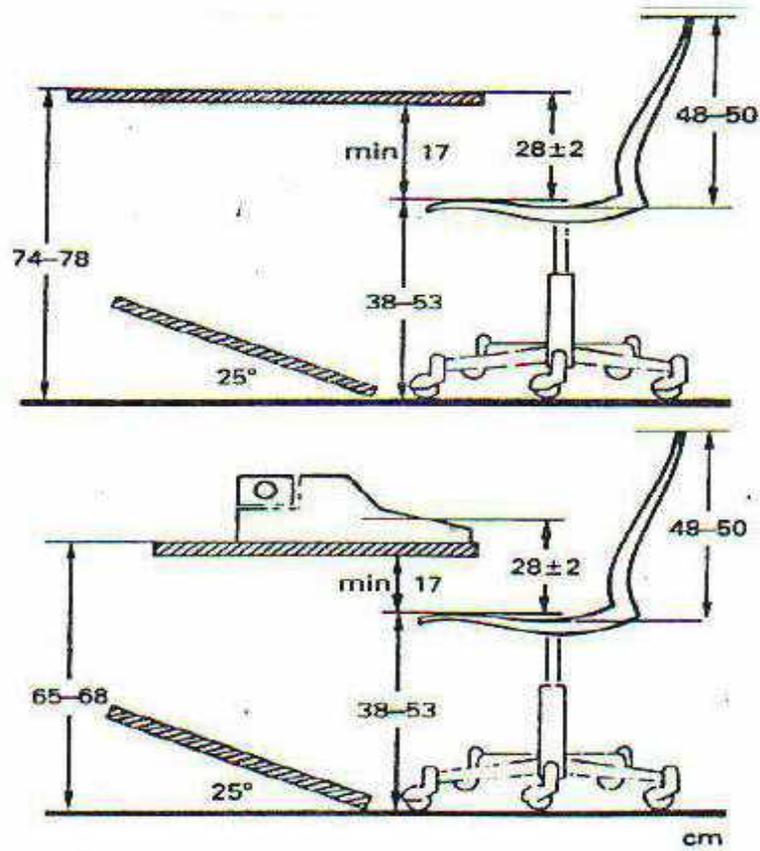


Fig 4.21

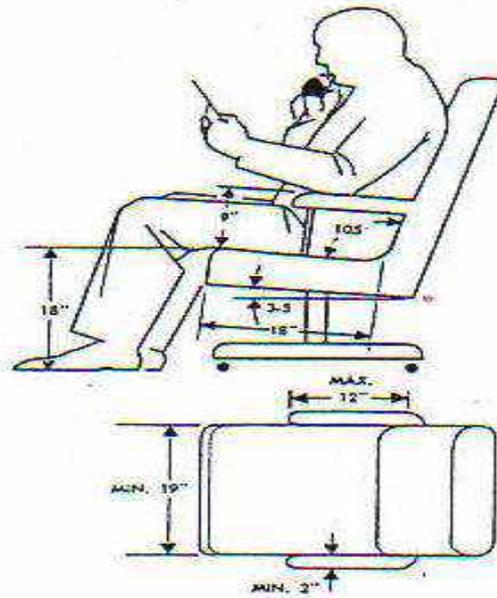
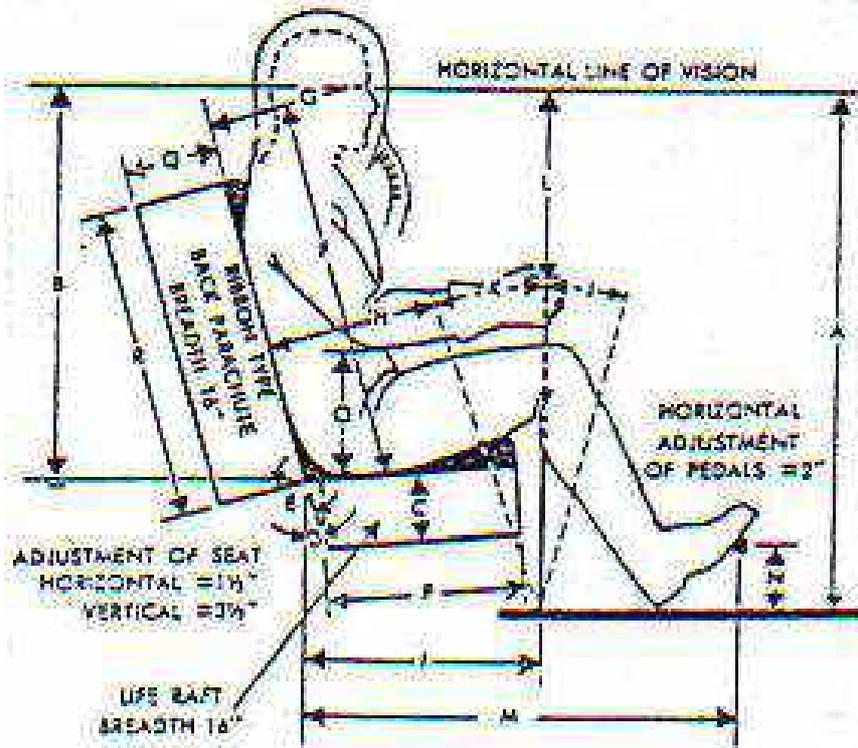


Fig 4.23



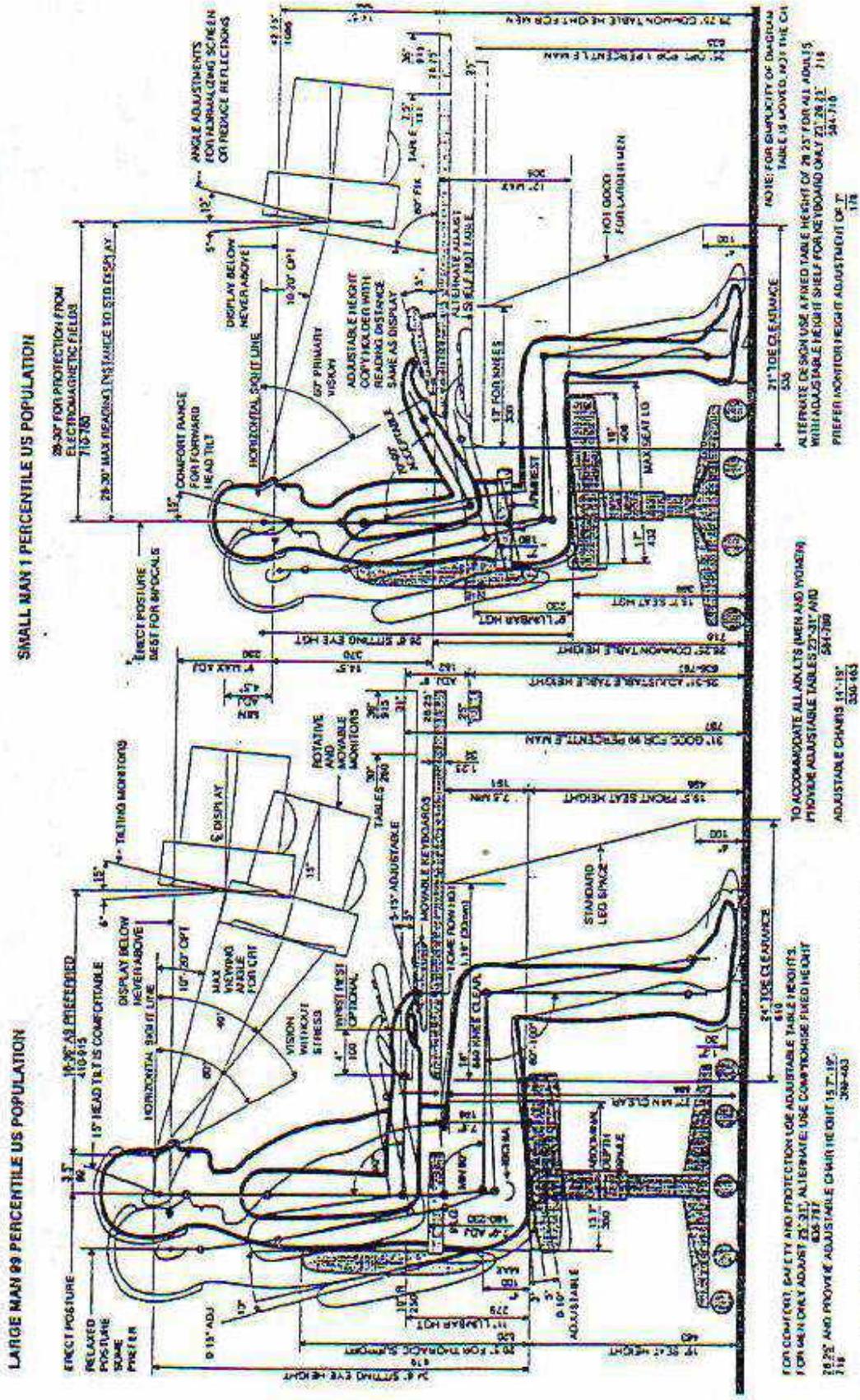
### Les dimensions d'un siège de pilote ( en pouce ) contrôle d'un volant

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R
37	36 1/4	5	21"	10 1/2"	29 1/2	10	14 1/2	19	6	9	10	36	5	9 1/2	13	7	23
39	36 1/4	5	19"	10 1/2"	30 1/2	9 1/2	13 1/2	19	6	9	10 1/2	33	5	9 1/2	13	7	23
41	31 1/4	5	18"	10 1/2"	31	9 1/2	13 1/2	19	6	9	10 1/2	34 1/2	5	9 1/2	13	7	23
43	31 1/4	5	15"	10 1/2"	31 1/2	10	13 1/2	19	6	9	11	34 1/2	5	9 1/2	13	7	23

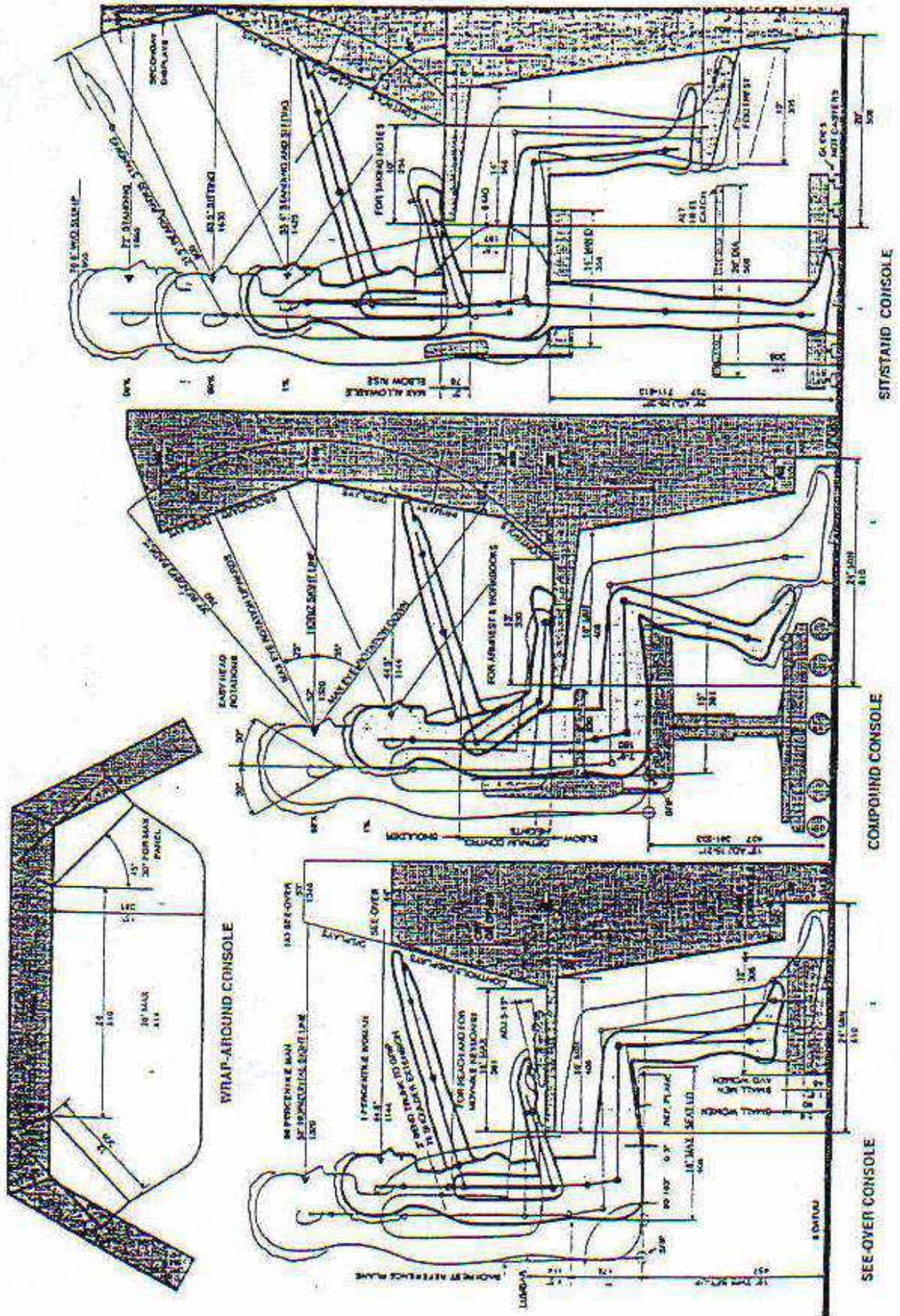
### contrôle d'une manette

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R
37	30 1/4	5	21"	10 1/2"	29 1/2	10	14 1/2	19	6	9	11 1/2	36	5	9 1/2	13	7	23
39	30 1/4	5	19"	10 1/2"	30 1/2	9 1/2	13 1/2	19	6	9	13 1/2	33	5	9 1/2	13	7	23
41	31 1/4	5	18"	10 1/2"	31	9 1/2	13 1/2	19	6	9	13 1/2	34 1/2	5	9 1/2	13	7	23
43	31 1/4	5	16"	10 1/2"	31 1/2	10	13	19	6	9	17 1/2	34 1/2	5	9 1/2	13	7	23

Fig 4.22









## CHAP.V.

<i>LES LESIONS ATTRIBUABLES AU TRAVAIL REPETITIF ET MAUX DE DOS</i>	<i>Page</i>
5.1. Définition	.....3
5.2. Maladies tendineuses	
.....5	
5.2.1. Description des troubles	
.....5	
5.2.2. Facteurs de déclenchement des LATER	
.....8	
5.2.3. Tendinite de l'épaule	
.....8	
5.2.4. Epicondylite	
.....9	

5.2.5.	Teno synovite	.....9
5.2.6.	Bursite	.....10
5.2.7.	Maladie de Quervain et tendinite poignet-main	.....12
5.2.8.	Kyste synovial	.....15
5.2.9.	Syndrome de canal carpien	.....15
5.2.10.	Syndrome cervico – brachial	.....18
5.2.11.	Syndrome de Raynaud	.....18
5.2.12.	LATER et activité de travail	.....18
5.3.	Maux de dos	.....21
5.3.1.	Constitution de la colonne vertébrale	.....21
5.3.2.	Rôle et courbures de la colonne vertébrale	.....23
5.3.3.	Le système ligamentaire au niveau des rachis lombaire..	24
5.3.4.	Constitution des vertèbres	.....25
5.3.5.	Disques intervertébraux	.....27
5.4.	Conséquences des gestes et des postures	.....28

- 5.4.1. Principales causes des maux de dos  
.....29
- 5.4.2. Principaux accidents au cours  
d'attitudes dangereuses...29

## 5.5. Aspects pathomécaniques

- .....31
- 5.5.1. Douleurs discales  
.....31
- 5.5.2. Le lumbago  
.....33
- 5.5.3. La sciatique  
.....34
- 5.5.4. Hernie discale  
.....34
- 5.5.5. Tassement discal  
.....35
- 5.5.6. Spondylolisthesis  
.....36

## 5.6. Composantes de la situation de travail susceptible

de contribuer à l'incidence des maux de dos  
.....37

5.6.1. Définition de la fréquence  
.....39

5.6.2. Définition de la durée du travail  
.....40

5.6.3. Techniques de manipulation  
.....40

5.6.4. Dimensions des objets  
.....42

5.6.5. Forme de l'objet  
.....43

5.6.6. Utilisation des poignées  
.....43

5.6.7. Surface de contact du plancher  
.....44

5.6.8. Poids de l'objet  
.....44

5.6.9. Répartition et équilibrage de la charge  
.....45

5.6.10. Influence de la hauteur de la levée  
.....45

5.6.11. Plancher et distance à parcourir  
.....47

5.6.12. Position de lever et de transport de charges .....47

5.6.13. Techniques de lever  
.....48

5.6.14. Maux de dos au cours de la semaine  
.....49

5.6.15. Maux de dos au cours de la journée  
.....49

## **CHAPITRE V**

LES LESIONS ATTRIBUABLES AU TRAVAIL REPETITIF ET MAUX DE DOS

Dans ce chapitre, on intéressera aux lésions musculo-squelettiques dont l'apparition est associée à l'exercice d'un travail. Ce type de troubles eut toucher les différentes régions du corps associées au mouvement : les membres supérieurs, les membres inférieurs et le dos. On se limitera aux troubles affectant les membres supérieurs et les maux de dos.

### **5.1. Définition**

Le terme « lésions attribuables au travail répétitif (LATR) » est un ensemble de troubles relativement diversifiés qui peuvent affecter les membres supérieurs, c'est à dire les mains, les poignets, les coudes et les épaules de même que le cou. Aussi, quoique de façon beaucoup moins fréquente, ces lésions atteignent les membres inférieurs, tels que les genoux et les chevilles. Ces membres sont constitués par les diverses structures anatomiques suivantes : tendon, muscles, ligaments, articulations, nerfs, jointures, os et système vasculaire associé. Selon la structure touchée et le type d'atteinte, on parlera de tendinite, de ténosynovite, de bursite, de syndrome du canal carpien, etc..., la terminaison de ces termes médicaux signifie inflammation, fig (5.1).

Il faut aussi inclure le dos car les postures contraignantes et les efforts répétitifs associés à des mouvements de flexion et de torsion qui peuvent aussi occasionner des maux de dos.

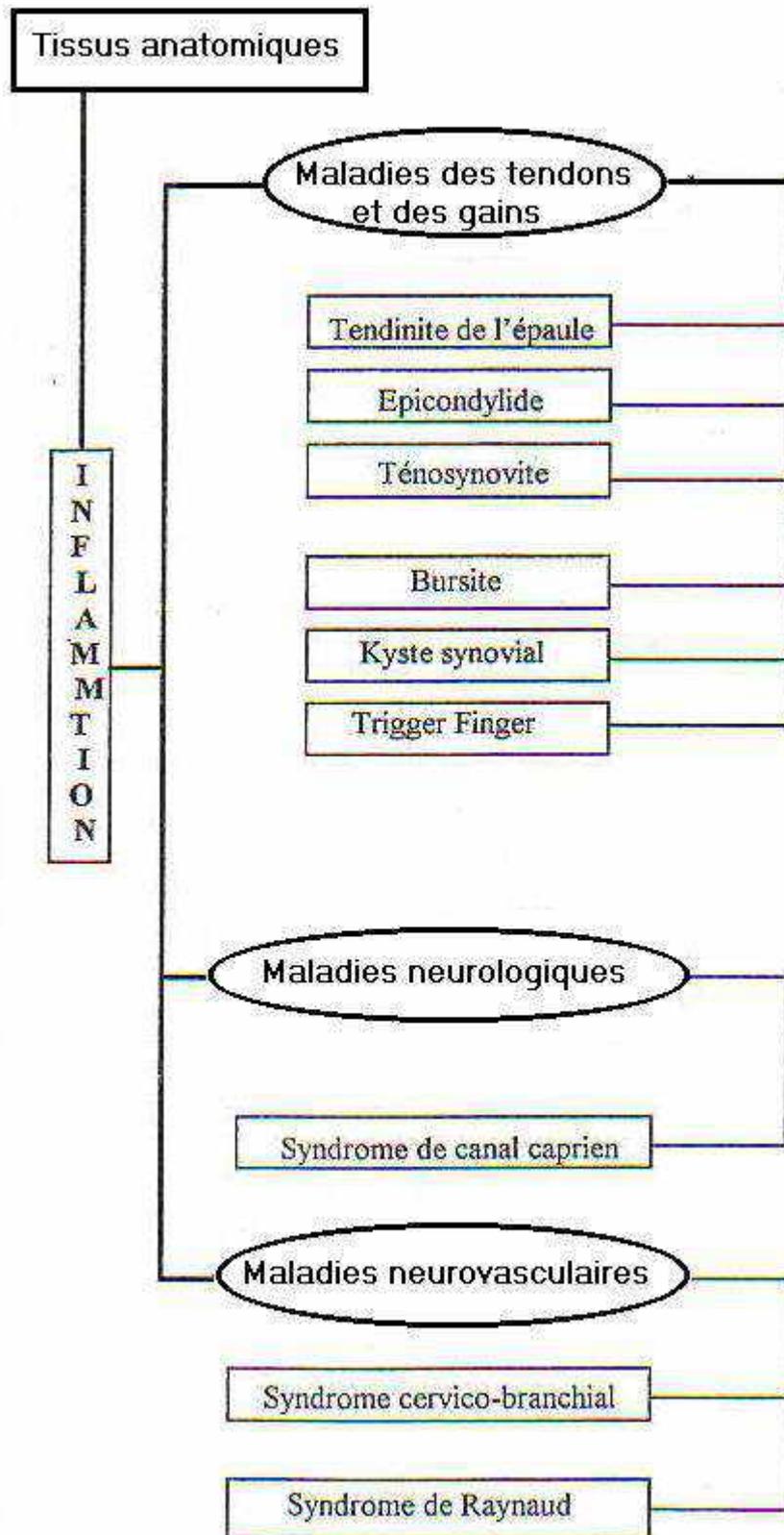
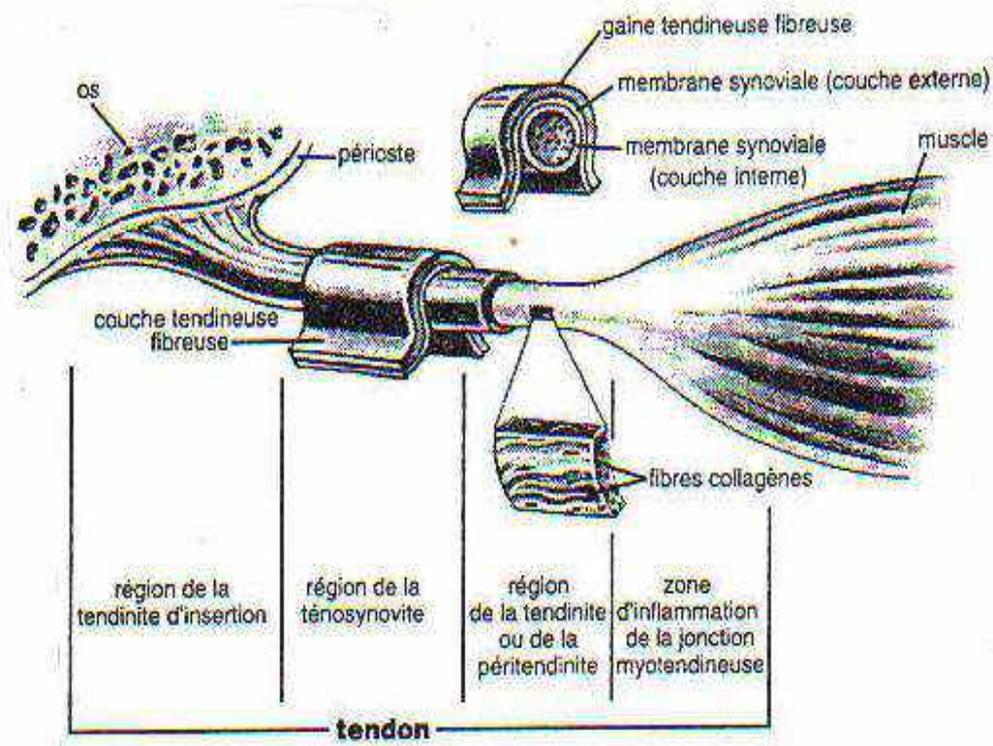


Fig 5.1

## 5.2. Maladies tendineuses

### 5.2.1. Description des troubles

Le tendon est la partie d'un muscle qui rattache celui-ci à l'os ou à l'aponévrose et qui transmet la force de l'un à l'autre pour produire un mouvement articulaire. Il est composé de fibres collagènes parallèles ayant une résistance à peu près égale à 50% de celle de la corticale des os. Les tissus fibreux entourant les tendons forment une gaine – la gaine tendineuse – qui protège le tendon de la friction mécanique qu'il subit lorsqu'il passe sur la structure osseuse. Cette gaine consiste en une membrane synoviale qui réduit la friction avec l'os, fig (5.2).



**Fig 5.2**

La tendinite et la ténosynovite sont toutes les deux des inflammations du tendon. Dans le cas de la ténosynovite, cependant, la gaine tendineuse est inflammée. Ces inflammations atteignent couramment les suivantes parties du corps humain illustrées dans les fig (5.3), fig (5.4). De façon générale, il s'agit de lésions chroniques, qui se développent progressivement. Leurs premiers symptômes sont le plus souvent l'inconfort, la fatigue et la douleur. Leur persistance peut toutefois aboutir à plus ou moins long terme à un état pathologique et, même à une incapacité ou une invalidité. La problématique de ces LATR est plus complexe que celle de maladies professionnelles. Selon l'organisation mondiale de santé, elles sont par définition, multi-factorielles : le milieu et le mode d'exécution du travail contribuent de façon importante à leur genèse, mais d'autre part ces facteurs peuvent aussi entrer en ligne de compte.

Exemples de troubles musculo-squelettiques (vue de face)

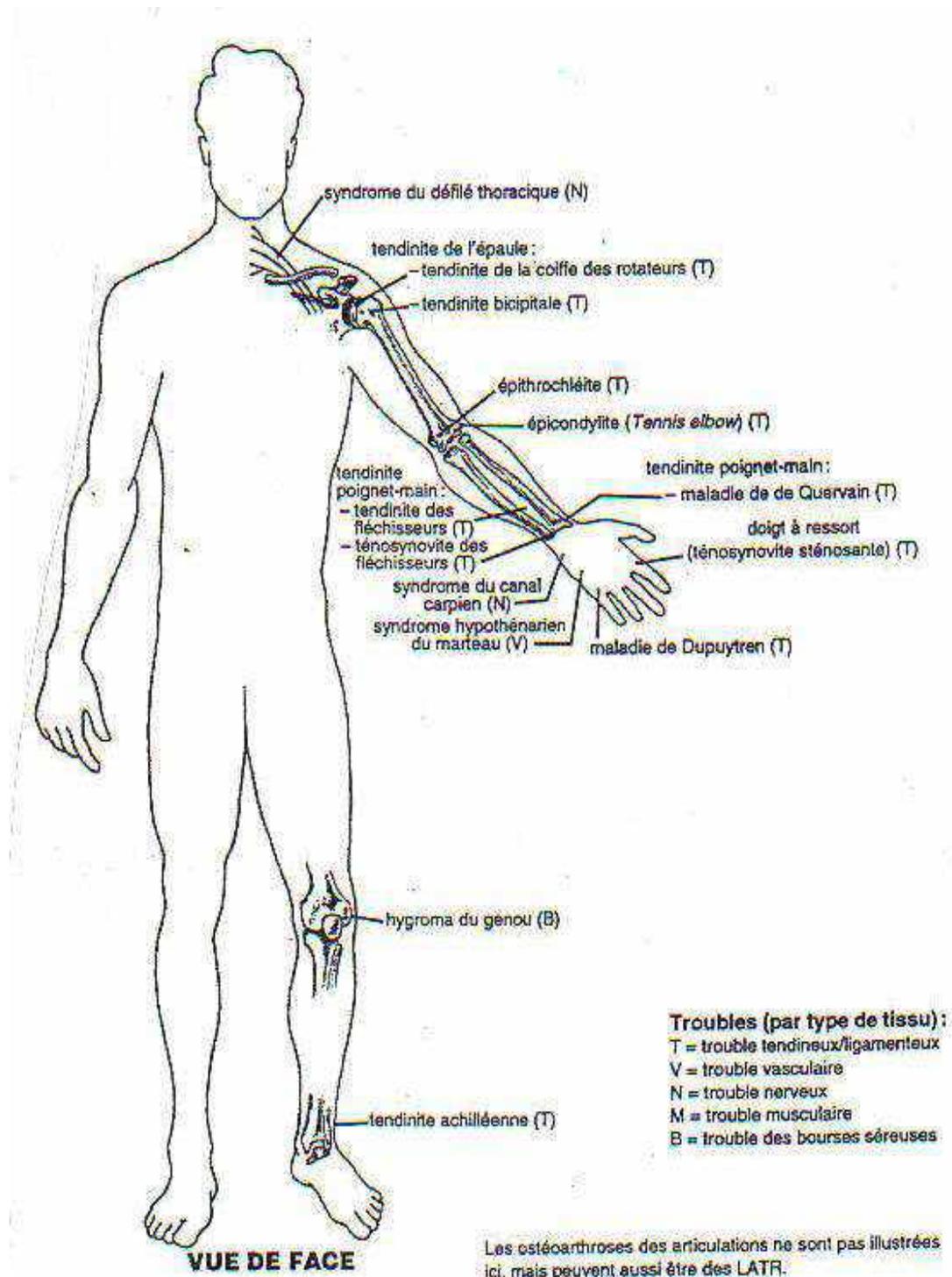


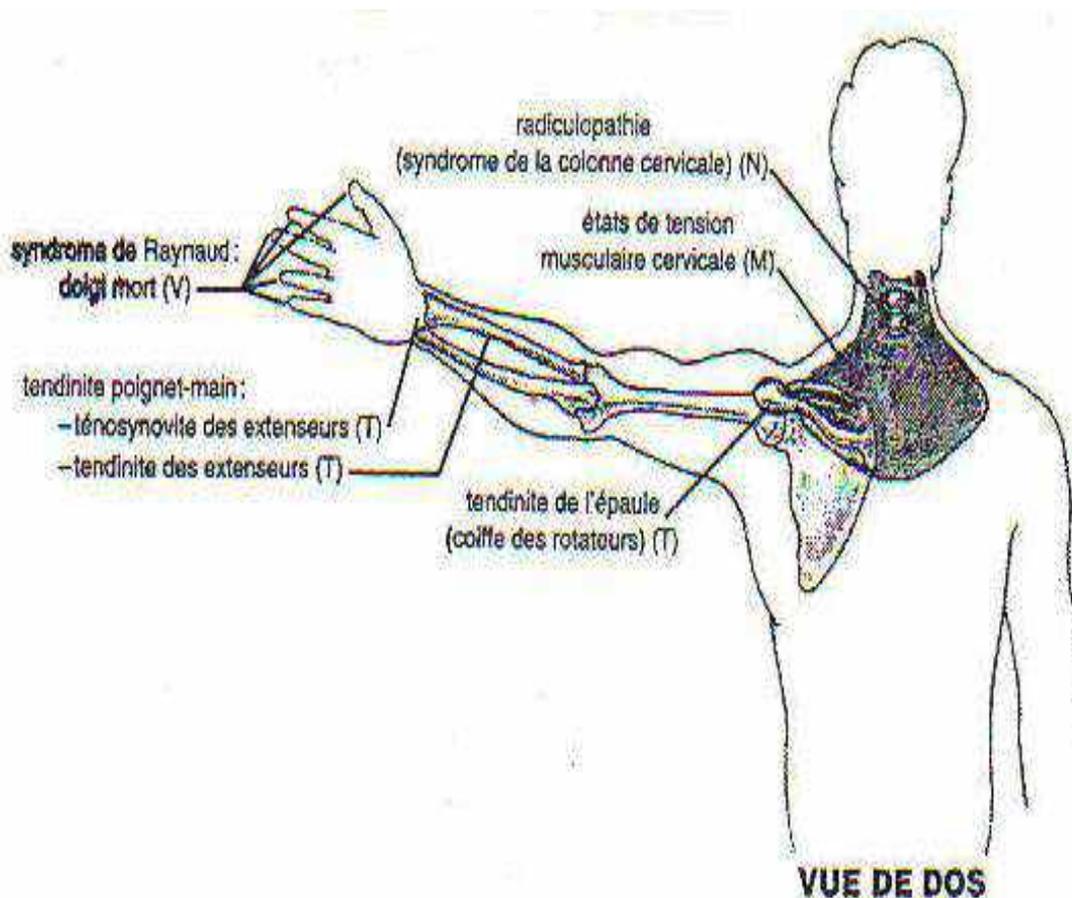
Fig 5.3

Dans le cas de ces sites anatomiques, les tendons parcourent de grandes distances lorsqu'ils sont mobilisés.

La péri-tendinite se caractérise par l'inflammation des tendons et des tissus avoisinant (le plus souvent musculaires); une enflure et un œdème locaux peuvent aussi être présents. L'inflammation locale des tendons et des gaines tendineuses. Même si la tendinite, la péri-tendinite, la synovite et l'inflammation myotendineuses sont des affections différentes, elles apparaissent souvent ensemble, fig (5.4). Il peut être cliniquement impossible de les différencier l'une de l'autre parce qu'elles présentent les mêmes signes et symptômes d'inflammation.

**La liaison étroite entre le travail et le grand nombre de troubles musculo-squelettiques a été confirmée par le groupe international de travail sur les LATR. Toutes les articulations musculo-squelettiques peuvent être touchées. L'importance de la relation établie scientifiquement varie cependant selon les tissus anatomiques.**

*Exemples de troubles musculo-squelettiques pouvant être liés au travail (vue de dos)*



**Fig 5.4**

### 5.2.2. Facteurs de déclenchement des LATR

Les recherches sur les LATR, montrent que celles-ci sont causées par une accumulation d'influences qui dépassent la capacité d'adaptation d'un tissu anatomique. Cerner les facteurs de risque oblige donc à l'examen de toutes les facettes du travail.

Plusieurs des facteurs de risque associés aux LATR ne causent pas directement des lésions, mais sont tout de même susceptibles d'engendrer les réactions pathologiques et physiologiques qui sont à leur origine. Par exemple, les dimensions d'un poste de travail ou les exigences visuelles ne causent pas de troubles musculo-squelettiques; il arrive toutefois qu'elles obligent à adapter des postures et des méthodes qui risquent de provoquer ou d'aggraver des lésions. De même, le froid peut avoir une influence directe sur les tissus anatomiques, mais il a aussi d'autres effets liés à l'équipement de protection nécessaire, à la difficulté de préhension et à l'activité accrue des muscles. Les vibrations peuvent aussi favoriser l'apparition de lésions. Les pressions locales doivent, par ailleurs, être prises en considération; par exemple : la main est bien protégée pour prendre ou pincer des objets, mais moins contre les pressions d'outils sur les côtés des doigts ou sur le pouce. Les chocs et les contractions pour arrêter un objet ou résister à un contrecoup sont également à la source de lésions.

Pour ce qui est des postures, il faut surveiller celles qui sont aux limites de l'amplitude articulaire, celles où la gravité engendre une charge supplémentaire sur l'articulation et celles qui occasionnent des contraintes mécaniques sur les différents tissus. La force, la répétition et la durée d'application de la charge musculosquelettique sont également des paramètres à considérer. Même chose pour la charge statique lorsqu'un membre est maintenu dans une position qui va à l'encontre des forces de la gravité, comme dans le travail au-dessus de la tête.

**Il a aussi été démontré qu'un travail monotone présentant peu de variété peut jouer un rôle important dans l'apparition de douleur musculaire. De même, on a prouvé que l'effort mental exigé par une tâche influe sur le stress psychologique et sur le comportement; une surcharge quantitative ou une sous-charge qualitative peuvent entraîner des réactions de stress psychologique et un risque accru de LATR.**

Les études effectuées, montrent qu'il existerait une relation entre les douleurs musculosquelettiques et les facteurs organisationnels et psychosociaux. La perception subjective du travailleur en regard, par exemple, de sa carrière, des horaires, ou de la cadence de travail, contribuerait de façon importante à la chaîne d'événements menant à des LATR.

### 5.2.3. Tendinite de l'épaule

**La tendinite est une inflammation du tendon. Le tendon est une structure qui sert à attacher un muscle au squelette. D'après la fig (5.5), on peut voir que le biceps est attaché par des tendons à l'épaule et à l'avant-bras. Lorsque ce muscle se contracte et se raccourcit, il tire sur le tendon et fait replier l'avant-bras. Le tendon travaille chaque fois que le muscle travaille. C'est donc lorsque le muscle est abondamment sollicité, par exemple par un effort important que l'on répète, qu'il peut y avoir sur-utilisation du tendon. Si le tendon est blessé, il pourra avoir une accumulation de blessures microscopiques qui présentent des LATR. Si la sur-utilisation persiste, on comprend qu'un tendon blessé, enflé par l'inflammation, pourra être encore plus vulnérable à la surcharge.**

On se trouvera alors avec une tendinite. Cette affection se trouve souvent chez les soudeurs, les charpentiers en fer, les assembleurs, les employés qui travaillent avec les mains au niveau ou au-dessus des épaules, etc...

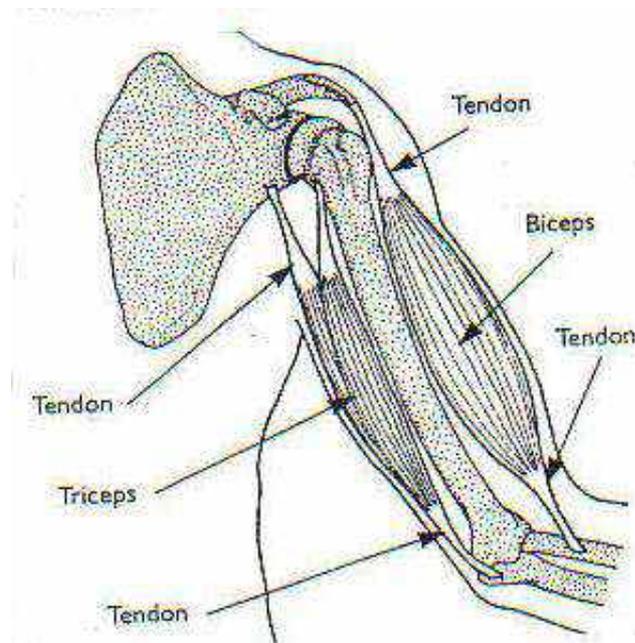


Fig 5.5

#### 5.2.4. Epicondylite

Elle est définie comme une douleur à la face latérale du coude accompagnée d'une sensibilité de l'épicondyle au toucher. Dans certains comptes rendus, une douleur à la contraction (extenseurs de la main) constituait un élément nécessaire au diagnostic. Cette affection est souvent rencontrée chez les saucissiers, les dépecteurs et les empaqueteurs, mais aussi chez les joueurs de tennis où la douleur se manifeste à la face latérale du coude, fig (5.6)

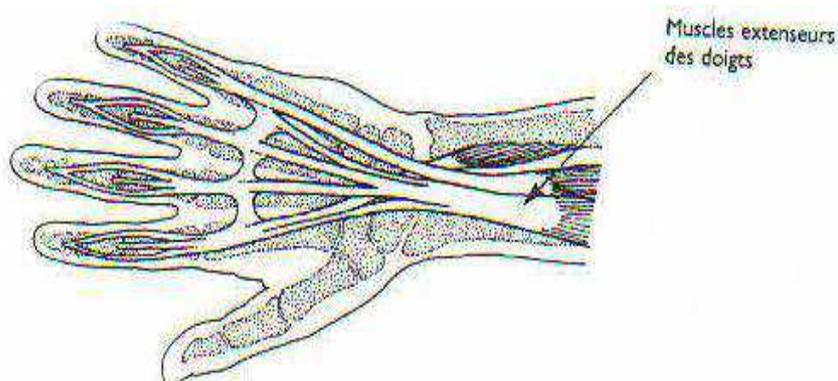


Fig 5.6

Les mouvements fins dont est capable la main sont contrôlés par de nombreux muscle. La plupart de ces muscles sont attachés aux os des doigts par les longs tendons.

#### 5.2.5. Ténosynovite

Les tendons pourraient être soumis à une épreuve dans certaines circonstances s'ils n'étaient protégés par la gaine synoviale, fig (5.7) et fg (5.8). En effet, imaginons ce qui se passe lorsque la main est entièrement fléchie et que l'on fait travailler les muscles extenseurs des doigts. Les tendons sont pressés contre les os du poignet, et le frottement excessif par des gaines synoviales. Il s'agit en quelque sorte de manchons lubrifiants qui enferment le tendon dans un espace où il peut glisser librement, baignant dans un liquide lubrifiant, la synovie.

Bien que les tendons qui sont entourés d'une gaine synoviale soient ainsi protégés, ils ne sont pas pour autant à l'abri d'une sur utilisation. Si la tendinite s'installe et que la gaine se retrouve comprimée par le tendon gonflé. La gaine elle-même s'irrite et s'enflamme alors. La téno-synovite est l'inflammation simultanée d'un tendon et de la gaine synoviale qui l'entoure.

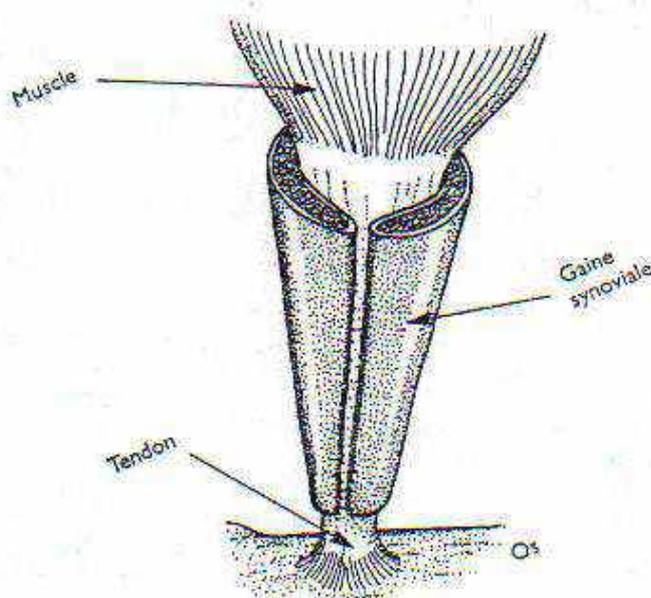


Fig 5.7

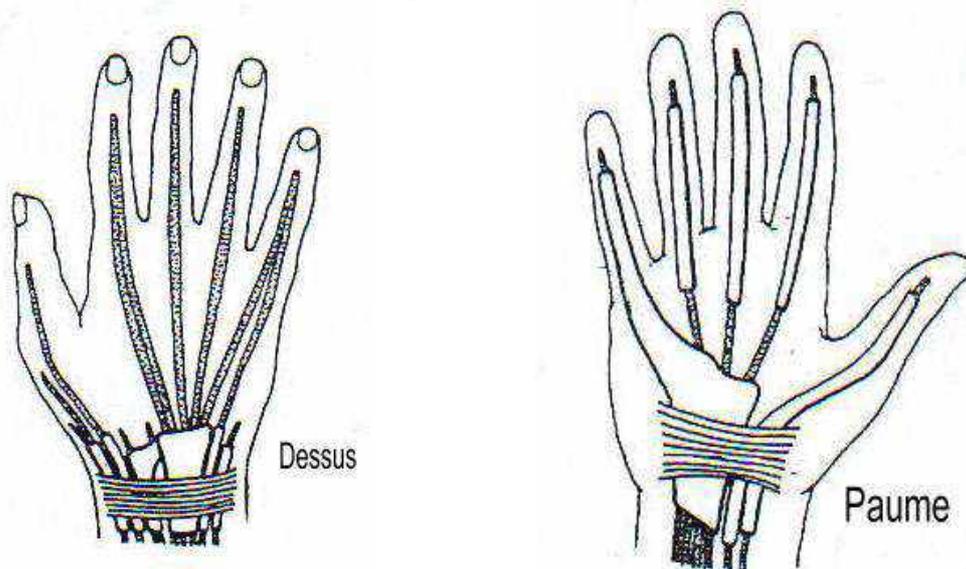


Fig 5.8

#### 5.2.6. Bursite

Au niveau de l'épaule, on trouve aussi des tendons qui, parce qu'ils se trouvent juste au-dessus d'un os (la tête de l'humérus), pourraient être blessés par le frottement s'il n'y avait pas un mécanisme protecteur. On trouve en effet, entre le tendon et l'os, une espèce de poche contenant du liquide synovial; on appelle ce contenant, la bourse.

La bourse agit donc comme un coussin lubrifiant qui permet au tendon de glisser sans dommage sur la protubérance osseuse, fig (5.9). Evidemment, on devine que la bursite (en latin, bursa) est l'inflammation de la bourse.

Cette inflammation de la bourse est généralement consécutive à l'inflammation du tendon. Avec l'enflure qui accompagne la tendinite, la bourse se retrouve comprimée entre les deux os. Le frottement et la compression peuvent blesser la bourse et être à l'origine de la bursite. Il arrive aussi que l'enflure du tendon se résorbe et que la bourse reste enliée, fig (5.10). L'enflure de la bourse peut à son tour comprimer le tendon et relance la tendinite. La bursite est donc parfois une complication d'une tendinite à l'épaule, fig (5.11)

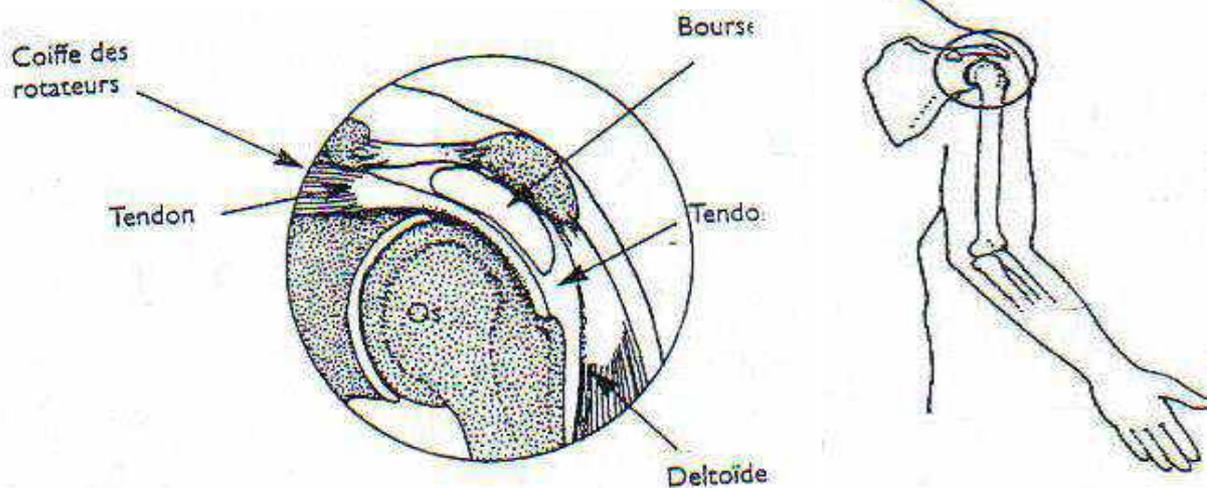


Fig 5.9

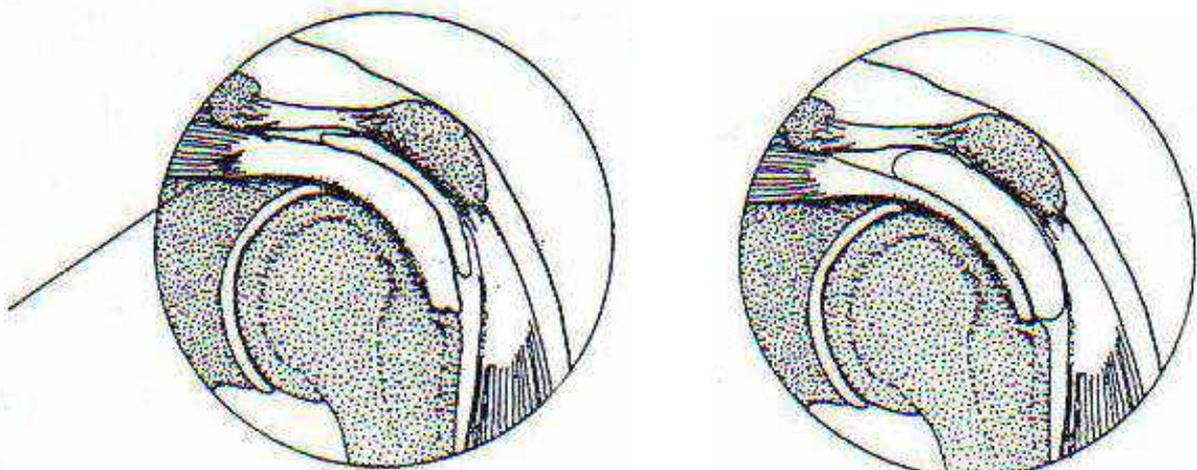


Fig 5.10  
Le tendon est enflé,  
**il comprime la bourse  
et l'irrite**

Fig 5.11  
L'enflure du tendon  
**s'est résorbée, mais  
l'inflammation de la  
bourse persiste**

### **5.2.7. Maladie de Quervain et tendinite poignet-main**

La tendinite poignet-main est une inflammation des tendons qui traverse l'articulation radio carpienne. La douleur et la sensibilité au toucher des tendons sont les signes et symptômes nécessaires au diagnostic. La maladie de Qervain, qui est une tendinite poignet-main fréquente, se manifeste par l'inflammation de deux des tendons du long abducteur et du court extenseur du pouce, fig (5.12), fig (5.13).

Ces maladies sont rencontrées chez les travailleurs de la transformation de la viande, les empaqueteurs.

**Insertion et action des tendons long  
abducteur et court extenseur**

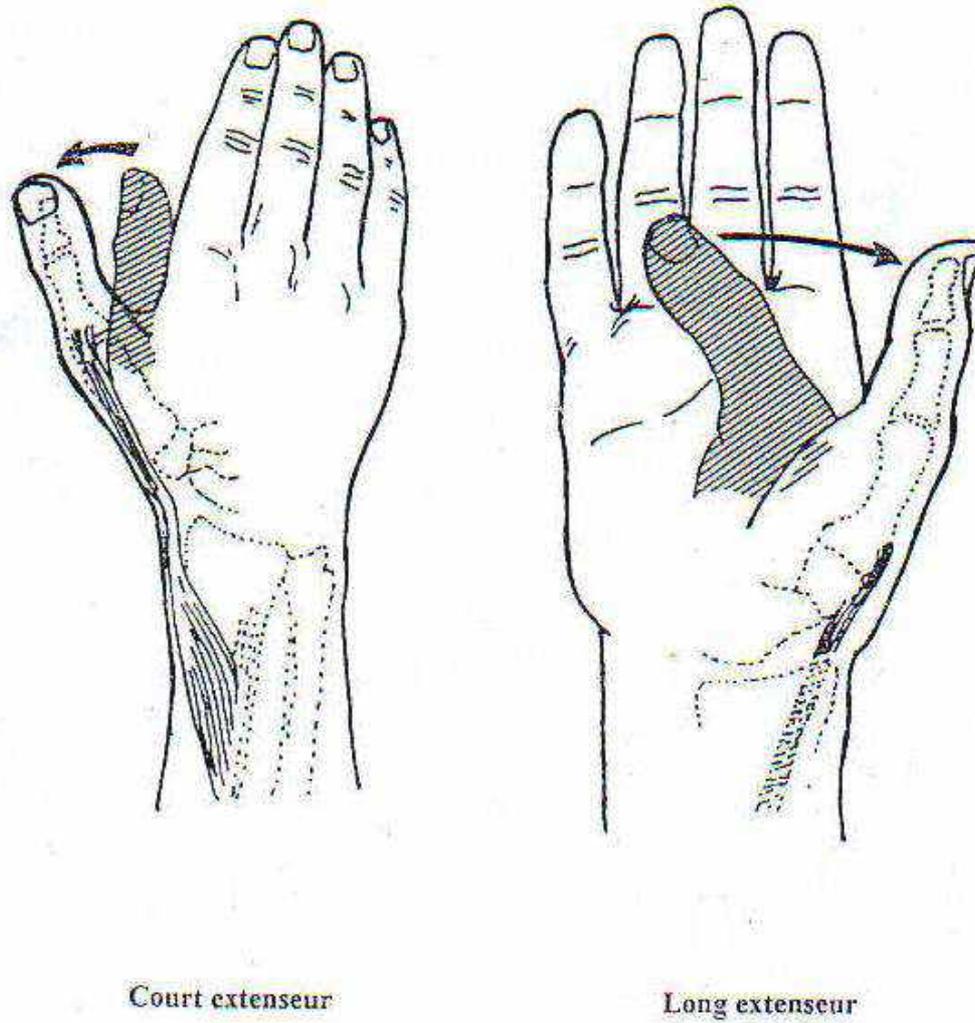
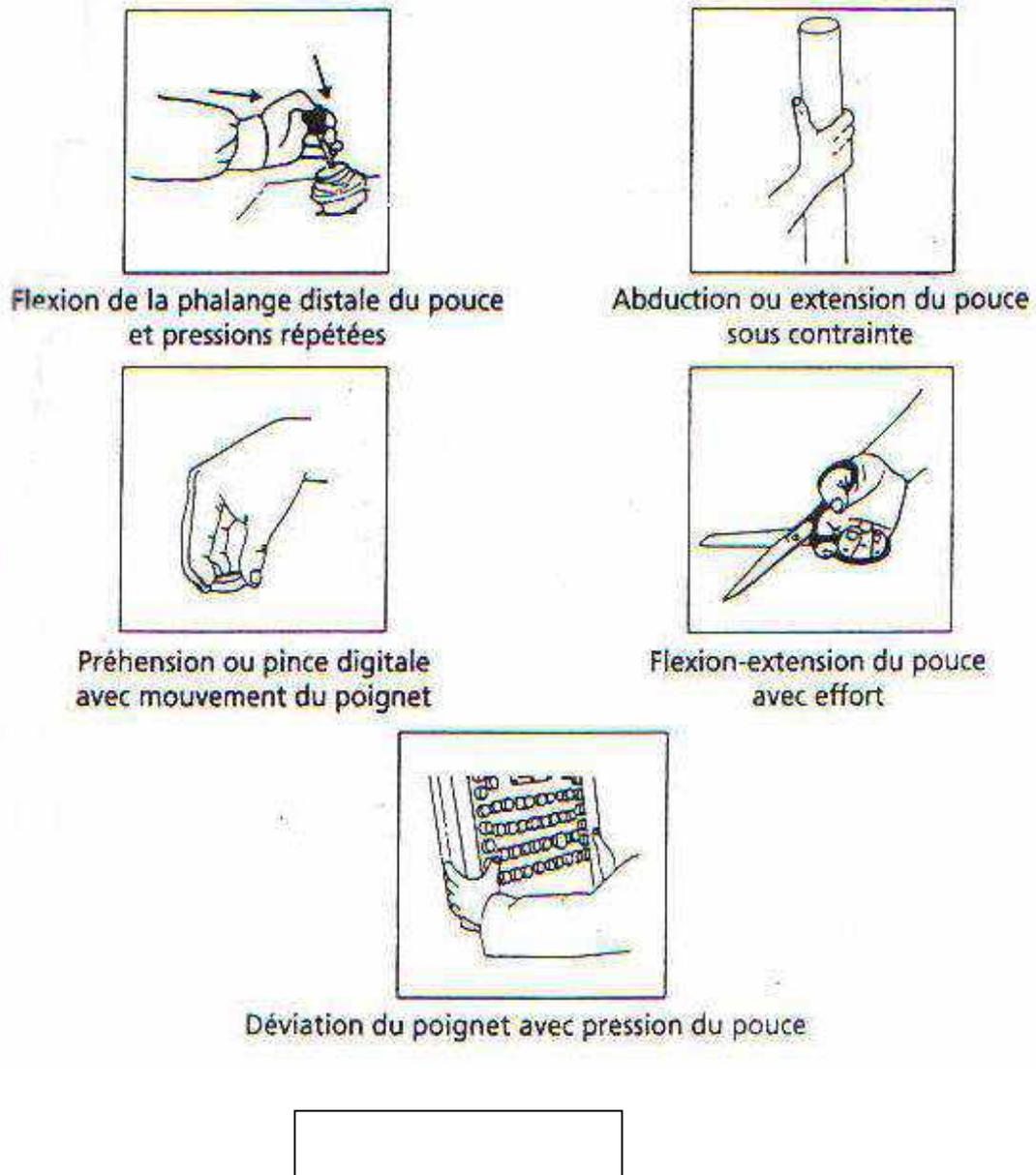


Fig 5.12

*Quelques applications de la ténosynovite de De Quervain sont illustrées à la fig (5.13)*

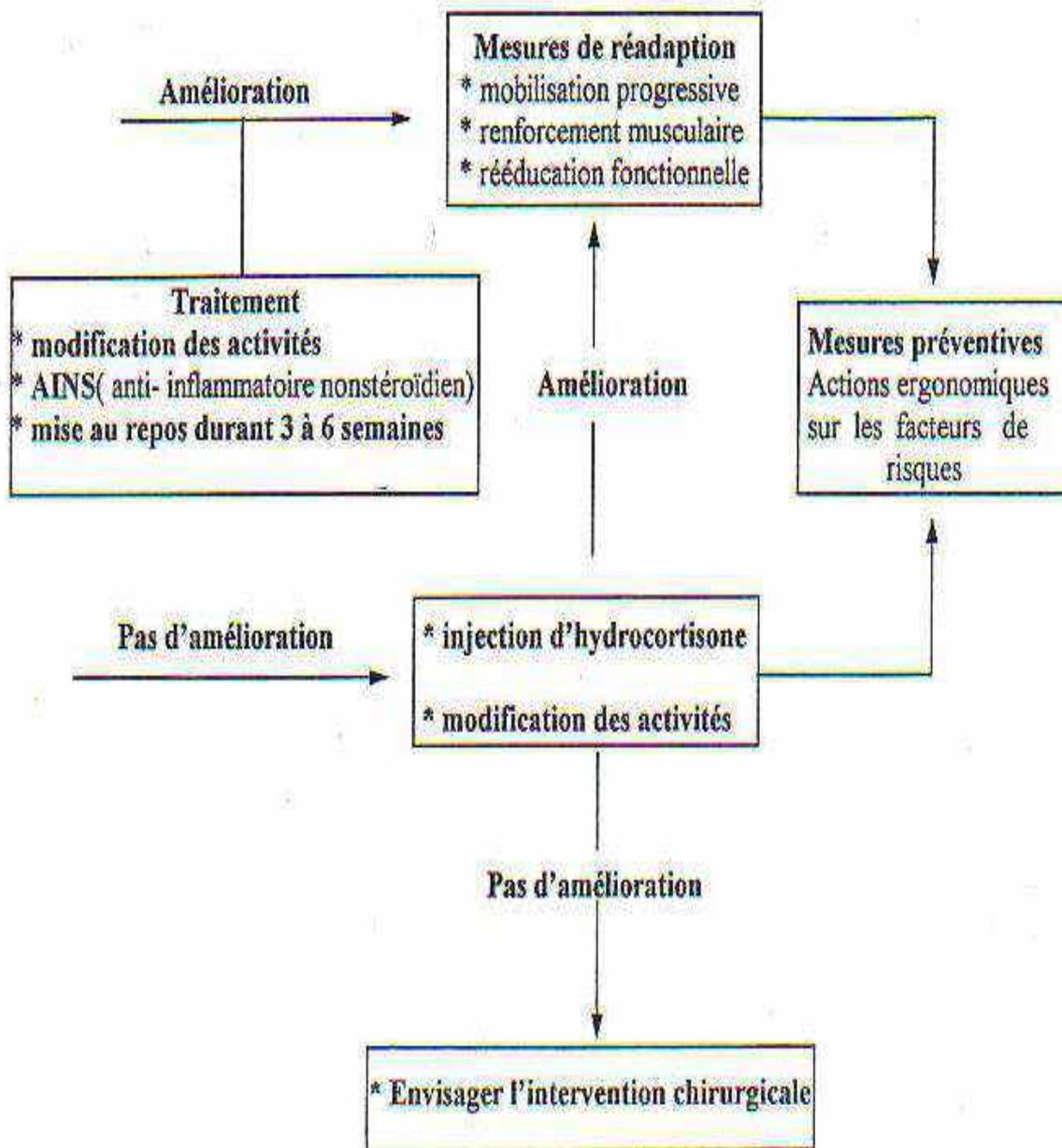
**Mouvements sollicitant le plus fréquemment  
les tendons long abducteur et court extenseur**



- sollicitation du pouce :
  - avec mouvements du poignet
  - avec pression au niveau de la paume ou de la main

fig 5.13

Algorithme pour la démarche thérapeutique  
Ténosynovite de De Quervain



5.2.8. Kyste synovial

Le kyste synovial est une accumulation de liquide synovial sous la peau dans la gaine du tendon. Cette maladie est toujours apparente due à la formation d'une bosse sous la peau souvent au poignet, fig (5.14)

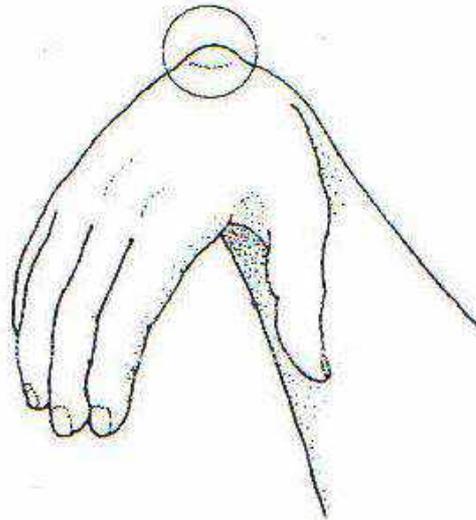


Fig 5.14

### 5.2.9. Syndrome du canal carpien

L'articulation du poignet est constituée de plusieurs os que l'on appelle les carpes. Ces os forment une cavité, c'est ce qu'on appelle le canal carpien dans laquelle passent de nombreux tendons, des nerfs et des vaisseaux sanguins, fig (5.15)

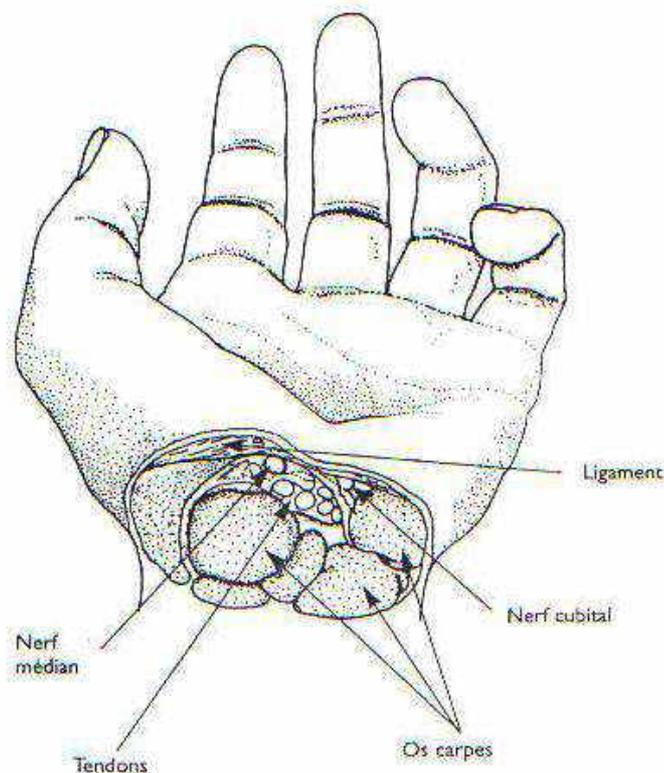
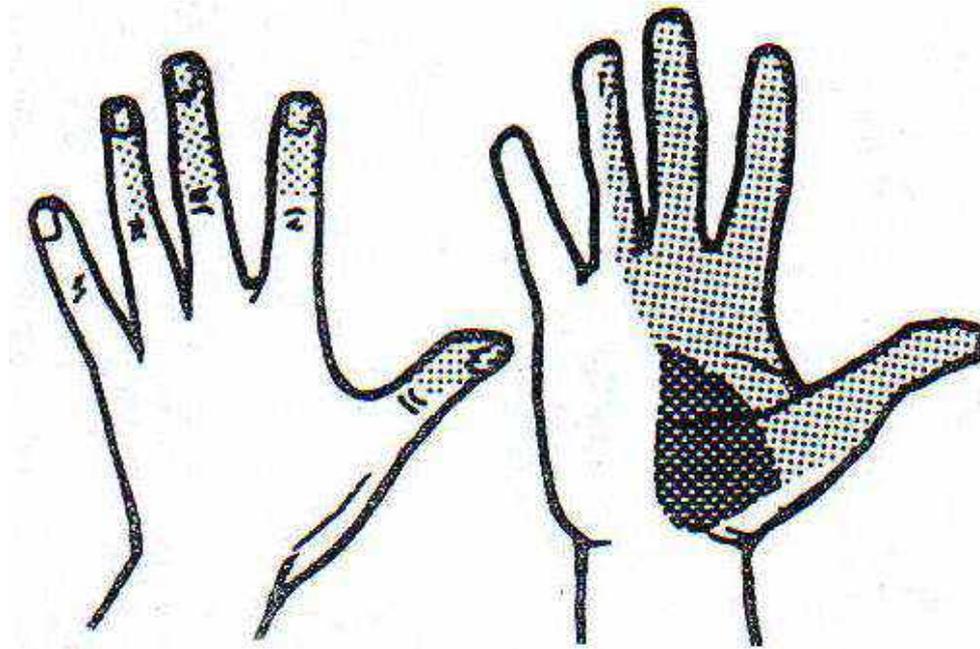


fig 5.15

*La zone d'innervation du nerf médian est illustrée à la fig(5.16)*



**Fig 5.16**

Les conséquences insérecte des changmeents du travail et notamment de son organisation, les troubles musculo-squelettiques voient leur nombre augmente au premier rang d'entre eux, le syndrome du canal carpien. Ces affections viennent de passer en tête des maladies professionnelles déclarées en plusieurs pays. Le syndrome du canal carpien se manifeste à la suite d'une lésion du nerf median au niveau du « creux de la main ». Il apparaît lors de gestes répétés ou prolongés qui exigent une extension du poignet ou un appui sur le talon de la main, mais aussi lors de mouvements de préhension répétés ou prolongés.

La sollicitation intense des tendons actionnant le poignet finit par provoquer une inflammation des tendons et de leurs gaines et entraine une compression du nerf. L'affection se manifeste d'abord par des douleurs et des fourmillements survenant en fin de nuit, dans les trois ou quatre premiers doigts. Le malade, réveillé, fait disparaître ces douleurs en secouant simplement la main. Cependant, lorsque les causes du mal persistent, la paralysie du pouce ne peut être évitée que si l'on pratique une opération chirurgicale.

Le déclenchement de ce syndrôme peut avoir une origine professionnelle. Certaines activités de la vie courante telles que le bricolage, le cyclisme, le hand ball, la pratique d'un instrument de musique, etc... sont également suceptibles de conduire au même résultat.

Le syndrôme du canal carpien est illustré à travers les activités, les mouvements et les gestes suivants à risque, fig (5.13).

Le demarche thérapeutique pour le syndrôme du canal carpien est donnée par l'algorithme de la fig (5.17).

Algorithme pour la démarche thérapeutique

Syndrome du canal carpien

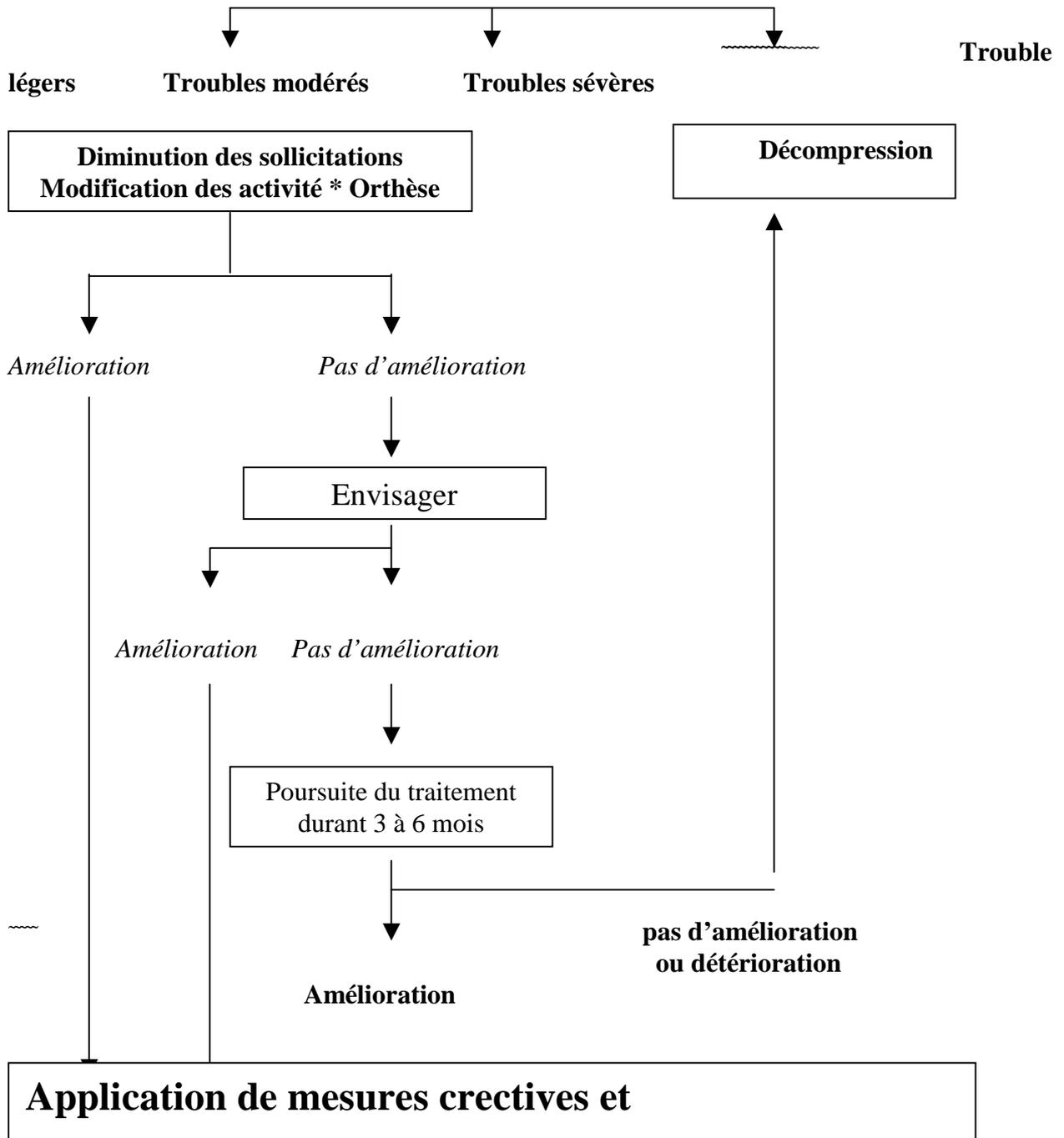
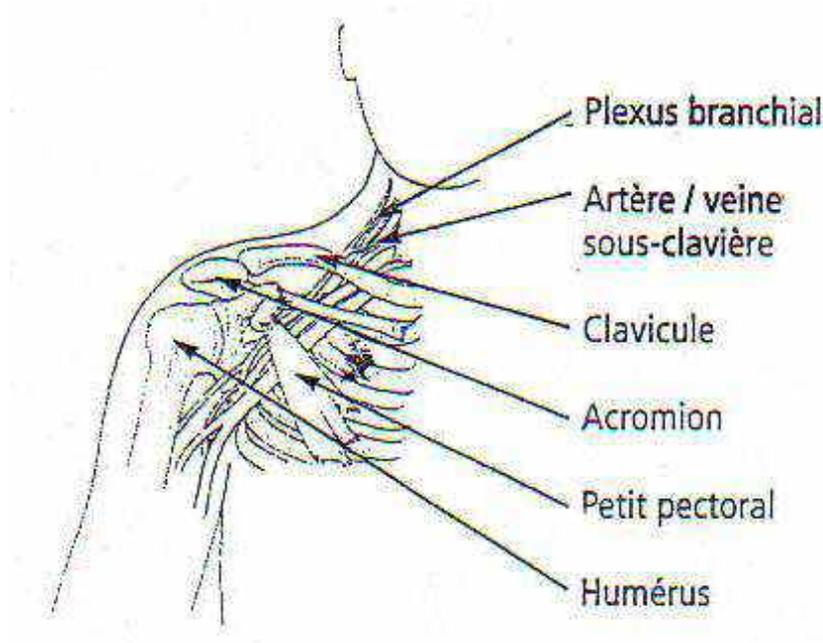


Fig 5.17

### 5.2.10. Syndrome cervico-brachial

Cette maladie est liée à la compression des nerfs et des vaisseaux sanguins entre le cou et l'épaule. Les symptômes sont similaires à ceux du syndrome du canal carpien à savoir, engourdissement des doigts et du bras et diminution du pouls cardiaque pris au poignet concerné, fig(5.18)



**Fig 5.18**

La situation de travail qui favorise la présence de cette affection est la compression de ces vaisseaux sanguins qui peut résulter à partir d'activités et de postures inconfortables telles que les atteintes répétées et prolongées au-dessus du niveau des épaules ou l'action de descendre l'épaule vers le bas et vers l'arrière comme lors du transport d'une valise lourde etc...

### 5.2.11. Syndrome de Raynaud

Le syndrome ou phénomène de Raynaud, est appelé aussi maladie des doigts blancs, est associé à des lésions des vaisseaux sanguins au niveau des doigts. Les principales causes de cette maladie sont dues à l'usage prolongé d'outils vibrant. L'expression au froid peut aggraver la situation.

Les symptômes courants influent l'engourdissement et le picotement des doigts, la pâleur et la froideur de la peau et la perte éventuelle de la sensibilité tactile et du contrôle dans les doigts et la mains.

### 5.2.12. LATER et activités de travail

Certains secteurs industriels et activités particulières de travail sont plus affectés que d'autres par la prévalence des LATER. Dans le tableau 5.1, ont été illustrés les travaux

susceptibles de produire les atteintes inflammatoires musculaires et tendineuses chez les travailleurs exposés.

*Tableau 5.1*

Type de travail	Troubles	Facteurs occupationnels
Camionner	Traversée thoraco-cervico brachiale	Abduction et flexions Prolongées des épaules
Noyauteur	Tendinite du poignet	Mouvements rapides de rotation du poignet
Travaux ménagés cuisinier	Syndrome du canal carpien Syndrome de De Quervains	Mouvements rapides de rotation du poignet
Menuisier briqueteur	Syndrome du canal carpien	Pression à la base de la paume Marteler
Salle d'entreposage et expédition	Traversée thoraco-cervico brachiale Tendinite de l'épaule	Transport de charges lourdes sur les épaules, position non-naturelle.
Boucher	Syndrome du canal carpien Syndrome de De Quervains	Déviaton ulnaire, poignet fléchi avec effort.
Assemblage de petites pièces	Tension au niveau du cou Traversée thoraco-cervico-brachiale Tendinite du poignet *epicondylite	Posture restreinte prlongée, déviations ulnaires vigoureuses et pressions sur le pouve, mouvements répétés du poignet, extensions et pronations vigoureuses du poignet.
Musiciens	Tendinite du poignet Syndrome du canal carpien Epicondylite Traversée thoraco-cervico brachiale	Mouvements vigoureux répétés du poignet, pression sur le paume, abductions / flexions prolongées de l'épaule, extensions vigoureuses du poignet avec pronation de l'avant bras.
Personnel des salles d'opération	Traversée thoraco-cervico brachiale Syndrome du canal carpien Synbdrome de De Quervains	Flexion prolongée de l'épaule Flexions répétées du poignet, déviaton ulnaire.
Empaquetage	Tendinite épaule et poignet Syndrome du canal carpien Syndrome de De Quervains Tension au niveau du cou	Charge prolongée sur les épaules, mouvements répétés du poignet, déviations ulnaires vigoureuses.

*Suite du tableau 5.1*

Type de travail	Troubles	Facteurs occupationnels
Chaîne d'assemblage	Tendinite épaule et poignet Syndrome du canal carpien Traversée thoraco-cervico brachiale	Extension, abduction ou flexion supérieure à 60° du bras, répétitif mouvements vigoureux du poignet.
Dactylographie	Tension au niveau du cou Syndrome du canal carpien Traversée thoraco-cervico brachiale	Statique, posture restreinte, Abduction/flexion des bras et mouvements très rapide des doigts, pressions sur la paume, déviation ulnaire.
Couture et découpage	Traversée thoraco-cervico brachiale Syndrome du canal carpien Syndrome de De Quervains	Flexion répétée de l'épaule, déviation ulnaire répétée. Flexion/ extension répétée de l'épaule, pression sur la paume
Coupage de verre Opératrices de téléphone	Coincement du nerf cubital	Flexion soutenue du coude et pression sur la cannelure ulnaire
Meuler	Syndrome du canal carpien Syndrome de De Quervains Traversée thoraco-cervico brachiale	Mouvements répétitifs du poignet, flexion prolongée des épaules, vibration, pronation répétée de l'avant-bras, déviation ulnaire forcée.
Opérateur de presse	Tendinite épaule et poignet Syndrome de De Quervains	Extension / flexion forcée et répétée du poignet, abduction/ flexion répétée de l'épaule, supination de l'avant bras. Déviation ulnaire répétée en actionnant les commandes.
Assemblage au-dessus du niveau des épaules (soudeurs, mécaniciens)	Traverse thoraco-cervico brachiale Tendinite de l'épaule	Hypertension soutenue des bras. Mains au-dessus du niveau des épaules

### 5.3. MAUX DE DOS

#### 5.3.1. Constitution de la colonne vertébrale

**Les maux de dos sont une véritable épidémie, et semble bien que personne ne soit épargné. Encore faut-il savoir comment il fonctionne ce dos, pour comprendre les maux.**

**La colonne vertébrale, apanage de l'homme, véritable charpente du corps supporte 3/4 du poids de notre corps et participe à toute l'activité motrice. Elle est constituée de 4 parties:**

**- La colonne cervicale est composée de 7 vertèbres cervicales superposées et articulées entre elles permettant une mobilité importante de la tête. Elle présente de nombreuses saillies et un large canal vertébral.**

**- La colonne dorsale comprend 12 vertèbres pratiquement fixées. Elle permet le maintien des côtes. Le trou vertébral est presque circulaire et les apophyses épineuses très longues augmentent la fixité de l'ensemble**

**- La colonne lombaire est formée de 5 vertèbres lombaires. Ce sont les articulations les plus sollicitées au cours des différents gestes de la vie. On enregistre d'ailleurs de très nombreux traumatismes articulaires au niveau de ces vertèbres.**

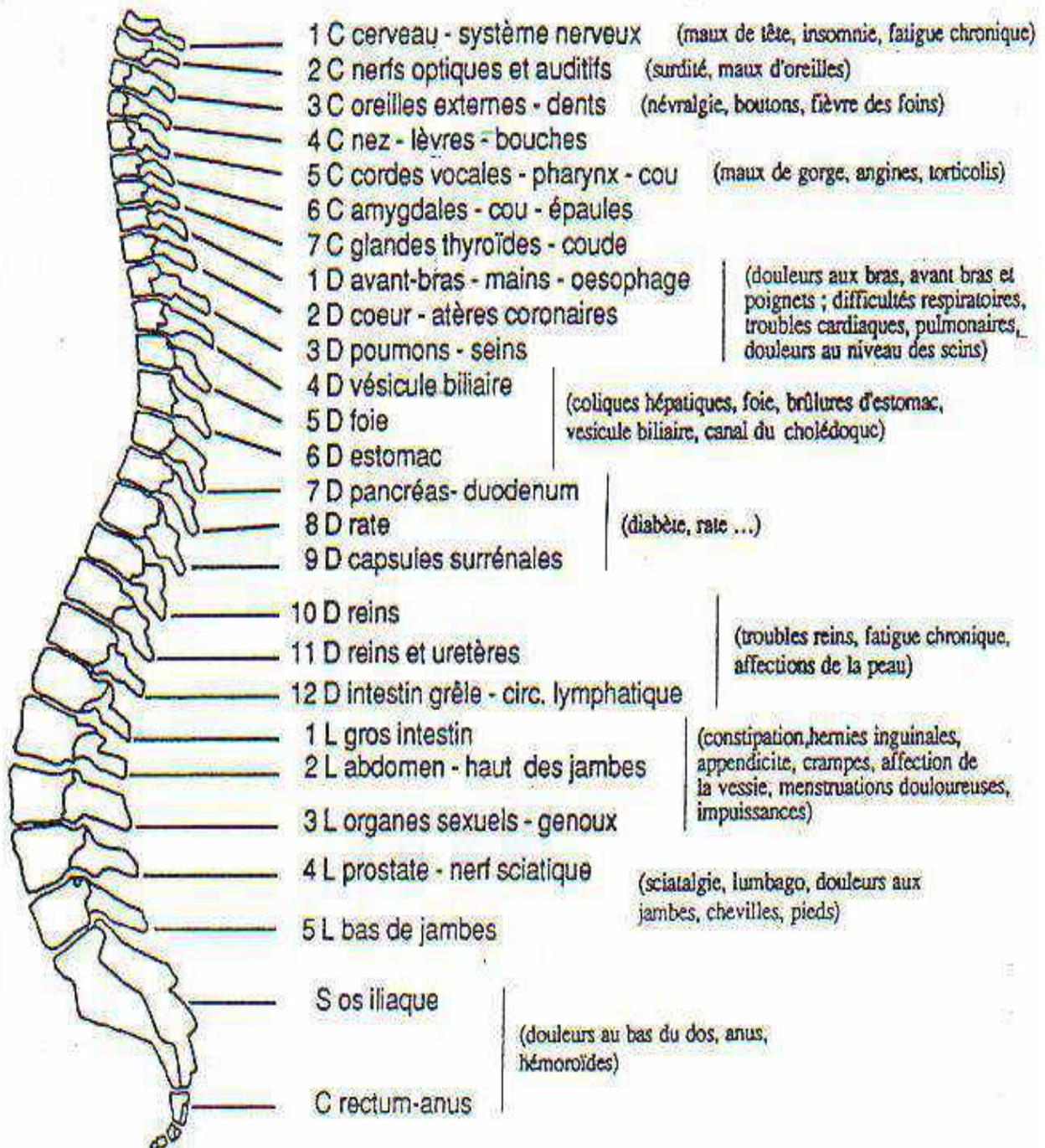
**- La colonne pelvienne, enfin, est constituée par le sacrum et le coccyx. Le sacrum est formé de 5 vertèbres sacrococcygiennes soudées. Sa forme est pyramidale, quadrangulaire, aplatie d'avant en arrière. Le coccyx est formé par la réunion de 4 à 6 vertèbres atrophiées, fig ( 5.19 ).**

**L'ensemble de la colonne vertébrale est composé d'os ( les vertèbres ), d'amortisseurs ( les disques ) et de nombreux ligaments de la tête et du tronc. La colonne, en plus de servir de protection pour maintenir la moelle épinière et les nerfs, permet de maintenir une posture ou de se mouvoir. Elle en quelque sorte le pivot sur lequel s'exercent plusieurs mouvements. Et pourquoi les maux de dos affectent-ils si souvent la région lombaire .**

**Parce que cette région supporte une très grande charge « les deux tiers du poids corporel » et qu'elle est la plus mobile, en effet 75% des mouvements effectués par le tronc dépendent de cette région.**



DIFFERENTS NIVEAUX D'INNERVATION



C = vertèbre cervicale ; D = vertèbre dorsale ; L = vertèbre lombaire

Fig 5.19

5.3.2. Rôle et courbures de la colonne vertébrale

Les dimensions des vertèbres comme dans tout empilage bien conçu s'accroît vers la base: des cervicales aux lombaires.

L'hétérogénéité de l'ensemble est accru par l'interposition entre les vertèbres de disques intervertébraux fibro-cartilagineux qui assurent la mobilité et la résistance de l'ensemble.

Pour maintenir cet assemblage en bonne position, le corps possède des ligaments et des muscles. Ils sont répartis un peu comme les haubans qui soutiennent le mât d'un bateau.

On se rend parfaitement compte de l'importance de ces muscles en palpant, à l'arrière, les deux côtés de la colonne vertébrale, et à l'avant, la paroi abdominale. Lorsque l'ensemble du corps se déplace ou se trouve en déséquilibre, la colonne vertébrale joue un équilibreur dynamique. Grâce au jeu subtil des muscles para vertébraux, les moindres déséquilibres sont compensés par les oscillations du mât à l'opposé.

Si la vue de face ou du dos de la colonne vertébrale est rectiligne, la vue de profil présente quatre courbures, fig (5.20 ), qui se répartissent de haut en bas en trois courbures mobiles:

- cervicale: convexe en avant;
- dorsale : concave en avant;
- lombaire : convexe en avant ou lordose;
- sacro-coccygienne fixe ( concave en avant )

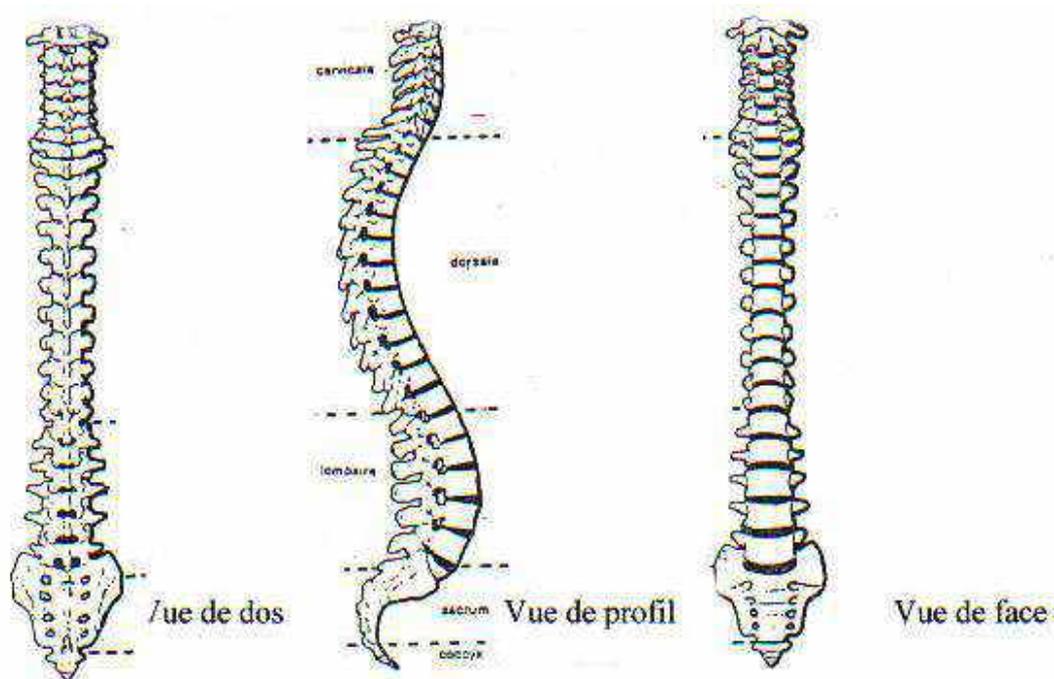


Fig 5.20

Ces courbures doivent se répartir de part et d'autre de la ligne médiane qui passe par le centre de gravité, pour donner au rachis son équilibre.

**Les courbures rachidiennes antéro-postérieures sont caractéristiques de l'espèce humaine et conséquence de l'adaptation à la station debout.**

### **5.3.3. Le système ligamentaire au niveau du rachis lombaire**

**Le système de liaison ligamentaire est présenté suivant plusieurs coupes. Sur la coupe sagittale, fig ( 5.21 ), on distingue très nettement deux systèmes ligamentaires:**

- d'une part, tout au long du rachis, les ligaments vertébraux communs antérieur (1) et postérieur ( 5 );**
- d'autre part un système de ligaments segmentaires entre les arcs postérieurs.**

**Le grand ligament vertébral commun antérieur (1), long ruban épais nacré s'étend, de l'apophyse basilaire de l'occipital au sacrum, sur la face antérieure du rachis. Il est formé de fibres longues qui vont d'un bout à l'autre du ligament et de fibres courtes arciformes, tendues d'une vertèbre à l'autre. En effet, il s'insère sur la face antérieure du disque intervertébral (3). Au niveau des coins antéro-supérieur et antéro-inférieur de chaque corps vertébral, il existe un espace décollable (4) où vont se former les ostéophytes lorsque se constituera l'arthrose vertébrale.**

**Le grand ligament vertébral commun postérieur (5) forme une bande étendue de l'apophyse basilaire jusqu'au canal sacré. Ses deux bords sont festonnés, car au niveau de la face postérieure de chaque disque intervertébral les fibres arciformes (6) s'insèrent très loin latéralement. Par contre le ligament ne prend aucune insertion sur la face postérieure du corps vertébral, dont il reste séparé par un espace parcouru par des plexus veineux-péri-rachidiens.**

**Entre ces corps vertébraux la coupe sagittale fait apparaître le disque intervertébral avec l'anneau fibreux (8) et le nucléus pulposus (9).**

**Au niveau de l'arc postérieur la liaison est assurée par des ligaments segmentaires:**

- chaque lame est réunie à la suivante par un ligament épais, très résistant, de coloration jaunâtre, le ligament jaune (11) dont on voit la coupe (12) sur la fig (5.21). Il s'insère en bas sur le bord interne se réunit à celui de son homologue contro-latéral sur la ligne médiane, fig (5.22) et ferme complètement en arrière le canal rachidien (11); en avant et en dehors, il recouvre la capsule et le ligament antéro-interne (14) des articulations inter-apophysaires. Le bord antéro-externe du ligament jaune vient ainsi affleurer le pourtour postérieur du trou de conjugaison.**
- entre chaque apophyse épineuse est tendu le puissant ligament inter-épineux (15), prolongé en arrière, par le ligament sur-épineux (16), cordon fibreux inséré sur le sommet des apophyses épineuses; au niveau lombaire il est peu distinct de l'entrecroisement des fibres d'intersection des muscles dorso-lombaires.**
- entre les tubercules accessoires des apophyses transverses est tendu de chaque côté un ligament intertransversaire (17 ), assez développé au niveau lombaire.**

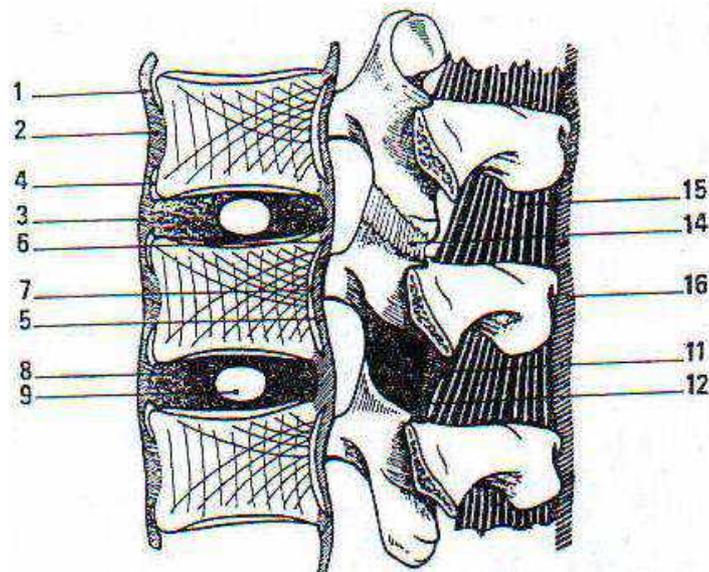
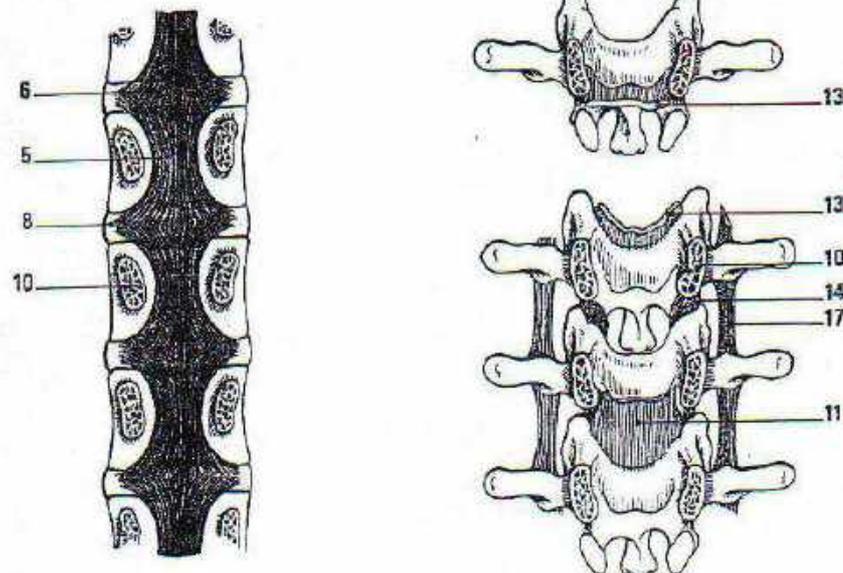


Fig 5.21



Vue frontale

Vue antérieure

Fig 5.22

#### 5.3.4. Constitution des vertèbres

Sur une vertèbre lombaire, fig (5.23), on peut distinguer les éléments constitutifs: sur la fig (5.24 ), ils ont été disposés en éclatés:

- le corps vertébral (1), réniforme, est plus étendu en largeur que dans le sens anté-postérieur; il est aussi plus large que haut et son pourtour est profondément excavé affectant la forme du diabolo, sauf en arrière où il est presque plan.

- les deux lames (2) sont très hautes, elles se dirigent en arrière et en dedans mais leur plan est oblique en bas et en dehors.
- elles se réunissent en arrière pour donner naissance à une apophyse épineuse (3) très massive, rectangulaire, dirigée directement vers l'arrière et renflée à son extrémité postérieure.
- les apophyses costales (4) qu'on appelle improprement apophyse transverses, car elles sont en réalité des reliquats de côtes, s'implantant à la hauteur des articulations et se dirigent obliquement en arrière et en dehors. A la face postérieure de la base d'implantation des apophyses costiformes, se situe le tubercule accessoire qui d'après certains serait l'homologue de l'apophyse transverse des vertèbres dorsales.
- le pédicule (5), courte portion osseuse réunissant l'arc postérieur au corps vertébral, s'implante sur la face postérieure du corps vertébral dans son angle supéro-externe. Il forme la limite supérieure et la limite inférieure des trous de conjugaison; en arrière il donne insertion au massif des articulations.
- l'apophyse articulaire supérieure (6) se dresse au bord supérieur de la lame à sa jonction avec le pédicule; son plan est oblique en arrière et en dehors et elle présente une facette articulaire encroûtée de cartilages qui regarde en arrière et en dedans.
- l'apophyse articulaire inférieure (7) se détache du bord inférieur de l'arc postérieur, près de jonction de la lame avec l'épineuse. Elle se dirige en bas et en dehors et porte une facette articulaire encroûtée de cartilages qui regarde en dehors et en avant.
- entre la face postérieure du corps vertébral et l'arc postérieur se trouve délimité le trou vertébral formant un triangle à peu près équilatéral.

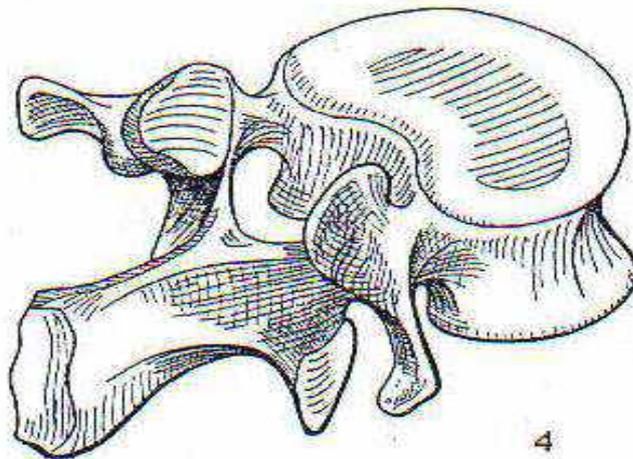


Fig 5.23

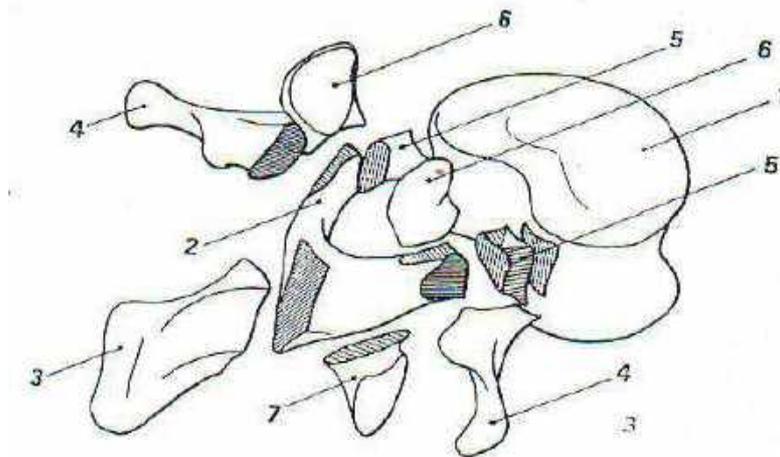


Fig 5.24

### 5.3.5. Disques intervertébraux

**Le disque a une triple fonctions :**

- **d'union;**
- **de transmission des forces;**
- **de mobilité**

Avec le corps vertébral il est un des éléments de soutien de la colonne vertébrale qui se situe entre deux plateaux vertébraux ( excepté entre les deux premières cervicales qui sont dépourvues de disques ).

Son élasticité lui permet d'absorber les chocs. Si la base de la colonne vertébrale reçoit un coup, les disques de cartilage fibreux placés entre chaque vertèbre amortissent le choc et le cerveau ne le ressent pas.

Les disques intervertébraux sont l'élément amortisseur principal du rachis. Si la hauteur de tous les disques intervertébraux est additionnée, on obtient un « coussin » amortisseur qui n'a pas moins de 30 cm d'épaisseur.

Le disque intervertébral joue un double rôles : d'amortisseur, et permet des mouvements dans les trois plans de l'espace, mais également des mouvements de cisaillement ou de translation latérale et des mouvements d'auto grandissement du fait de sa relative plasticité.

Le disque intervertébral, fig (5.25 ), a 3 grandes fonctions: attache, mobilité soutien et transmission des pressions. Il se compose par les parties suivantes:

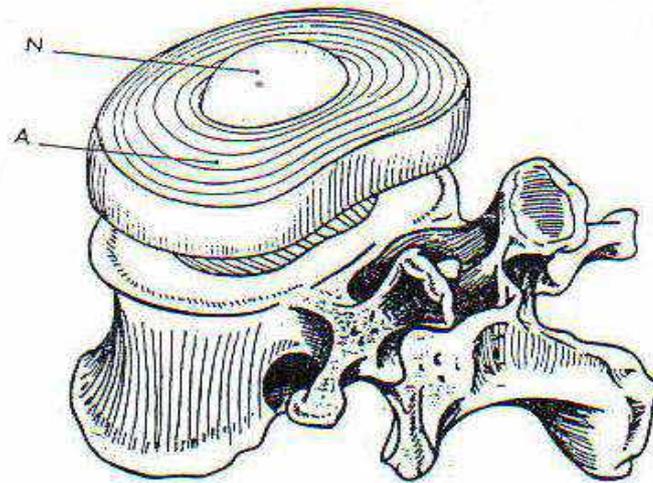


Fig 5.25

L'annulus fibrosus , de configuration cunéiforme, joue le rôle de ligament interosseux, ainsi que de maintien dans les courbures antéro-postérieures de la colonne vertébrale. Le disque lombo-sacré est formé de lamelles fibreuses concentriques, qui entourent le nucleus pulposus. L'ensemble est intimement uni au corps vertébral. Les lamelles fibrocartilagineuses sont obliques par rapport à la verticale depuis la périphérie vers le centre et leur obliquité est croisée lorsqu'on passe d'une couche à l'autre. Cette configuration permet à l'annulus de résister à la poussée verticale et horizontale du nucleus pulposus

Il est important de signaler que la cunéiforme de L5 et du disque permet un rattrapage de l'inclinaison sacrée, tout en effaçant l'ensellure lombaire.

Le disque, n'ayant pas de vascularisation, se nourrit par inhibition directe à partir du corps vertébral. Au cours de l'élongation le disque se réhydrate. Sous l'effet d'une charge, le disque s'affaisse, tandis qu'augmente sa circonférence. Lorsqu'il y a plus de contrainte, le disque reprend sa forme primitive. L'affaissement est de 1,4 mm avec un poids de 100 kg. Avec une charge de 130 kg, pendant 5 minutes, il faut plusieurs heures pour revenir à l'état antérieur, fig (5.26 ).

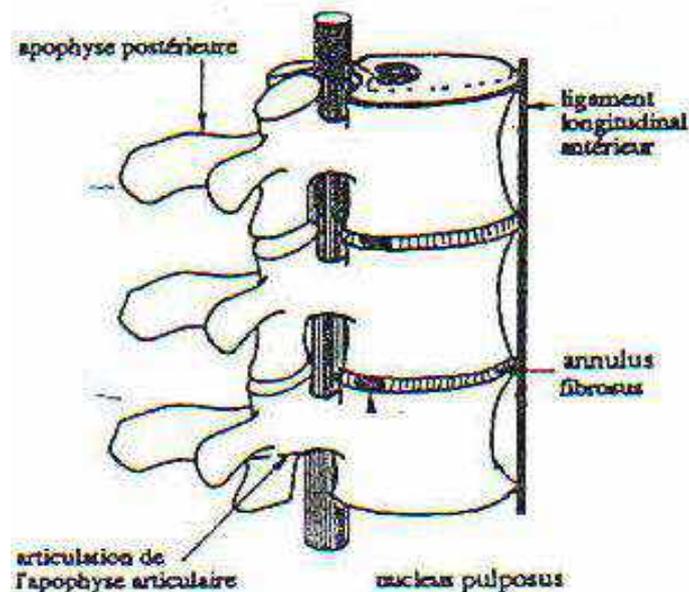


Fig 5.26

Le nucleus pulposus est la partie centrale du disque. De substance gélatineuse, molle, il a des traits de parenté avec la synovie des articulations. Le nucleus est très riche en eau. Il sert de répartiteur des pressions, ce qui évite des pressions anormales au niveau des vertèbres. Il agit comme un élément hydraulique, la pression qui lui est appliquée est reprise en tension pour les fibres de l'anneau et en compression par les surfaces articulaires.

La moelle épinière se situe dans le canal rachidien, véritable tunnel ostéofibreux. Elle est à la fois centre nerveux, autonome, centre d'actes -réflexes; c'est aussi un axe conducteur (motricité, sensibilité). Sa forme cylindrique s'étend du bulbe « queue de cheval ». Par les trous de conjugaison sortent les nerfs qui vont innerver l'ensemble du corps.

#### 5.4. Conséquences des gestes et des postures

Les gestes et les postures sur les lieux de travail sont à l'origine du nombre important d'accidents du travail. Ces accidents sont en constante augmentation, ils ont pour noms « tour de reins » ( lumbago ), ( sciatique ), déplacement de vertèbres « pincement de disque », « masse du sang ». L'éventail et la complexité des risques sont très vaste.

La colonne vertébrale est quasiment sollicitée lors de toutes les activités professionnelles et extra-professionnelles. La complexité du jeu articulaire vertébral est déterminant pour le choix d'une attitude juste face à une activité. L'élasticité des ligaments et des muscles diminue avec l'âge, cette diminution atteint non seulement le pouvoir cinétique des muscles, mais restreint la laxité articulaire. Chez les malingres, la souplesse se localise exclusivement aux régions lombaires et cervicales, ce qui entraîne très rapidement, à ce niveau-là, des douleurs lombalgiques et des microtraumatismes du rachis. Par contre, il s'ensuit un blocage costro- vertébral qui limite le jeu respiratoire.

##### 5.4.1. Principales causes des maux de dos

D'une manière générale, on peut diviser les blessures du dos en deux catégories:

- Les blessures instantanées
- Les blessures cumulatives

Les premiers se produisent soudainement, à la suite d'une chute, d'une collision, d'une glissade, ou encore à la suite d'efforts très intenses (soulever des poids importants). Les blessures instantanées les plus fréquemment observées sont les élongations musculaires, les fractures osseuses, les déchirures ligamentaires, les entorses cervicales, dorsales et lombaires.

Les blessures cumulatives se produisent différemment. Dans la plupart des cas, elles sont associées à l'exercice d'efforts répétés. Les micro-traumatismes ( les petites lésions ) qui apparaissent alors s'ajoutent les unes aux autres et finissent par provoquer une lésion importante, tel l'arthrose des articulations

La douleur au dos n'apparaît en général qu'avec de bonnes raisons. On n'a pas mal au dos, parce qu'on se sent un peu mal, parce qu'on n'a pas le goût d'aller travailler, parce qu'on n'est pas assez « dur à l'ouvrage » comme certains employeurs voudraient parfois le faire croire.

#### *Les facteurs de risques*

Plusieurs facteurs peuvent expliquer le développement des maux de dos . Voici un certain nombre de situations aisément observables, qui se rencontrent fréquemment dans nos milieux de travail et où les gestes et les postures adoptés abusent de la résistance de la colonne.

- le travail répétitif;
- une posture statique ( rigide et immobile ) ;
- le maintien de postures contraignantes;
- des efforts excessifs;
- un travail en position de torsion ( ou asymétrie ) ;
- des postures ou moments extérieurs;
- la présence des chocs et des vibrations.

#### 5.4.2. Principaux accidents au cours d'attitudes dangereuses

Les levers et porters de charge, les attitudes face à des situations de travail, entraînent un certain nombre de risques pour la colonne vertébrale. Dans la flexion du tronc, on enregistre un écartement vertébral très important, ce qui entraîne un pincement du disque intervertébral et provoque une migration en arrière du nucleus pulposus, et obstrue le canal médullaire, fig (5.27). La migration est progressive; elle entraîne un décentrage simple, ensuite une fissuration annulaire, pour atteindre la protusion discale et la herniation.

Au cours d'une flexion avant, jambes tendues, dos arrondi ( ex: assis dans un siège coquille, etc...) les lombaires se trouvent en cyphose, le système ilio- ligamentaire A se met en tension, fig ( 5.28 ). Si le redressement est trop rapide, il y a relâchement des masses ilio-ligamentaires B, ainsi qu'une absence de vigilance musculaire.

Ces phénomènes entraînent des mi- convergences, avec cisaillement alors, une très vive douleur. La répétition de telles positions entraîne au-delà de douleurs très vives, de micro - rétrolisthésis, facteurs de déséquilibre du rachis et des douleurs persistantes.

L'extension de la colonne vertébrale, la marche trop cambrée, le port de chaussures à talons trop élevés, le soulever de charge avec élévations des bras avec inclinaison du tronc vers l'arrière, entraînent très souvent des cisaillements d'hyper- habitation des articulations vertébrales.

Les apophyses épineuses très obliques au niveau lombaire sont très souvent en hyper- convergence, ce qui entraîne des algies très douloureuses, fig ( 5.29 ).

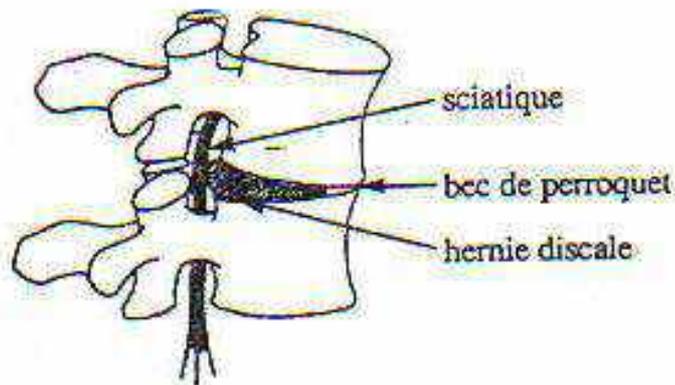


Fig 5.27

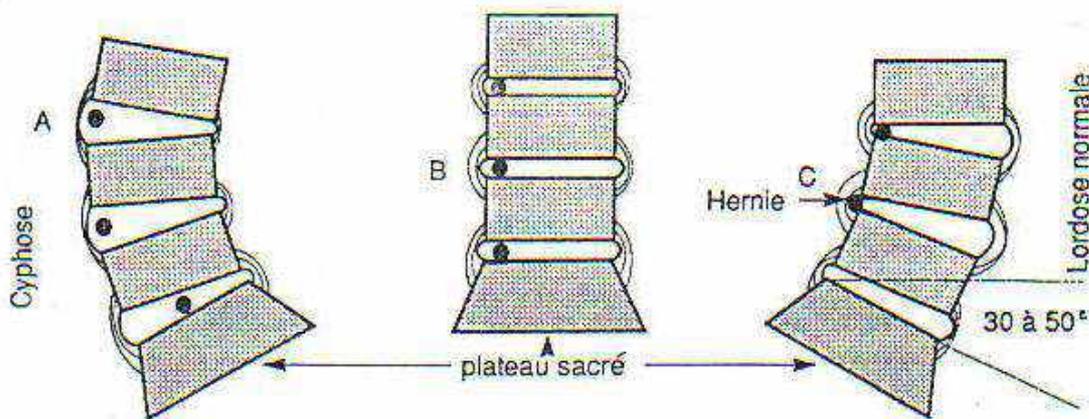


Fig 5.28

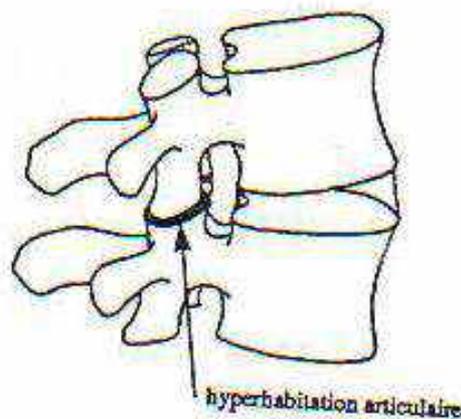


Fig 5.29

### 5.5. Aspects pathomécaniques

La colonne vertébrale est conçue afin de répondre à cette gageuse de totaliser à la fois des qualités de souplesse et de résistance, de rigidité et de mobilité.

Toutefois les conditions nécessaires à la réunion de ces qualités apparemment contradictoires ne peuvent pas toujours et en permanence être réunies compte tenu des contraintes auxquelles le corps humain peut être exposé, notamment à l'occasion de certains gestes et postures de travail.

Ces lacunes se traduisent par les accidents recensés en (douleurs, efforts et lombagos) ou d'une façon plus générale parce qu'il est convenu d'appeler les algies d'efforts qui peuvent toucher toutes les parties de la colonne vertébrale mais plus particulièrement la région lombaire; elles trouvent leurs origines dans les différentes parties des unités fonctionnelles plus ou moins richement dotées de cellules nerveuses sensibles.

**Innervation sensitive d'une unité fonctionnelle vertébrale;**

**Les ligaments et le disque seuls sont dépourvus de terminaux nerveux sensitifs.**

#### 5.5.1. Douleurs discales

Les lésions discales figurent parmi les causes de maladies ou d'accidents les plus fréquentes de la simple douleur à la hernie discale. Il importe dans le but de prévention d'en comprendre le mécanisme.

Si nous nous reportons à l'anatomie du disque intervertébral, nous avons vu que dans une position normale de la colonne vertébrale, en équilibre, le noyau répartissait la pression subie par le disque équitablement à toute sa périphérie constituée par les anneaux fibreux.

Le noyau constituant un amortisseur hydrostatique qui répartit sur l'anneau fibreux les forces qui lui sont appliquées; la répartition de ces forces sera variable selon la position du sujet. Lorsque le sujet se penche en avant, la majeure partie des forces s'applique sur la région postérieure du disque.

C'est là un mouvement des plus fréquents; qu'il s'agisse pour la ménagère de soulever un seau, pour le travailleur une caisse à outils ou pour le touriste une valise. Mais également et surtout, en vertu des principes d'utilisation rationnelle du corps humain ce geste constitue une erreur des plus flagrantes, bien que maintes fois reproduite.

Si nous rapprochons en effet le geste relatif à physiologie, nous constatons que dans le cas de la fig (5.30), le rôle primordial pour cette action de soulèvement est détenu par la colonne vertébrale et le dos en général.

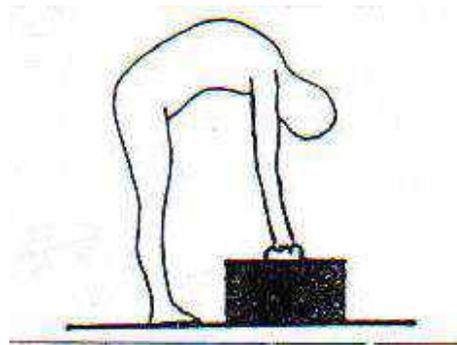


Fig 5.30

On en arrive donc, par simple observation, à une situation aberrante de fonctionnement de chacune des parties du corps humain ainsi impliquées dans cette opération banale. Situation que l'on peut schématiser par le tableau 5.2.

Tableau 5.2

Partie du corps	Puissance	Sollicitation logique	Rôle effectif
Bras	Moyenne	Moyenne	Moyen
Dos	Faible	Mineure	Primordial
Jambes	Elevée	Majeure	Nul

Et c'est dans ce cas de figure que le noyau et les anneaux fibreux vont être soumis à des pressions accrues et inégalement réparties.

Leurs propriétés mécaniques peuvent permettre au disque sain de subir sans dommage ces pressions mêmes importantes.

Mais aussi nous avons vu que par suite du vieillissement irréversible et/ ou par suite d'efforts répétés, la qualité du disque va diminuer et il aura de plus en plus de difficultés à remplir son rôle d'amortisseur.

C'est lors d'efforts importants que se constituent dans l'anneau fibreux des fissures profondes, des fentes en forme d'arc de rupture en rayons dans lesquelles peuvent s'engager des fragments du noyau. Les conditions sont identiques si nous penchons en arrière ou sur le côté, en ce sens que le disque se soulève du côté non chargé et s'aplatit de l'autre, fig ( 5.31 ).

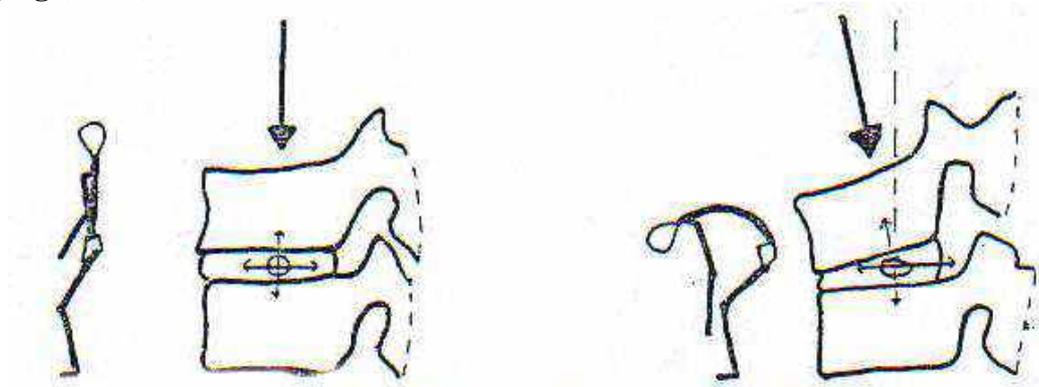


Fig 5.31

Le phénomène de lombalgie est lié à l'altération progressive des disques. Celle-ci débute par une déshydratation ( perte en eau ) du noyau qui se dessèche, se fragmente et ne

joue plus son rôle d'amortisseur. L'anneau fibreux, comprimé verticalement se fissure. Tout se passe comme s'il s'agissait d'une éponge artificielle desséchée à qui vous voudriez faire subir les mêmes pressions et torsions que lorsqu'elle était humide. Ce qui ne manquerait pas de provoquer des fissures et des déchirures de plus en plus importantes. Et c'est dans ces fissures que sous l'effet des pressions inégalement réparties et de leurs poussées qu'une partie du noyau gélatineux va pénétrer. C'est entre 20 et 30 ans que peuvent apparaître ces fissures.

Si nous savons que le disque intervertébral est dépourvu de sensibilité, la douleur « discale » proviendra donc des tissus avoisinants; ( le disque étant responsable de cette douleur par pression sur ces tissus ). A sa périphérie le disque entouré par un tissu fibreux en continuité en arrière avec le ligament commun vertébral. C'est cette région péricar discale, richement innervée qui est le point de départ des douleurs d'origine discale.

Les accidents lombalgiques traduisent différentes étapes de ces lésions du disque en confrontation avec des gestes ou des postures suscitant des pressions supérieures à celles supportables par celui-ci en fonction de son état.

Tous ces accidents sont le résultat d'opérations et d'erreurs mécaniques inhérentes aux gestes et postures de travail irréflechis ou incontrôlés.

Si un traumatisme important peut léser un disque sain: chute, effort brutal de soulèvement, fracture d'un plateau vertébral, ce cas est assez rare.

Le plus souvent cependant il s'agit d'un traumatisme minime, anodin qui vient déchirer un disque dégénéré à la suite d'un mouvement souvent répétitif, bien que ce dernier ait été identique à ceux effectués précédemment.

A l'extrême, la position assise prolongée en cyphose lombaire ( fauteuil profond, voiture, etc...) peut entraîner une déchirure discale.

Tout particulièrement c'est la répétition de mouvements imposant au disque intervertébral des efforts anormaux ( flexion de grande amplitude, rotation, torsion, flexion et rotation à la fois qui conduit à plus ou moins long terme à une détérioration du disque intervertébral. En particulier les lamelles de l'anneau fibreux risquent de se distendre ou se craqueler et tous les accidents de la pathologie discale seront la conséquence de cette détérioration.

On peut regrouper les accidents du disque en quatre formes qui peuvent survenir successivement par aggravation de l'état du disque intervertébral par étapes progressives ou brutalement à l'un quelconque de ces quatre stades.

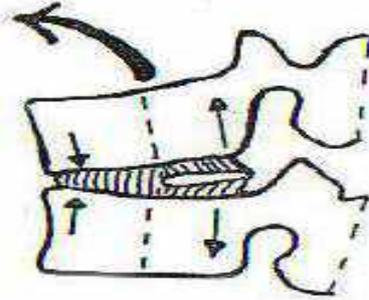
Nous allons les aborder selon un ordre chronologique relativement rationnel. Ces accidents cliniques sont interprétés comme traduisant les différents stades de ces lésions.

#### 5.5.2. Le lumbago

Nous savons qu'en cas de pression lors des mouvements de la colonne vertébrale le noyau se déplace et se déforme légèrement pour répartir cette pression à l'anneau fibreux, mais dans un anneau fissuré et en cas de pression importante à une de ses extrémités excentrées par rapport à sa position et peut pénétrer dans ces fissures dans le sens opposé à cet axe de pression, fig (5.32).

Fig 5.32 .

Le tronc penché en avant: le noyau vient irriter les nerfs sensitifs du ligament longitudinal postérieur : violence douleur.



Ce noyau ainsi déplacé ou plus généralement un fragment de ce noyau en atteignant et en déformant à son tour la périphérie du disque va provoquer une douleur par irritation des nerfs sensitifs. Ce fragment peut rapidement se décroincer et la douleur disparaît. Par rapport à la douleur la lombalgie s'aggrave quand un fragment du noyau est bloqué dans une fissure, pincé, il provoque une douleur aiguë et une immobilité totale .

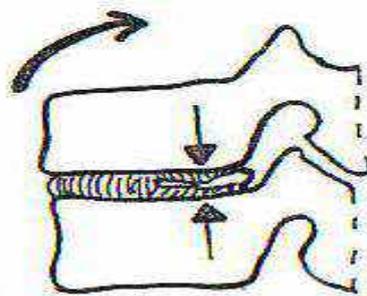
C'est le mécanisme du lumbago contre lequel la médecine intervient pour apaiser la douleur et prescrire la mise au repos jusqu'au retour à la normale. Mais en aucun cas on ne peut parler de guérison car les fissures demeurant ouvertes, etc...., les mêmes causes produiront les mêmes effets.

Dans le cas de blocage musculaire, un fragment plus ou moins volumineux du noyau s'est engagé dans une fissure postérieure de l'anneau. L'irruption de ce fragment au contact du ligament commun vertébral postérieur entraîne une douleur aiguë: c'est le classique lumbago.

Le lumbago aigu est donc dû au coincement d'un fragment de noyau dans une cavité de l'annulus assez périphérique pour venir soulever le surtout fibreux vertébral postérieur qui lui est innervé, fig ( 5.33 ).

Fig 5.33.

Sous l'effet de la douleur au redressement les fragments du noyau se trouvent coincés dans la position douloureuse: lumbago aigu.



Ce coincement d'une partie du noyau dans les lamelles de l'anneau fibreux qui ne peut réintégrer le centre du disque se produit lors d'un mouvement inverse à celui qui a provoqué son déplacement ( redressement après flexion ). Les nerfs sensitifs irrités provoquent alors une douleur violente entraînant par réflexe un blocage musculaire en position semi-fléchie.

La différence entre le lumbago aigu et la lombalgie chronique connaît pour origine un phénomène voisin mais sans blocage de fragment nucléaire ( peut être du fait déjà plus large dans le matériel annulaire).

### 5.5.3. La sciatique

Par rapport au lumbago on admet que la répétition des mouvements néfastes entraînera une progression du noyau à travers les fissures vers la périphérie du disque. La déformation alors causée par le noyau peut être suffisamment importante pour irriter la racine d'un nerf rachidien sortant par un trou de conjugaison. Dans la région lombaire la déformation atteint le nerf sciatique.

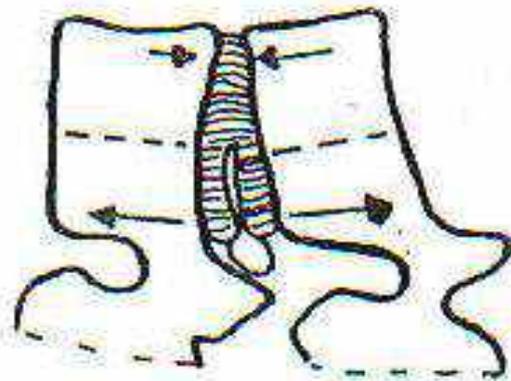
C'est la sciatique qui provoque une vive douleur qui descend dans la jambe. Elle est habituellement caractérisée par son trajet: elle part de la région lombo-sacrée, descend dans la fesse, la face postérieure de la cuisse, la jambe et gagne le pied. Elle peut s'installer brutalement ou descendre progressivement en quelques heures ou quelques jours.

### 5.5.4. Hernie discale

Par rapport au lumbago ou à la sciatique à un degré de plus, le fragment du noyau va repousser le ligament commun vertébral postérieur pour faire saillie dans le canal rachidien. Il s'agit alors vraiment de la hernie discale, fig ( 5.34 ) qui, dans la grande majorité des cas, siège à la partie postéro-latérale du disque, là où ce ligament est le moins résistant.

Fig 5.34

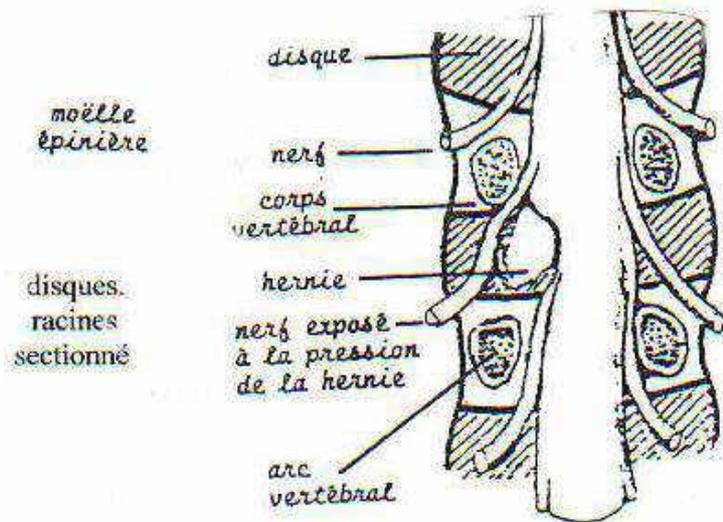
C'est au cours de la flexion qu'il y a le plus de risques qu'un fragment du noyau soit éjecté hors du disque et vienne au contact du nerf rachidien: hernie discale.



Dans cette forme habituelle la hernie discale est directement au contact de la racine nerveuse, dans son trajet extérieur à la moelle épinière, fig ( 5.35 ).

La névralgie sciatique commune résulte de la compression de l'une ou l'autre des deux racines du nerf sciatique ( L5 / S1 ) par une hernie discale issue de l'un des deux derniers disques intervertébraux.

Fig 5.35 .  
Vues postérieure des disques. Rapport de la hernie avec les racines Nerveuses ( l'arc vertébral est sectionné pour plus de clarté ).



#### 5.5.5. Tassement discal

C'est le stade ultime de la détérioration discale. Ce tassement discal (improprement nommé tassement de vertèbres) peut survenir à l'occasion d'un choc violent ou d'efforts répétitifs encaissés par le disque intervertébral.

L'enveloppe du noyau éclate et la substance gélatineuse se répand dans l'anneau fibreux, le disque se tasse, s'écrase alors, entraînant un rapprochement peut amener un pincement coïncant, comprimant les nerfs passant par les trous de conjugaison qui vont voir leurs diamètres irrémédiablement réduits.

Dans quelques cas la hernie peut migrer: le fragment de nucléus peut en effet, après rupture du ligament, aller comprimer à distance les racines des nerfs rachidiens de la région lombaire.

#### 5.5.6. Spondylolisthésis

La charnière lombo-sacrée représente un point de faiblesse de l'édifice rachidien. En effet, fig (5.36), en raison de l'inclinaison du plateau supérieur de la première sacrée, le corps de la cinquième lombaire a tendance à glisser en bas et en avant : le poids P peut être décomposé en deux forces élémentaires une force N perpendiculaire au plateau supérieur de sacrum et une force G parallèle au plateau supérieur du sacrum qui tire le corps vertébral de L5 vers l'avant. Ce glissement est empêché par l'amarrage solide de l'arc postérieur de L5. Sur une vue supérieure, fig (5.37), les apophyses articulaires inférieures de L5 viennent s'encastrent entre les apophyses articulaires supérieures de la première sacrée; la force G' de glissement applique fortement les apophyses de L5 sur les apophyses supérieures du sacrum qui résistent de part et d'autres suivant une force R. La transmission de ces efforts s'effectue par un point de passage obligé au niveau de l'isthme vertébral, fig (5.38): on appelle ainsi la portion de l'arc postérieur comprise entre les apophyses articulaires supérieures et les inférieures. Lorsque cet isthme est rompu ou détruit, comme il est figuré ici, on dit qu'il existe une spondylolyse.

L'arc postérieur n'étant plus retenu en arrière sur les apophyses supérieures du sacrum, le corps vertébral de L5 glisse en bas et en avant créant un spondylolisthésis. Les

seuls éléments qui retiennent alors la cinquième lombaire sur le sacrum et l'empêchent de glisser plus encore sont, d'une part le disque lombo-sacré dont les fibres obliques sont mises en tension, et d'autre part les muscles de gouttières vertébrales dont la contracture permanente est à l'origine des douleurs du spondylolisthésis. L'importance du glissement peut être mesurée en avant par le débord du plateau inférieur de L5 par rapport au bord antérieur du plateau supérieur de S1.

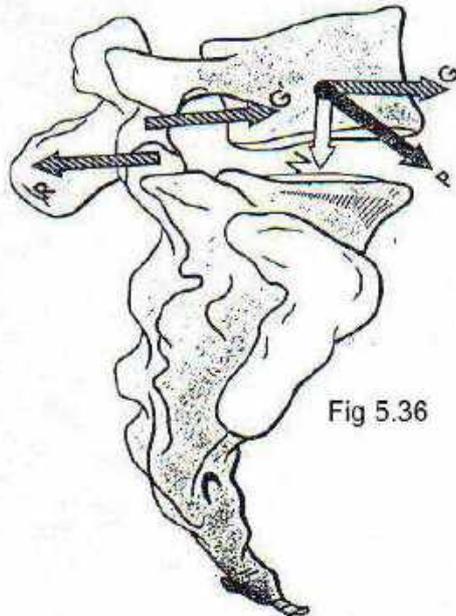


Fig 5.36

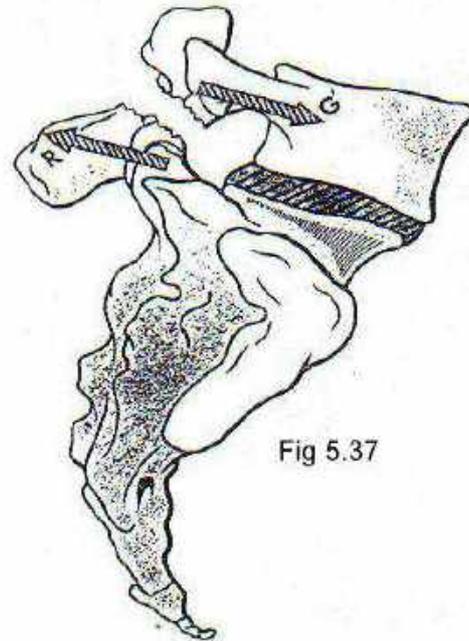


Fig 5.37

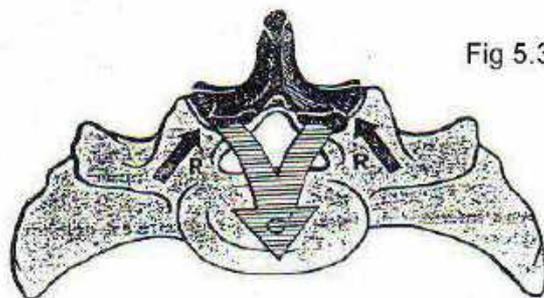


Fig 5.38

5.6. Composantes de la situation de travail susceptibles de contribuer à l'incidence des maux de dos

Les activités d'une tâche de manutention manuelle sont composées d'éléments; on les appelle les composantes de la tâche. Certaines de ces composantes sont identifiées comme sources pour l'apparition des lésions musculosquelettiques .

Ces composantes sont les caractéristiques de la charge manutentionnée ( forme, dimension, distribution du poids et stabilité ); la fréquence des mouvements; la distance parcourue; la durée et la conception du poste de travail, tableau. 5.3

Tableau 5.3

<b>Poids</b>	Masse, force requise pousser / tirer
<b>Dimension</b>	Principales dimensions de la charge: hauteur, largeur, forme : ( rectangulaire, cylindrique, sphérique )
<b>Distribution de la charge</b>	Position de centre de gravité de la charge par rapport au travailleur pour des activités impliquant une ou deux main(s).
<b>Couplage</b>	Aspect de la charge ou du dispositif servant à faciliter la prise: texture; - poignée: dimension, texture et position.
<b>Stabilité</b>	Stabilité dans la position du centre de gravité (liquide, matière en vrac )
<b>Conception du poste</b>	Espace disponible pour la tâche: direction et distance des mouvements, obstacles et nature de la destination.
<b>Fréquence / durée</b>	Mesures de temps: fréquence et durée des mouvements et / ou cycles de travail.

L'effet des composantes de la tâche sur le travailleur suivant l'approche physiologique, psychologique ou biomécanique sera présenté dans le tableau 5.4

~  
~  
~

**Tableau 5.4**

Composantes	Activités	Effets
<b>Fréquence</b> ( ↑ )	Toutes	Dépense énergétique ( ↑ ) Rythme cardiaque ( ↑ ) Charge /force acceptable ( ↓ ) Perception de l'effort ( ↑ )
<b>Durée du travail</b> ( ↑ )	Toutes	Dépense énergétique ( ↑ ) Rythme cardiaque ( ↑ ) Charge /force acceptable ( ↓ )
<b>Dimension des objets</b> ( ↑ )	Toutes	Dépense énergétique ( ↑ ) Rythme cardiaque ( ↑ ) Charge /force acceptable ( ↓ ) Stress lombaire ( ↑ )
<b>Forme de l'objet</b> <b>Contenant rigide</b>		Charge /force acceptable ( ↓ ) Dépense énergétique ( 0 )

Contenant non-rigide	Lever, transporter	Rythme cardiaque ( 0 ) Charge /force acceptable( ↑ ) Dépense énergétique ( 0 ) Rythme cardiaque ( 0 )
Poignée ( sans )	Toutes	Dépense énergétique ( ↑ ) Rythme cardiaque ( ↑ ) Charge /force acceptable( ↓ ) Stress lombaire ( ↑ )
Surface du plancher ( coefficient de frottement < 0,3	Toutes	Risque de glissade ( ↑ )
Poids de la charge ou force appliquée ( ↑ )	Toutes	Dépense énergétique ( ↑ ) Rythme cardiaque ( ↑ ) Perception de l'effort ( ↑ ) Stress lombaire ( ↑ ) Pression intra-abdominale(↑)
Distribution et stabilité de la charge (chargement asymétrique; chargement de liquide )	Lever, transporter	Dépense énergétique ( 0 ) Rythme cardiaque ( 0 ) Perception de l'effort ( ↑ ) Charge /force acceptable( ↓ ) Stress lombaire ( ↑ )
Hauteur verticale de la levée ( ↑ )	Lever ; déposer	Dépense énergétique ( ↑ ) Rythme cardiaque ( ↑ ) Perception de l'effort ( ↑ ) Charge /force acceptable( ↓ )
Distance parcourue ( ↑ ) Inclinaison du plancher ( ↑ )	Pousser, tirer, transporter	Dépense énergétique ( ↑ ) Rythme cardiaque ( ↑ ) Charge /force acceptable( ↓ )
Lever et transport asymétrique de charges	Lever / transporter	Dépense énergétique ( 0 ) Rythme cardiaque ( 0 ) Perception de l'effort ( ↑ ) Charge /force acceptable( ↓ ) Pression intra-abdominale(↑) Stress lombaire ( ↑ )
Posture	Lever (déposer) Squat vs stoop ( accroupi / dos droit vs dos plié / genoux droits )	Dépense énergétique ( ↑ ) Rythme cardiaque ( ↑ ) Charge /force acceptable( ↓ )

### 5.6.1. Définition de la fréquence

La fréquence est définie comme étant le nombre de fois où une action ou une activité se produit dans un temps donné. Elle est donc associée aux tâches répétitives. Pour une tâche de manutention, par exemple, la fréquence peut être mesurée en terme du nombre de levers par minute. Elle peut aussi être en terme de nombre d'efforts appliqués ( pousser / tirer ) / minute.

Sur le plan physiologique, les études révèlent que la dépense énergétique, mesurée indirectement par calorimétrie, augmente avec l'élévation de la fréquence des activités réalisées. Par exemple, pour une tâche de manutention, la dépense énergétique d'un travailleur est plus élevée lorsque le nombre de charges manutentionnées dans un temps donné est grand. Puisque la réalisation d'une tâche relativement intense ( dépense énergétique élevée ) peut éventuellement entraîner une fatigue musculaire, il importe alors

de maintenir la valeur de cette composante à niveau acceptable. En effet, la fatigue musculaire peut exposer un travailleur à un risque accru de développer une atteinte musculosquelettique.

A ce stade-ci, il est difficile de spécifier une valeur limite maximale pour la fréquence compte tenu des capacités physiologiques qui varient d'une personne à l'autre et de l'influence d'autres composantes sur la dépense énergétique, comme : le poids de la charge, la technique de travail employée, la valeur des saisies, la durée de la tâche, etc... Partant des critères du National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH), il est toutefois possible de proposer, pour une tâche de manutention réalisée dans des conditions favorables ( charge maintenue près du corps, hauteur de saisie près du niveau toutefois, puisque les conditions dans lesquelles la tâche est réalisée ne sont pas nécessairement idéales, la fréquence maximale des manutentions est souvent inférieure à 6 levers / mn .

Sur le plan psychologique ( la psychologie est une approche qui permet de déterminer entre autres, le poids maximum acceptable d'une charge manutentionnée en fonction des composantes d'une tâche ), les études montrent que le poids maximum acceptable d'une manutentionnée ou la force appliquée maximale diminue avec l'augmentation de la fréquence d'exécution d'une activité. Par conséquent, plus la fréquence d'une activité augmente ( activité physique ), plus grand est l'effort perçu par le travailleur et, moins grande est la charge manutentionnée ou la force appliquée jugée acceptable pour un travail continue de (1 à 8 heures).

Nous présentons à la section « Psychophysique », un ensemble de tableaux permettant d'estimer la charge manutentionnée ou la force maximale acceptable à partir de certaines composantes de la tâche. De ces tableaux, il est d'ailleurs possible d'estimer la fréquence maximale à partir du poids réel de la charge manutentionnée ou de la force réelle appliquée. Le lecteur notera que pour une tâche de manutention réalisée dans des conditions favorables, une fréquence limite maximale de 1 lever à toutes les 5 secondes ( ou 12 levers /mn ) est spécifiée. Pour l'application d'une force, la fréquence limite est de un pousser / tirer à toutes les 6 secondes ( ou 10 pousser / tirer par mn ).

Ces valeurs, on peut les remarquer, diminuent lorsque la distance verticale parcourue par la charge augmente, lorsque la hauteur de la saisie est plus basse que le niveau de la ceinture ou plus haute que le niveau des épaules, que la largeur de la charge augmente ou lorsque la hauteur d'application de la force est trop basse ou trop haute.

#### 5.6.2. Définition de la durée du travail

La durée de temps qu'une personne peut effectuer une certaine tâche manuelle est en fonction de son endurance. Plusieurs études ont y révélé qu'au fur et à mesure que la durée du travail augmente, la dépense énergétique augmente aussi, graduellement. Cette augmentation dans la dépense énergétique peut s'expliquer par l'effet cumulatif des produits du métabolisme, un changement au niveau de la distribution du flux sanguin ou une détérioration de l'efficacité mécanique du corps humain. Il y a aussi une diminution dans le niveau de la dépense énergétique pouvant être maintenu à mesure qu'augmente la durée du travail.

Par conséquent, lorsque la durée de la tâche augmente, il faut envisager la possibilité de réduire la charge de travail ou encore, de proposer une alternance travail / repos acceptable. Cela est d'autant plus important puisque aujourd'hui les quarts de travail prolongés ( > 8 heures ) sont de plus en plus répandus dans l'industrie.

Des études montrent que les travailleurs ont tendance à réduire eux-mêmes leur charge de travail à mesure que la tâche se prolonge. Ce constat, démontré par la mesure d'un rythme cardiaque relativement stable durant une journée de travail, suggère que les travailleurs réduisent leur charge de travail afin de maintenir un niveau de fatigue uniforme. Si la charge de travail n'est pas réduite, cependant, la dépense énergétique et le rythme cardiaque tendent à augmenter, ce qui entraîne une augmentation du niveau de fatigue physiologique.

### 5.6.3. Techniques de manipulation

Pour la caractérisation des techniques de manutention, on fait appel à une grille présentée à la fig ( 5.39 ). Chaque manutention a été décomposée en différentes phases distinctes: prise-approche ( pour approcher ou positionner un objet ), premier effort de transfert, autres efforts de transfert, dépôt et ajustement final. Chacune des phases devait être repérable par un changement clair dans la direction de l'effort ou dans la prise. Ces cinq phases ne sont pas toujours présentées dans chaque manutention. A la limite, une manutention peut ne composer qu'une seule phase, le transfert, la prise et le dépôt exécutés dans un seul et même mouvement continu.

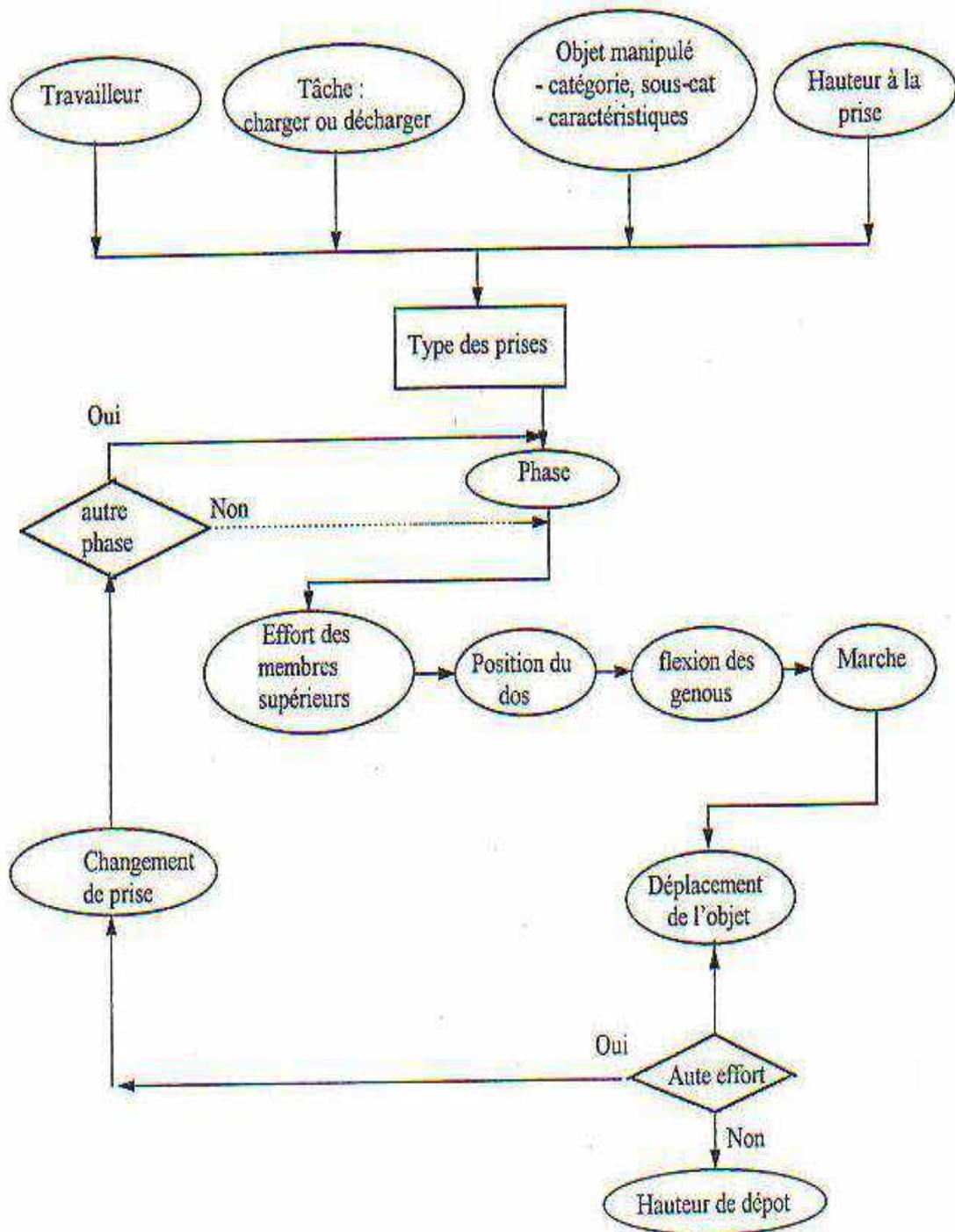


Fig 5.39  
Grille d'observation des techniques de manutention

5.6.4. Dimensions des objets

D'après la littérature de spécialité, on rencontre plusieurs études et recherches qui parlent sur l'influence des dimensions d'objets sur la pénibilité du travail. Les dimensions prises en considération sont : la hauteur, la longueur dans le plan sagittal et la largeur dans le plan frontal de l'objet.

- La hauteur est une grandeur qui n'a pas une grande influence sur la dépense énergétique, mais par contre, elle limite le champ de vision au cours de manipulation d'un objet ( lever ou dépôt ), fig ( 5.40 ).

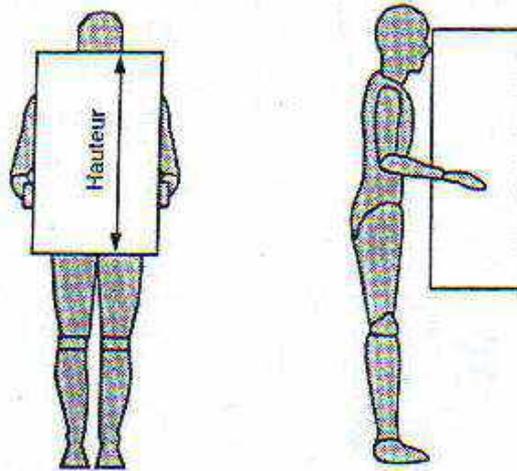


Fig 5.40

- La longueur et la largeur ont une influence significative sur la capacité de l'individu au cours de la réalisation d'une tâche ( lever ou dépôt d'un objet ), fig ( 5.41 ).

L'augmentation de la longueur d'un objet conduit à l'augmentation de la dépense énergétique même si le poids de l'objet est réduit. En plus l'augmentation de la longueur conduit à l'augmentation des sollicitations des disques intervertébraux ( forces de compression et de cisaillement ), d'une façon que la force de compression résultante au niveau de L5 / S1 est plus importante à celle produite par un objet lourd de longueur plus réduite, fig (5.42). La raison pour laquelle la longueur des objets a été limitée à 50cm.

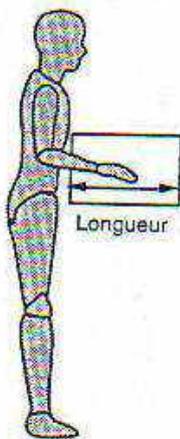


Fig 5.41

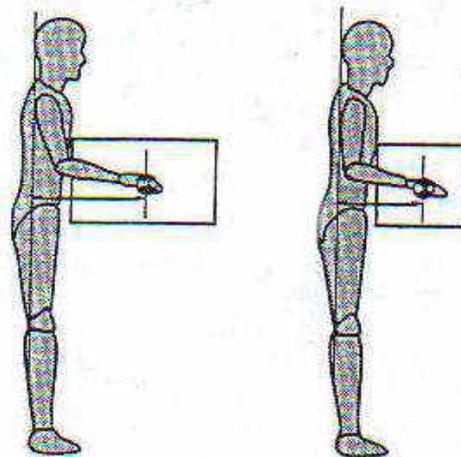


Fig 5.42

Les plages de variation de la longueur de l'objet en fonction du poids et des forces de compression et de cisaillement sont illustrées au tableau 5.5.

Tableau 5.5

Longueur en cm	Poids maximum acceptable en N	Force de compression en N	Force de cisaillement en N
30 – 48	297	3952	477
45 – 72	284	4181	484
60 – 96	249	4245	480

Remarque : On constate qu'il n'y a pas une différence remarquable entre les valeurs des forces obtenues, cela est due aux valeurs prises pour les longueurs qui sont inverses proportionnelles à celles du poids.

- L'augmentation de la distance horizontale d'écartement des mains par rapport à l'abdomen provoque d'une part la diminution des capacités physiques des individus mais d'autre part l'exposition de leurs corps à des risques musculosquelettiques graves.

Dans le but d'écarter tout risque et de faciliter la tâche aux individus, les contenants volumineux ou de formes irrégulières devraient être manipulés avec des moyens mécanisés ( ex: chariot ).

#### 5.6.5. Forme de l'objet

On observe que la manutention d'un objet non rigide tel que le sac est plus facile qu'un objet rigide et nécessitant en même temps une dépense énergétique réduite, la facilité de la manutention d'un objet non-rigide est due à la modification des dimensions fonctionnelles au cours de la manipulation. Pour cette raison, le poids d'un objet non-rigide peut dépasser les 18% du poids d'un objet rigide.

Le tableau 5.6, donne une idée claire sur l'effet de la manutention de deux objets de différentes rigidités.

Tableau 5.6

Contenant	Poids en kg	Dépense énergétique en l / mn	Rythme cardiaque en bpm
Sac	24,3	1,50	129,7
Boîte	22,1	1,45	121,3

Remarque: On peut pas avoir une conclusion claire sur l'influence de la forme de l'objet sur la pénibilité de travail des individus.

#### 5.6.6. Utilisation des poignées

L'utilisation des poignées dans les charges à manipuler, rend la tâche plus facile et plus sécuritaire et moins pénible pour l'individu. D'une façon que la manipulation d'un objet muni de poignées réduit en premier lieu de 10 à 15 % le poids maximum acceptable par l'approche psychophysique, en second lieu de 0,17 kcal/mn dans la dépense énergétique pour des activités de lever et de dépôt suivant l'approche physiologique et en troisième lieu la force de compression au niveau lombaire établie par une approche biomécanique.

Les dimensions adéquates pour des objets manipulés sont données à travers la fig (5.43).

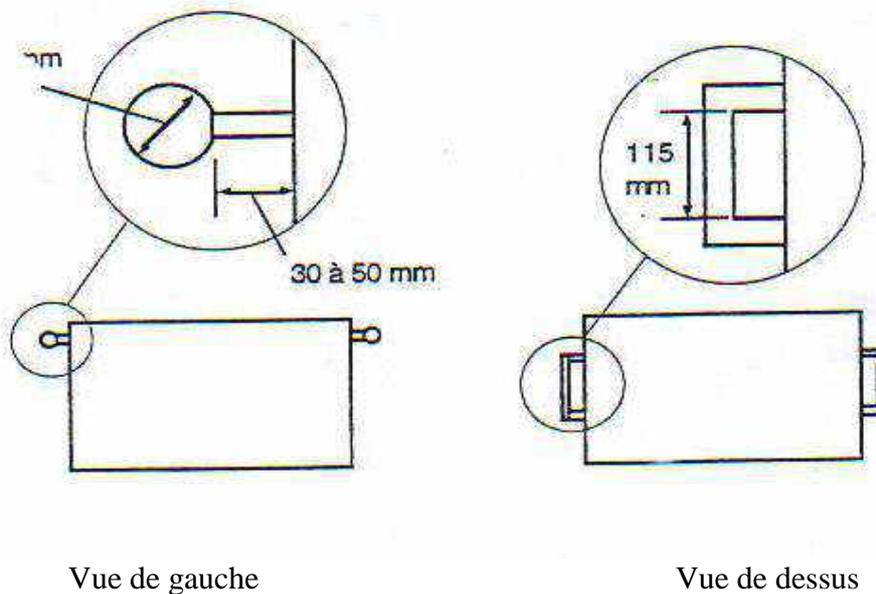


Fig 5.43

5.6.7. Surface de contact du plancher

Dans le but d'éviter les glissades accidentelles qui peuvent avoir lieu sur le sol (plancher), en provoquant une entorse lombaire ou certaines blessures, il est recommandé de prévoir des mesures nécessaires pour augmenter l'adhérence entre les semelles des chaussures et le plancher sec ( utilisation d'un coefficient de frottement statique supérieur à 0,3 ). La présence d'un fluide au niveau de cette surface, exige l'utilisation d'une surface anti-dérapante du plancher.

5.6.8. Poids de l'objet, fig (5.44)

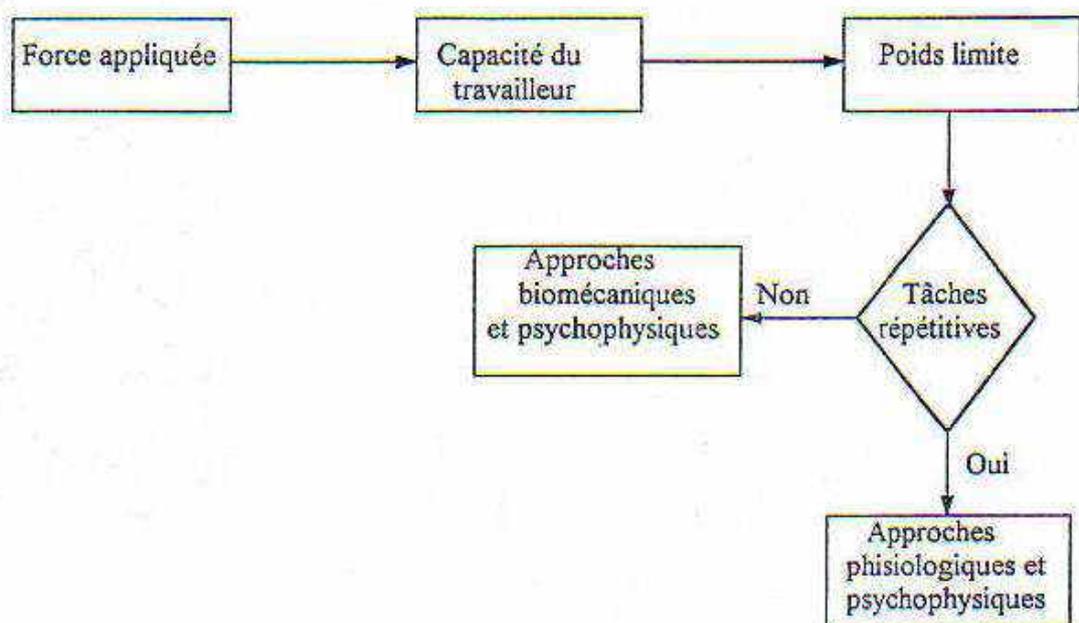


Fig 5.44

### Influence du poids de l'objet sur les capacités des individus

#### 5.6.9. Répartition et équilibrage de la charge

La position du centre de gravité est directement affectée par la répartition et l'équilibrage de la charge de l'objet à manipuler, fig ( 5.45 ).

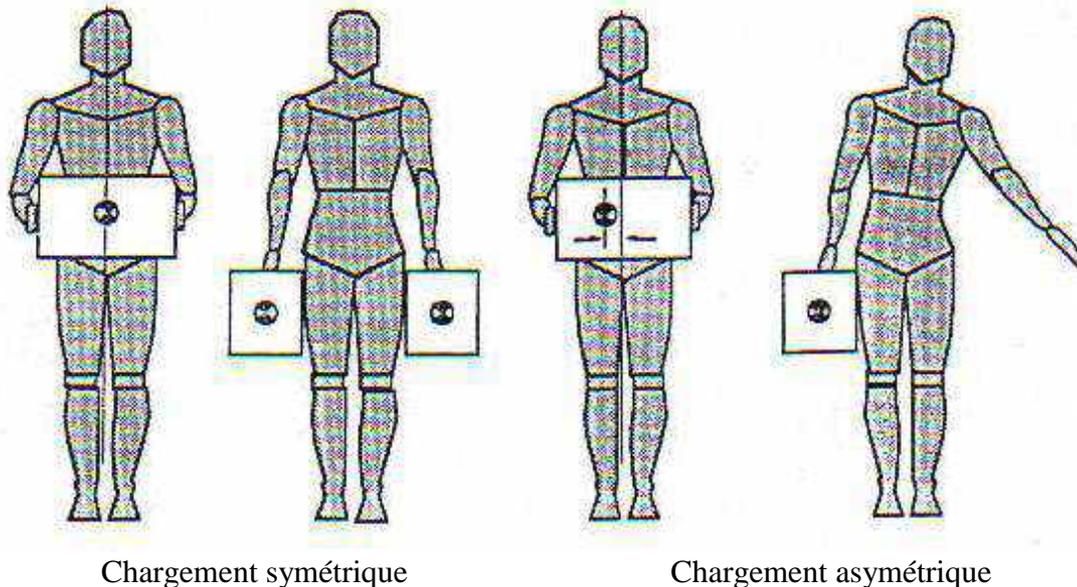


Fig 5.45

La présence d'un décalage du centre de gravité par rapport au centre du corps humain donne naissance à un moment latéral au niveau de la colonne vertébrale, en conduisant à la rotation des vertèbres l'une par rapport à l'autre. Cette relation intervertébrale peut aggraver le risque de blessure vu que ces disques vertébraux ne sont pas résistants à ce genre de sollicitation. La raison pour laquelle il faut limiter la valeur du moment de torsion ou de la force de cisaillement ( ce qui revient à trouver une relation qui tient compte de la valeur de désaxage en fonction du poids et de ses limites ).

Les recherches menées dans ce sens, indiquent un décalage de 10 cm du centre de gravité par rapport au centre du corps réduit jusqu'à 10% des capacités des individus lors du soulèvement d'un objet. En plus, la présence de tel déséquilibre n'a aucune influence négative sur la dépense énergétique ni sur le rythme cardiaque.

#### 5.6.10. Influence de la hauteur de la levée

La distance verticale parcourue par une charge lors de sa manipulation a une influence considérable sur les capacités des individus, fig ( 5.46 ).

On observe que les capacités des individus se réduisent jusqu'à 30% lorsque la hauteur de déplacement est comprise entre 75 et 165 cm .

La dépense énergétique et le rythme cardiaque seront accrus au fur et à mesure que la distance à parcourir augmente.

D'après les courbes de la fig ( 5.47 ), la dépense énergétique est moins réduite lorsque la charge est levée d'une hauteur de 100 à 150 cm du sol, en comparaison à des charges levées de 0 à 50 cm et de 50 à 100 cm ou de 150 à 200 cm.

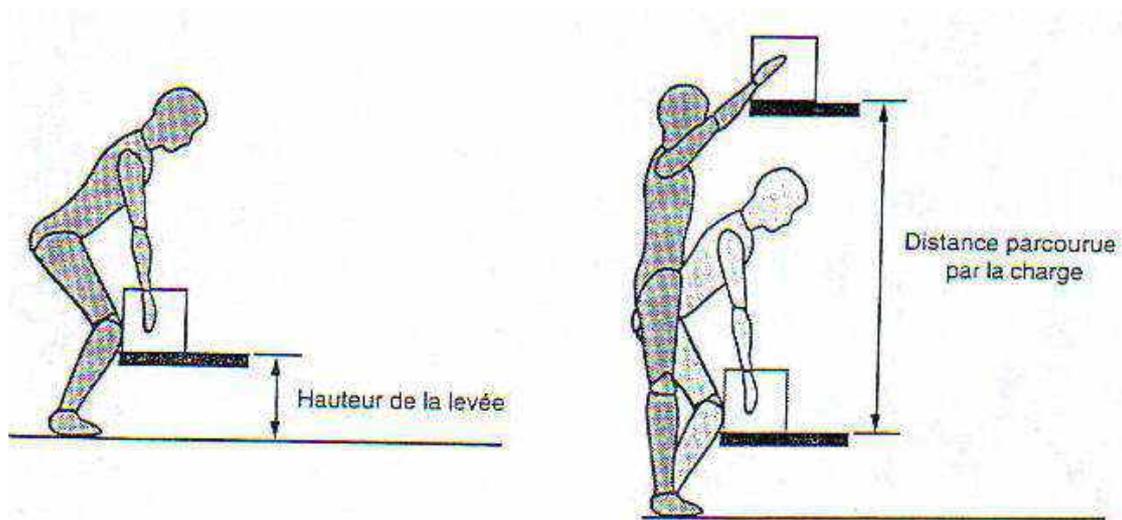


Fig 5.46

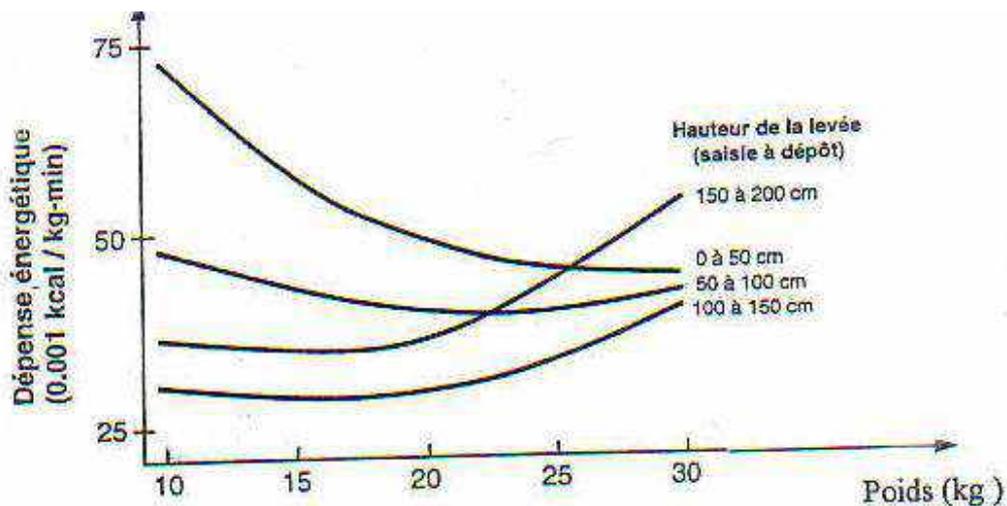


Fig 5.47

D'après les recherches menées, on constate que pour réaliser une tâche de transport, les capacités des individus diminuent si la hauteur est à laquelle est maintenue la charge croît.

Une charge plus lourde doit être transportée à la hauteur de la ceinture.

La hauteur verticale de la saisie est un facteur très important pour la réalisation d'une activité de lever ou dépôt.

Au cours des manipulations, la capacité des individus connaît une baisse supérieure ou égale à 23 % si la hauteur de saisie se trouve au niveau des épaules à la place de la ceinture.

En pratique, il est préférable de fixer la hauteur de la saisie à l'origine de ceinture et par la suite, il faut limiter les déplacements verticaux de la charge qui doivent être comprise dans une plage entre la ceinture et les épaules, fig ( 5.48 ).

Pour les activités de pousser ou de tirer, la hauteur à laquelle la force est appliquée influe sur les capacités des individus d'une façon différente. En général, dans le cas de pousser, les capacités des individus augmentent avec l'augmentation de la hauteur du point d'application de la force, par contre, dans le cas de tirer, cette tendance est exactement l'inverse, fig ( 5.49 ).

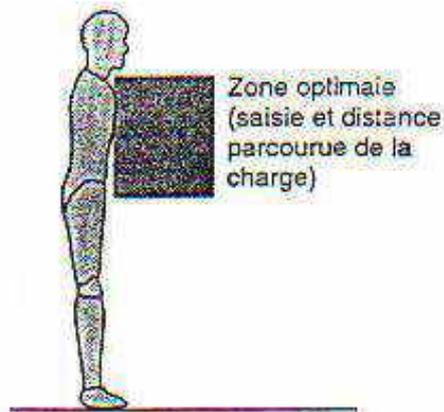


Fig 5.48

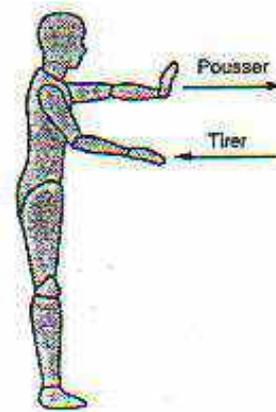


Fig 5.49

#### 5.6.11. Plancher et distance à parcourir

Tenant compte des activités (pousser- tirer ou transporter), la dépense énergétique et le rythme cardiaque augmentent au fur et à mesure que la vitesse de transport, l'inclinaison du plancher ou la distance de transport augmentent, fig (5.50 ). Le coût physiologique enregistré, est plus élevé pendant la montée d'un plancher incliné que pendant sa descente.

Pour réduire le coût physiologique, il faut que le poids maximum ( à transporter , à tirer ou à pousser ) doit être inversement proportionnel à la distance à parcourir.

En plus , il est préférables de minimiser les distances à parcourir et d'éviter les manutentions sur des planchers inclinés.

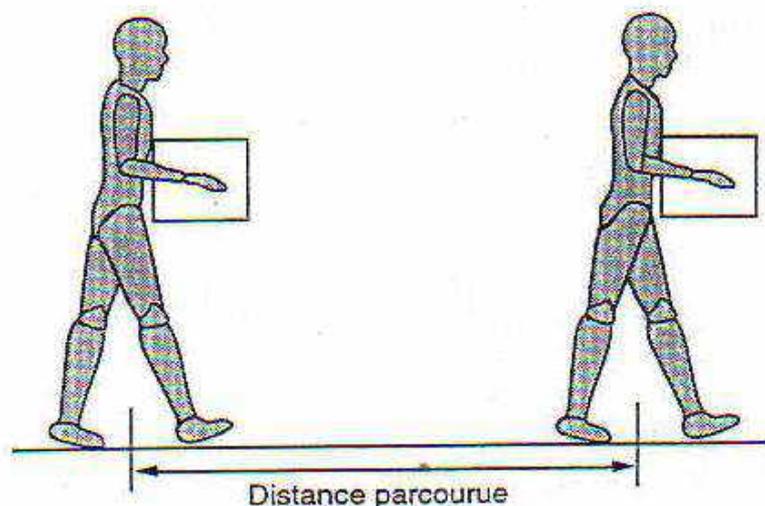


Fig 5.50

## 5.6.12. Position de lever et de transport de charges

Les études comparatives faites jusqu'à maintenant ont mis l'accent sur les activités de lever et de transport des charges dans une position asymétrique par rapport à une autre symétrique. Cela se traduit d'une part par la présence d'un stress important, d'une baisse de la capacité des individus mais d'autre part par l'augmentation de la pression intra-abdominale, inter-discale et de l'activité électromyographique ( EMG ) au niveau des erector spinales et des obliques externes.

Par contre, les activités menées à une position asymétrique n'ont pas aucune influence remarquable sur la dépense énergétique et le rythme cardiaque.

## 5.6.13. Techniques de lever

Pour soulever une charge, le corps humain sollicité, s'adaptera à des différentes postures qui n'ont pas les mêmes conséquences physiologiques et biomécaniques.

Les méthodes utilisées pour le soulèvement d'une charge sont au nombre de trois et elles sont illustrées à la fig ( 5. 51 ).

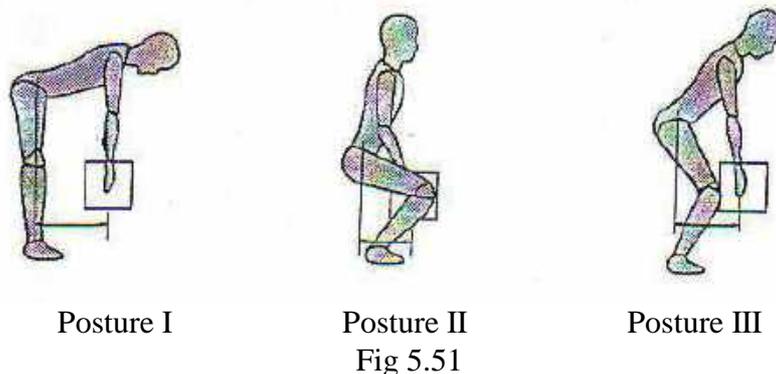


Fig 5.51

D'après ces trois postures, on constate que:

- a) La posture I (stoop « jambes droites ») entraîne le moindre coût physiologique, mais elle présentera le plus grand risque de blessure de dos.
- b) La posture II (squat « dos droit, genoux pliés ») entraîne le moindre stress du point de vue biomécanique ( force de compression réduite au niveau de la région lombaire ).
- c) La posture III ( style-libre « semi-squat » ) entraîne le moindre stress et la plus faible dépense énergétique, donc elle est préférable pour la manutention manuelle.

En soulevant rationnellement une charge avec le dos plat, le bassin s'incline dans les articulations de la hanche et la colonne vertébrale est fixée au-dessus du bassin dans une position statique favorable, c'est à dire dans une position redressée. L'inclinaison et le redressement de la partie supérieure du corps se font par les muscles des fesses dans l'articulation de la hanche. La colonne vertébrale chargée sert uniquement d'élément porteur et non pas d'articulation comme c'est le cas en soulevant une charge avec le dos courbé.

La pression inter discale supérieure à 30 daN/cm<sup>2</sup> détermine un effort de contrainte dans la partie postérieure de l'anneau fibreux, approchant la limite de rupture et de même

si cette contrainte est de faible durée en temps elle n'en constitue pas moins un grave de risque; si elle se renouvelle fréquemment; un risque certain, fig (5.52).

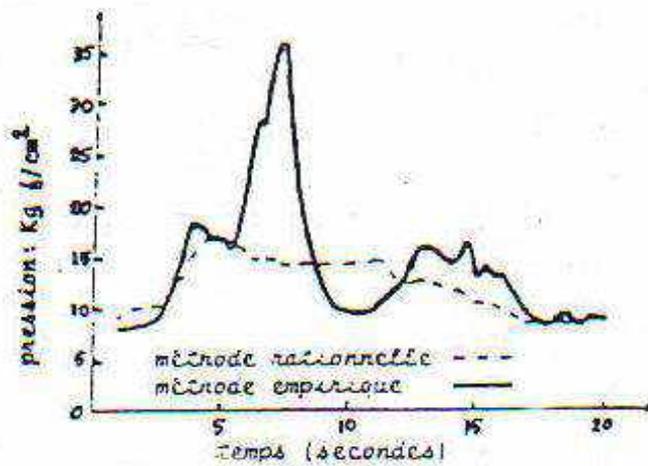


Fig 5.52

5.6.14. Maux de dos au cours de la semaine

*Répartition des affections vertébrales durant les jours de la semaine dans le Québec*

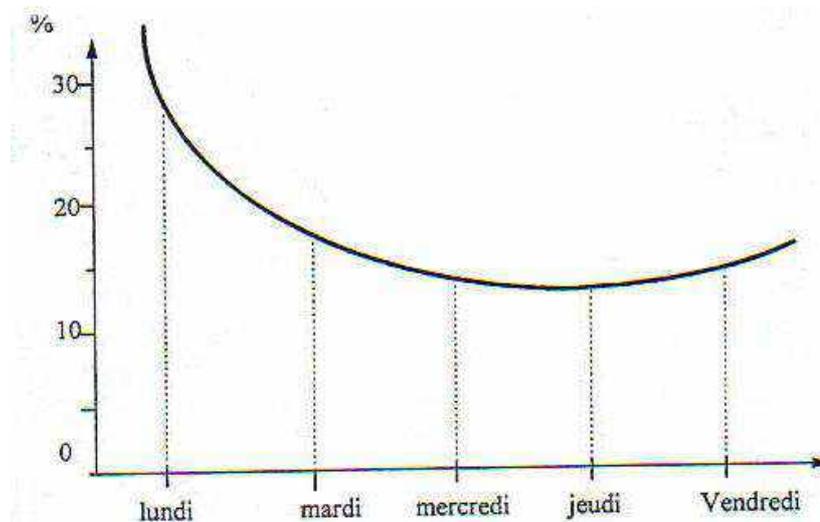


Fig 5.53

5.6.15 Maux de dos au cours de la journée

*Répartition des affectations vertébrales au cours de la journée dans le Québec*

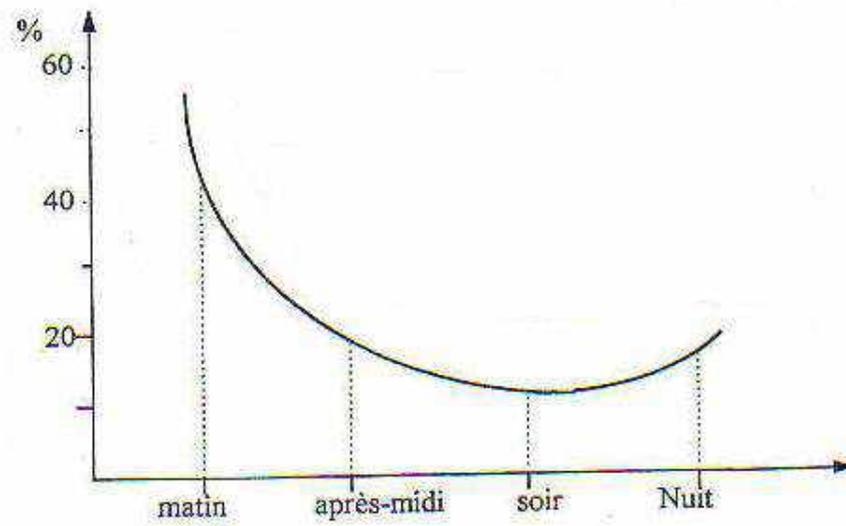


Fig 5.54

## CHAP.VI.

<i>PHYSIOLOGIE DU TRAVAIL</i>	<i>Page</i>
6.1. Introduction	.....3
6.2. Physiologie de travail	.....3
6.2.1. Forme et anatomie du muscle squelettique	.....4
6.2.1.1. Forme du muscle squelettique	.....4
6.2.1.2. Anatomie du muscle squelettique	.....4
6.2.2. Nutrition du muscle	.....6
6.2.3. Consommation d'oxygène	.....8
6.2.4. Échanges particuliers entre l'organisme et le milieu extérieur..9	
6.2.4.1. Le muscle – description et consommation d'énergie	.....9
6.2.4.2. Les protéines musculaires	.....9
6.2.4.3. Consommation d'énergie et contraction	.....10
6.2.4.4. Besoins en oxygène et dépense d'énergie.....	12
6.2.4.5. Modifications du milieu intérieur	.....13
6.2.4.6. Fatigue musculaire	.....13
6.2.4.7. Système cardio – vasculaire	.....13
6.2.4.8. Échange gazeux entre les poumons et le sang.16	
6.3. Dépense énergétique	.....17
6.3.1. Mesure de la dépense énergétique	.....17
6.3.2. Puissance aérobie maximale (VO <sub>2</sub> max)	.....19
6.3.3. Critères de conception pour la dépense énergétique	.....21
6.3.4. Réponses physiologiques aux activités de travail	.....23
6.3.4.1. Méthode de Garg	.....23
6.3.4.2. Méthode des tables de références	.....29
6.3.4.3. Temps du travail et du repos	.....31
6.3.4.4. Critères physiologiques de conception	.....33
6.4. Charge cardiaque	.....34
6.4.1. Rythme cardiaque et activité physique	.....35
6.4.2. Rythme cardiaque maximal (HR <sub>max</sub> )	.....36
6.4.3. Critères de conception pour la charge cardiaque	.....36
6.4.4. Limites acceptables de la charge cardiaque	.....36
6.4.5. Indice de Brouha	.....38
6.5. Psychophysique	.....39
6.5.1. Description des tables de Snook et Ciriello	.....41
6.5.2. Critères psychophysiques de conception	.....45

## **CHAPITRE. VI**

### **PHYSIOLOGIE DU TRAVAIL**

#### **6.1. Introduction**

Toute activité demandant un effort physique important est caractérisée par une grande consommation d'énergie et des contraintes sérieuses au niveau des poumons et du cœur est considérée comme un travail pénible. La consommation d'énergie et la capacité cardiaque imposent des limites au travail pénible et l'on réfère souvent à ces deux critères pour déterminer le degré de pénibilité d'une tâche. Dans de nombreux domaines la mécanisation a réduit la quantité de force et d'énergie demandée à l'opérateur, cependant dans certaines industries subsistent des tâches imposant un travail de force toujours aussi important et conduisant souvent au surmenage. On trouve également des engagements physiques importants dans les mines, le bâtiment, les transports routiers, l'agriculture et le travail forestier.

Dans le présent chapitre, on se penchera sur l'étude des approches les plus importantes dans le but de mettre en évidence la pénibilité du travail supportée par plusieurs individus dans des différents milieux de travail. Les approches à présenter toucheront les aspects physiologiques, psychologiques et biomécaniques. On présentera aussi les méthodes et les critères d'évaluation appliqués pour chacune de ces approches. Ces critères jouent un rôle très important dans l'évaluation de la pénibilité du travail qui reflète bien le risque qui pourra être engendré par une atteinte musculosquelettique.

Dans le même contexte, on présentera la méthode de NIOSH lifting guide dont la technique d'évaluation tient en considération en même temps de toutes les approches citées ci-dessus.

#### **6.2. Physiologie de travail**

La force musculaire de l'homme a été la principale source d'énergie pour la majeure partie du travail effectué dans le monde. Il est vrai que le travail musculaire a été remplacé (partout où la possibilité existait) par d'autres formes d'énergie et que, dans de nombreuses machines humaines, le risque d'être laissé à côté. Dans chaque jour, nous utiliserons nos muscles, si non la paralysie nous gagnerait.

La physiologie classe les muscles en trois catégories:

- les muscles volontaires ou striés,
- les muscles involontaires ou lisses.
- le muscle cardiaque, constitue une variété à part

Les termes « volontaire et involontaire » se rapportent aux fonctions du muscle et sa manière de travailler .

Un **muscle volontaire** est sous notre contrôle conscient; nous pouvons à volonté, serrer le poing, plier un bras, allonger une jambe, etc...

Les **muscles involontaires ou lisses** se trouvent dans les parois des vaisseaux sanguins, les intestins, la vessie etc...Nous sommes incapables de contrôler consciemment les activités de ces muscles-là.

Traitant de l'énergie musculaire de l'homme, nous ne nous occuperons que des muscles volontaires. Le travail du muscle cardiaque sera étudié à part.

Les muscles striés sont pour la plupart attachés aux os par chacune de leurs extrémités, avec une ou plusieurs jointures intermédiaires et le geste résulte de la propriété qu'à le muscle de se contracter en rapprochant les points d'attache. Le biceps est attaché d'un côté aux os de l'avant-bras et de l'autre à l'omoplate, qui est l'un des os formant l'articulation de l'épaule. Lorsque le muscle se contracte, les os de l'avant-bras sont remontés vers l'épaule et ainsi l'articulation du coude se plie . Le bras se remet droit lorsque le triceps, qui a son attache derrière le bras, au-dessus et au-dessous de l'articulation du coude, se contracte et se raccourcit, fig (6.1). Quand le coude se plie, ou quand il redevient droit, le biceps et le triceps s'activent: l'un se contracte et l'autre se détend, cette double action favorise le contrôle du geste.

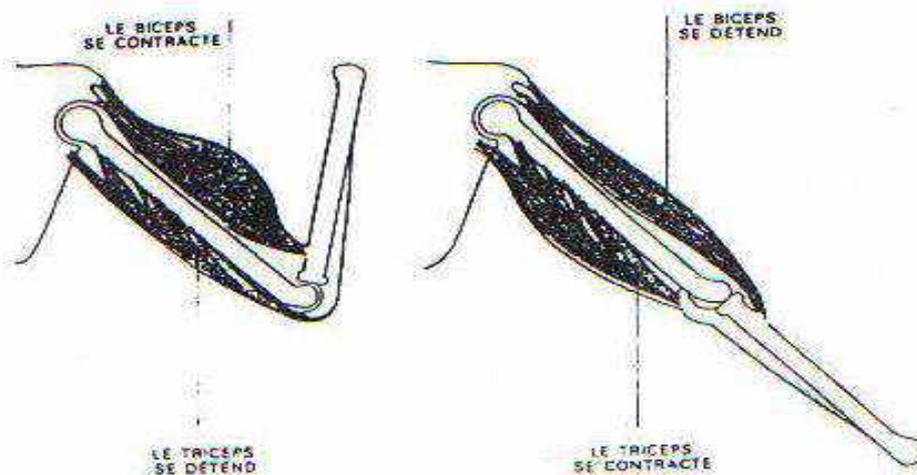


Fig 6.1

### 6.2.1. Forme et anatomie du muscle squelettique

### 6.2.1.1. Forme du muscle squelettique

La disposition des faisceaux de fibres musculaires varie selon les différents muscles squelettiques, fig (6.2). Dans les muscles fusiformes, les faisceaux sont parallèles à l'axe longitudinal du muscle. La contraction de ces muscles produit une grande variété de mouvements; toutefois, ces muscles sont peu puissants. Les muscles pennés, qui sont composés de faisceaux de fibres s'insérant obliquement sur un tendon présent sur toute leur longueur, produisent une moins grande variété de mouvements, mais ils sont plus puissants.

### 6.2.1.2. Anatomie du muscle squelettique

La structure de la fibre musculaire squelettique est très uniforme. Ces structures sous forme de fils sont dites « les myofibrilles ». Au microscope, les myofibrilles apparaissent striées transversalement par des disques alternativement clairs et sombres. Les disques sombres sont les disques **A**, ou disques anisotropes, et les disques clairs sont les disques **I** ou les disques isotropes. Une ligne dense, la membrane **Z**, traverse le centre de chaque disque **I**, fig (6.3). Les membranes **Z** divisent les myofibrilles en une série d'unités structurales, les sarcomères. Dans le centre d'un sarcomère et, par conséquent, dans le centre d'un disque **A**, se trouve une région moins dense, la strie **H**. Une cloison accessoire, la membrane **M**, traverse chaque strie **H**.

Deux variétés de filaments ou de myofilaments, fig (6.4) composent un sarcomère. Les filaments épais sont présents dans le disque **A** seulement. La strie **H** est formée par l'union des filaments minces occupent le disque **I** et une partie du disque **A**; ils paraissent attachés aux membranes **Z**. Une coupe transversale à chevauchent les filaments minces, montre un arrangement hexagonal de filaments minces autour d'un filament épais: six filaments minces entourent chaque filament épais. De plus, on peut observer un arrangement triangulaire des filaments épais autour d'un filament mince; trois filaments épais entourent chaque filament mince.

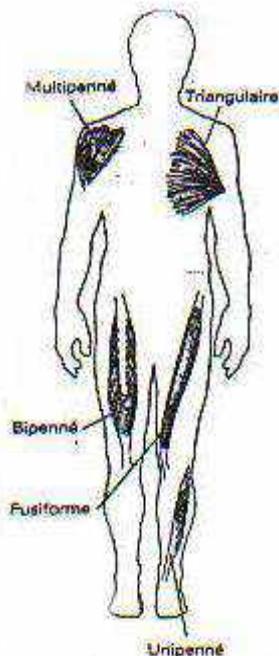


Fig 6.2

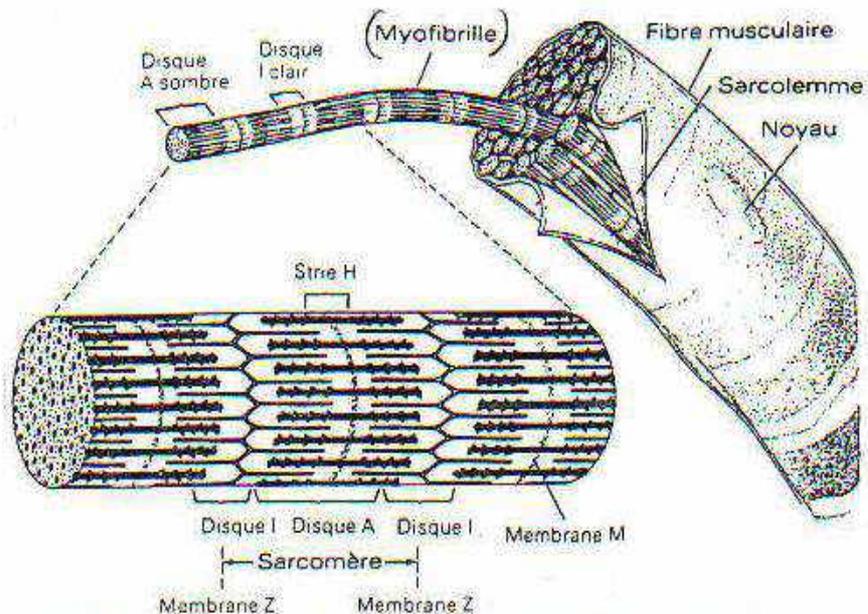
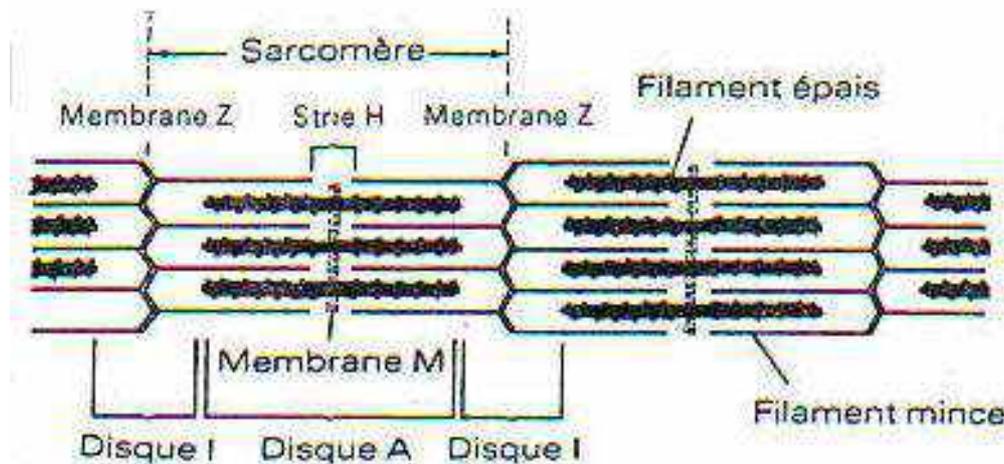
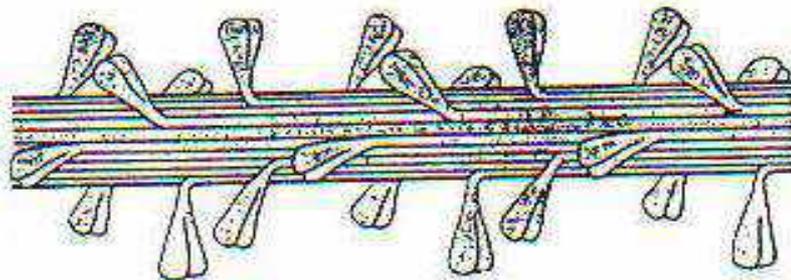


Fig 6.3



**Fig 6.4 : Composants d'un sarcomère**

Les myofilaments sont constitués de protéines. Les filaments épais sont surtout formés de myosine. La molécule de myosine est faite de deux sous-unités identiques ayant la forme d'une sucette. Les deux sous-unités s'enroulent étroitement l'une sur l'autre, ce qui donne une molécule à deux têtes globulaires se projetant à partir d'une tige droite. Le filament épais est formé de faisceaux de tiges arrangés longitudinalement de sorte que les têtes de chaque molécule (appelées ponts d'union) pointent vers l'extérieur du filament, fig ( 6.5).



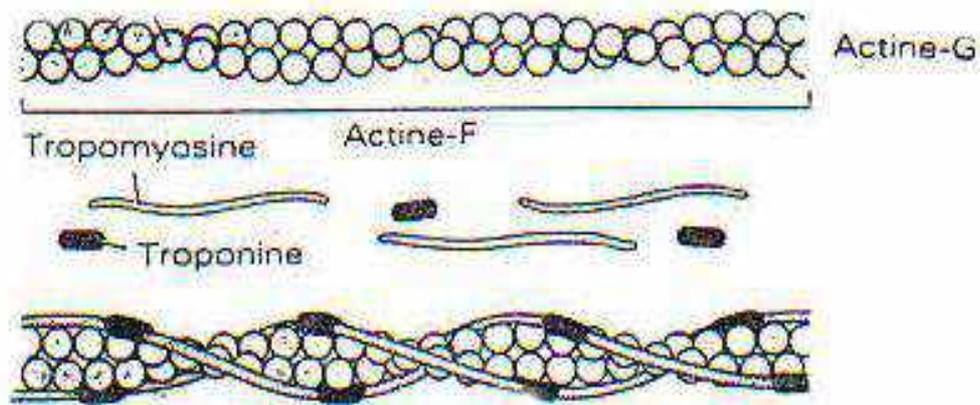
**Fig 6.5 : Filament épais**

Les molécules de myosine sont orientées vers l'extérieur et chaque côté du centre du filament, créant ainsi une région centrale où les tiges se font face et où il n'y a aucune tête (pont d'union), fig ( 6.6).



**Fig 6.6 : Coupe longitudinale des filaments**

Les filaments minces sont constitués des protéines actine, tropomyosine et troponine, fig (6.7). La partie actine du filament est formée de sous-unités sphériques ou globulaires d'actine, l'actine-G (actine globulaire). Les molécules d'actine-G sont arrangées en une double chaînes appelée actine-F (actine fibreuse) ressemblant à deux colliers de perles enroulés en spirale, chaque perle représentant une sous-unité d'actine-G. Bien que les sous-unités d'actine-G soient sphériques, elles auraient une polarité définie, elles se lient les unes aux autres d'avant en arrière. Les molécules de tropomyosine, sous forme de filaments, s'associent avec les chaînes de sous-unités d'actine-G. Elles reposent sur les surfaces des chaînes d'actine; étant donné leur longueur, chacune d'entre elles couvre sept sous-unités d'actine-G. La troponine, une protéine plus petite, s'attache à chaque molécule de tropomyosine ainsi qu'à l'actine.



**Fig 6.7 : Filament mince**

### 6.2.2. Nutrition du muscle

Il existe donc un contrôle nerveux ( d'un extrême complexité mais bien équilibré ) du mouvement musculaire et privé de ce contrôle, le muscle est paralysé. Considérons à présent ce qui se produit à la fig (6.8) dans le muscle même. Lorsqu'un muscle se contracte, il lui faut de l'énergie; cette énergie est fournie par la décomposition, à l'intérieur des cellules musculaires, du glucose qui se désintègre en molécules plus petites pour donner de l'acide lactique. Si cette réaction chimique intervenait en une seule phase, il s'ensuivrait une libération d'énergie presque explosive, et la température s'élèverait si vite que des dommages presque irrémédiables seraient ainsi provoqués. Au lieu de cela, il se forme de nombreux composés intermédiaires, et chaque phase est commandée par une enzyme particulière. En conséquence, l'énergie est libérée graduellement.

Une enzyme est une substance qui agit comme un ferment, et qui provoque des réactions chimiques sans être altérée par ces réactions. Presque toutes les modifications chimiques à l'intérieur du corps sont commandées par des enzymes, chacune étant spécifique pour une réaction particulière. La provision d'énergie dans les muscles se trouve sous forme de glycogène, dit amidon animal, que l'on peut se représenter comme un grand nombre de molécules de glucose agglutinées pour former une grosse molécule. La quantité de glycogène donc de glucose disponible, est relativement petite, et elle doit être continuellement renouvelée pendant un travail musculaire prolongé. Ce renouvellement est fonction d'un approvisionnement approprié en sang, le glucose étant obtenu à partir du sang. En outre, une source d'énergie très importante provient des lipides ( substances grasses ) du sang, qui sont en partie transformés en glucose.

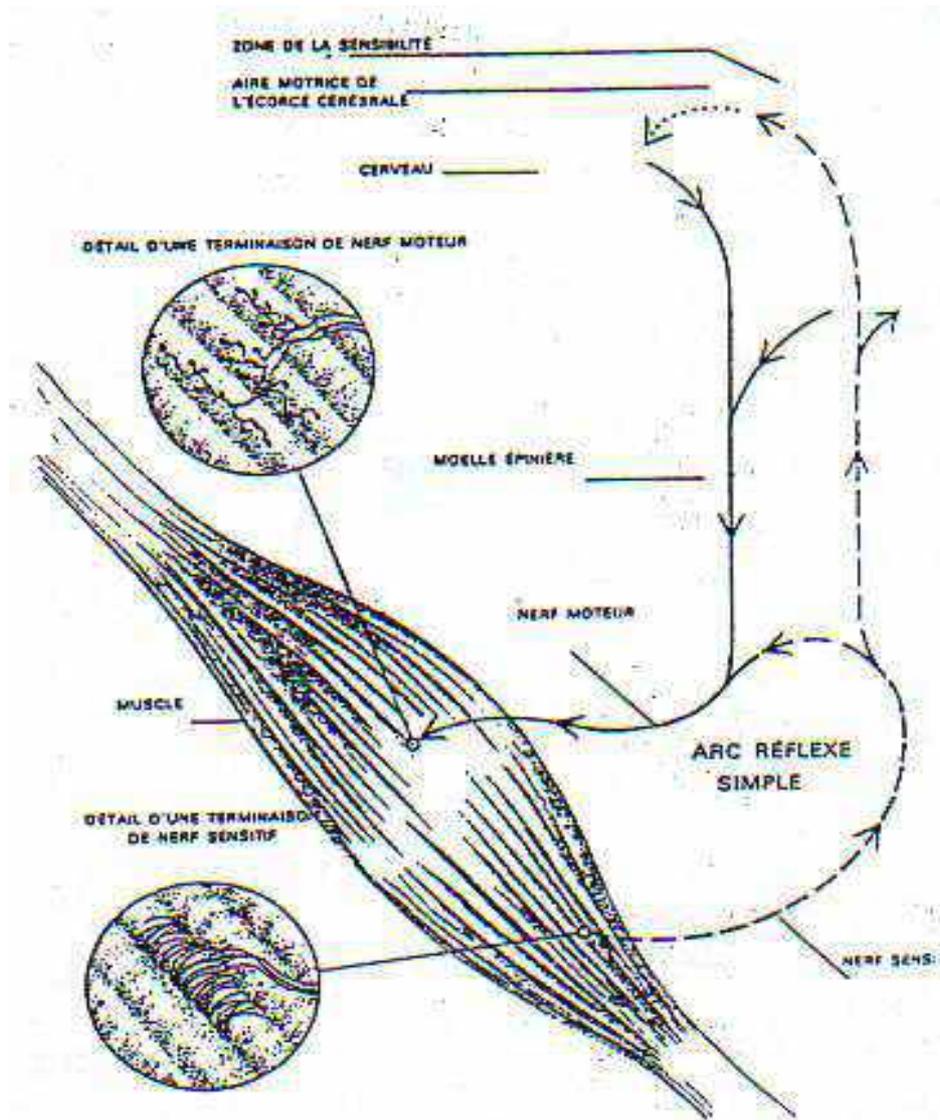


Fig 6.8

L'une des fonctions de l'approvisionnement du muscle en sang est donc de lui fournir les aliments nécessaires. Une autre est l'élimination des produits de la décomposition chimique (appelée plus généralement processus du métabolisme). Si l'acide lactique s'accumule, l'action musculaire décline et finalement s'arrête. Il faut qu'il s'en aille, soit dans le sang veineux qui quitte le muscle, soit en se décomposant davantage. Ces deux processus se produisent. On trouve de l'acide lactique en concentration plus forte dans le sang veineux qui quitte un muscle actif, que dans le sang artériel qui irrigue le muscle. Et cet acide lactique éloigné par le sang est traité dans le foie, là encore de deux façons: ou il est décomposé en eau et anhydride carbonique au cours d'une série de réactions commandées par les enzymes, ou il peut se reconstituer en glucose. Ces deux processus se produisent également dans le muscle.

Si nous insistons sur l'acide lactique, c'est que son accumulation dans le muscle est nuisible et que, comme nous l'expliquerons par la suite, l'élévation du niveau d'acide lactique dans le sang limite aussi le rendement. Mais voici encore une autre raison capitale: la décomposition du glucose en acide lactique n'exige pas d'oxygène, alors qu'au contraire la phase suivante de la décomposition de l'acide lactique en eau et anhydride carbonique en demande. La première est dite **anaérobie**, la seconde **aérobie**, fig ( 6.9 ).

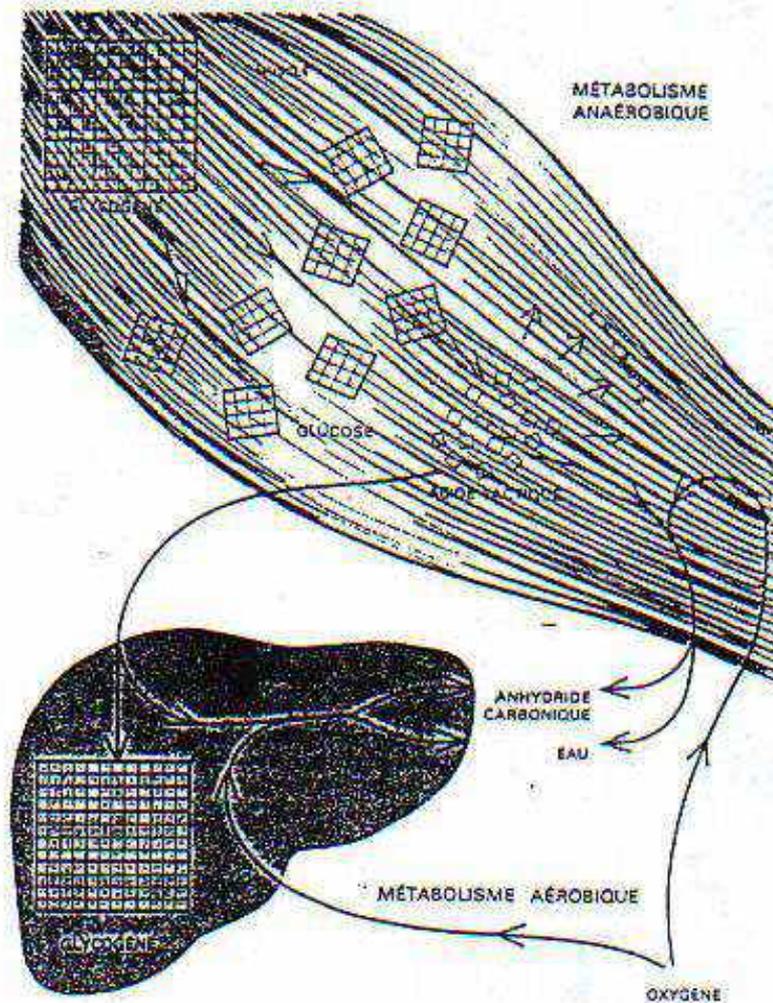


Fig 6.9

### 6.2.3. Consommation d'oxygène

L'inhalation d'oxygène ou sa consommation par le corps est continue, mais d'importance variable selon la somme du travail musculaire produit.

Dans un muscle actif, l'oxygène s'use à une cadence rapide, et la pression de l'oxygène dans le muscle décroît; il s'ensuit que l'oxygène lié à l'hémoglobine se dissocie et passe à travers la paroi du corps, réclame un ravitaillement continu en oxygène. Si la demande du muscle en oxygène devait être immédiatement satisfaite, une rapide action du muscle serait impossible. Il y a un décalage entre le début de l'action du muscle et la fourniture accrue de l'oxygène demandé. Un muscle actif a vingt fois plus besoin d'oxygène qu'un muscle inactif. Pour le lui fournir, le flux sanguin doit s'accroître d'une manière correspondante, puisque la quantité d'oxygène dans le sang sera tout à fait insuffisante.

Voilà où intervient le mécanisme du métabolisme anaérobie, première phase de la décomposition du glucose: il fournit l'énergie requise pour la première phase de l'action musculaire et donne le temps nécessaire pour procurer l'oxygène supplémentaire.

La vitesse à laquelle nous respirons est commandée par le centre respiratoire du cerveau. De ce centre, des impulsions passent aux muscles de la respiration qui dilatent la poitrine, par conséquent les poumons contenus dans le thorax. Ainsi l'air aspirée vers l'intérieur. La fréquence des impulsions en provenance du centre respiratoire dépend à son tour d'impulsions en provenance d'autres régions du corps et, en particulier, des stimulations chimiques qui agissent directement ou indirectement sur le centre. Au sens le plus simple, le centre respiratoire est particulièrement sensible à la quantité d'acide dans le sang, surtout à l'anhydride carbonique sous forme de gaz carbonique, et à l'acide lactique. Lorsque le muscle se contracte, il y a production d'acide lactique et consommation d'oxygène. L'oxygène se combine pour former de l'anhydride carbonique, si bien que l'action du muscle procure les stimulations pour le centre respiratoire. L'anhydride carbonique et l'acide lactique sont entraînés loin des muscles actifs, dans le sang qui s'écoule d'eux par les veines, et ils finiront par arriver au cerveau, pour stimuler le centre en vue d'une activité accrue. Un mécanisme de rétroaction à partir des muscles joue donc pour accroître la respiration et augmenter ainsi la quantité d'air contenant de l'oxygène qui est disponible.

#### **6.2.4. Échanges particuliers entre l'organisme et le milieu extérieur**

Au cours du travail le transformateur principal d'énergie est le muscle. Il puise dans le milieu intérieur l'énergie chimique dont il a besoin pour produire le travail mécanique et rejette dans ce même milieu les résidus de cette activité: substances issues du catabolisme glucoprotido-lipidique, anhydride carbonique et chaleur. Ainsi, dans la composition du milieu intérieur, sont créées des perturbations, points de départ des réactions régulatrices cardiovasculaires, ventilatoires, thermorégulatrices et métaboliques. Ces réactions surviennent simultanément, mais avec des constantes de temps différentes, et retentissent les unes sur les autres. L'ordre dans lequel elles sont exposées est arbitraire, répondant à un seul souci de rédaction. Dans un premier temps, il convient cependant d'envisager plus en détail le fonctionnement énergétique musculaire.

##### **6.2.4.1. Le muscle - description et consommation d'énergie**

L'unité structurale du muscle est la fibre ou cellule musculaire, très allongée, entourée d'une enveloppe membraneuse résistante. Plusieurs fibres se réunissent en faisceaux pour former le muscle. Elles sont séparées par du tissu conjonctif contenant un réseau capillaire très développé. La longueur de chaque fibre peut atteindre plusieurs centimètres et son diamètre varier entre 0,01 à 0,1 millimètre. La fibre elle-même est composée de faisceaux de myofilaments d'actine et myosine.

Entre les faisceaux de myofibrilles s'étend un réseau caniculaire conducteur de liquide, dont les extrémités présentent des dilatations sacculaires formant réservoir. Dans le muscle strié, les myofibrilles ont une structure périodique très régulière sous forme d'une alternance de bandes sombres et de bandes claires. Les bandes claires correspondent essentiellement aux filaments d'actine, les bandes sombres aux filaments épais de myosine.

##### **6.2.4.2. Les protéines musculaires**

Les protéines constituent 20% de la masse du muscle. Il est à distinguer les protéines à rôle métabolique des protéines contractiles myofibrillaires, actine et myosine. Les protéines à rôle métabolique sont associées à de nombreux composants du système glycolytique dont le phosphagène, l'adénosine-triphosphate (ATP) et différentes phosphokinases. Avec un pigment respiratoire, elles constituent la myoglobine, analogue à l'hémoglobine sanguine, à grande affinité pour l'oxygène. Grâce à la myoglobine, le muscle dispose d'une certaine quantité d'oxygène, peu importante mais immédiatement disponible.

La tête de myosine d'un filament épais est liée à de l'ATP. L'ATP est décomposée, ce qui produit une forme de myosine de haute énergie. La myosine de haute énergie se lie à une sous-unité d'actine sur le filament mince. L'énergie de la myosine de haute énergie est libérée et la tête de myosine pivote, tirant sur le filament mince contenant de l'actine. La myosine reste attachée à l'actine jusqu'à ce que l'ATP occupe la tête de myosine. L'ATP est alors décomposée et le cycle recommence. Pour que ce cycle contractile survienne, la troponine doit se lier au calcium. La tropomyosine peut alors quitter sa position de blocage de l'interaction myosine-actine.

#### 6.2.4.3. Consommation d'énergie et contraction

La contraction musculaire n'est possible qu'en présence d'ATP, fig (6.10). Grâce à l'activité enzymatique de l'actomyosine, l'ATP au cours de sa dégradation en adénosine diphosphate (ADP) fournit l'énergie nécessaire selon la réaction réversible suivante:



Une partie de l'énergie est transformée en travail mécanique, le reste est dissipé en chaleur. La réserve d'ATP musculaire représente sur une quantité d'énergie limitée. La resynthèse rapide de l'ATP à partir de l'ADP et du phosphate inorganique permet au muscle d'exercer une activité soutenue: cette resynthèse impose la fourniture d'une quantité d'énergie exogène de reconstitution que seul le système cardiovasculaire est capable d'apporter.

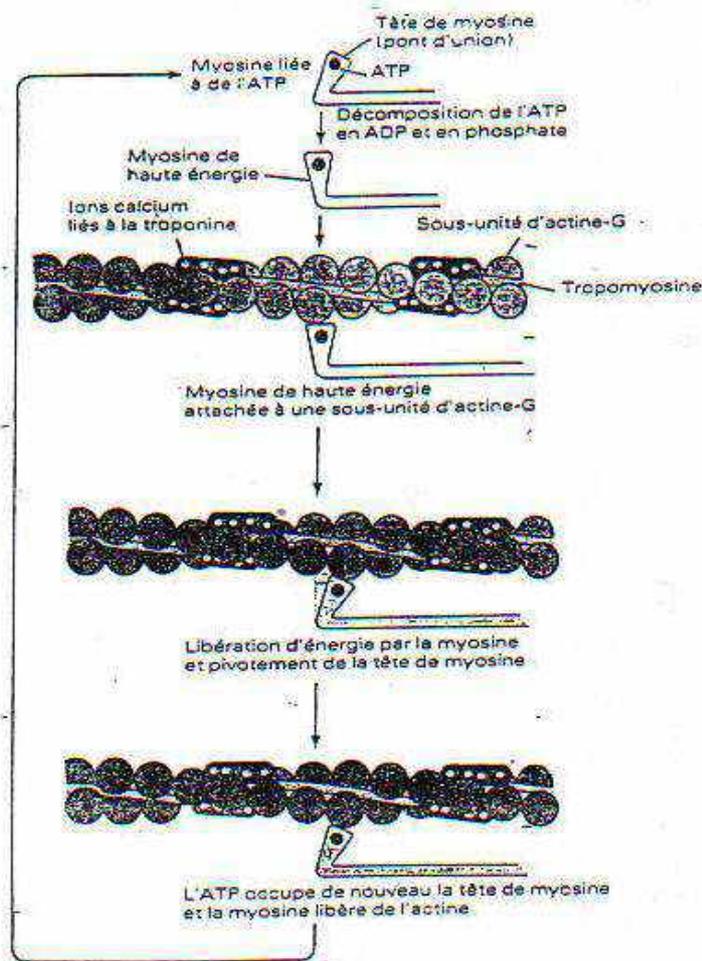


Fig 6.10. Mécanisme de la contraction musculaire

**\* Les sources d'énergie d'utilisation immédiate**

La synthèse immédiate d'ATP est possible à partir d'ADP et de phosphocréatine selon la réaction:



Les réserves d'ATP et PC, appelé phosphagène, permet une libération d'énergie immédiate, même en l'absence d'oxygène: c'est la voie « anaérobie alactique ». Elle ne peut fonctionner que lors de contractions brèves, 7 à 8 secondes. Au-delà, l'organe doit synthétiser de l'ATP par une autre voie.

**\* Les sources d'énergie d'utilisation**

A l'image d'un moteur de voiture les muscles ont besoins de carburant pour développer un travail mécanique. Les aliments servent de carburant et l'oxygène de carburant. L'oxygène permet la combustion du carburant au cours d'un processus chimique d'oxydoréduction qui libère l'énergie.

La principale source énergétique dans les aliments sont les glucides ( sucres), qui seront en partie stockés dans l'organisme sous forme de glycogène dans le foie et les muscles (Glycogène musculaire ). Les acides gras constituent eux aussi des réserves d'énergie.

Le processus métabolique a pour fonction de « brûler » les sucres et les graisses pour libérer l'énergie sous forme de travail mécanique ( l'activité musculaire ) et de chaleur. Les appareils respiratoire et circulaire réalisent la fonction d'approvisionnement de l'oxygène, alors que l'appareil digestif approvisionne l'organisme en sucres et graisses, fig ( 6.11 ).

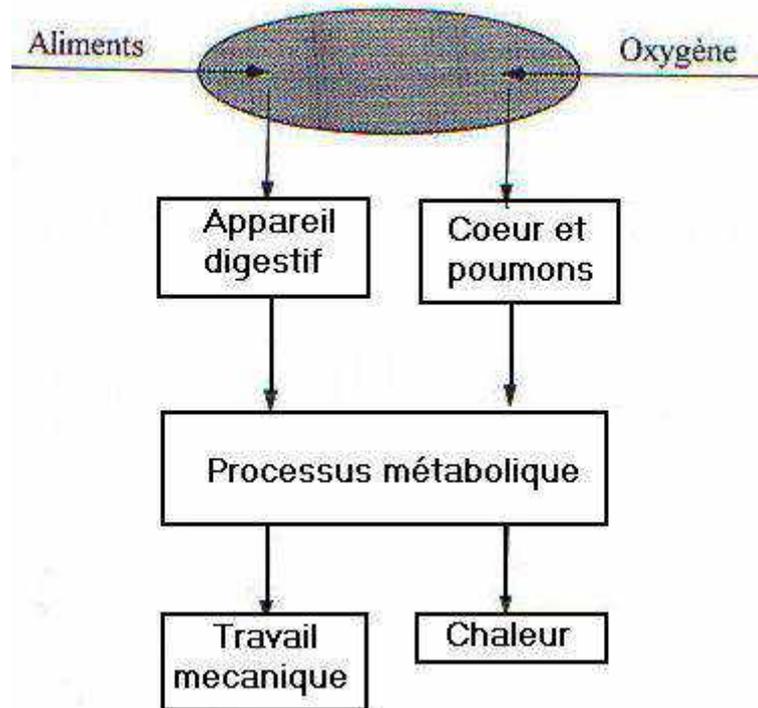


Fig 6.11

On distingue les trois processus énergétiques différents suivants:

### -La voie anaérobie lactique

En l'absence d'oxygène, l'ATP est reformée grâce à l'énergie libérée par la dégradation du glycogène musculaire. La glycolyse aboutit à l'apparition d'acide lactique. Réserve d'énergie encore faible, elle peut se poursuivre 20 secondes à une minute, mais n'excède pas « 2 minutes ». La limitation temporelle de ce type d'effort musculaire intense qui est très proche du maximum, n'est pas liée aux réserves énergétiques, mais aux désordres ioniques et à l'acidose intervenant très rapidement dans les cellules musculaires en produisant une forte douleur musculaire et une diminution de la capacité de contraction des muscles sollicités par ce processus.

### - La voie anaérobie alactique

Résulte de la dégradation de l'ATP ( adénosine triphosphate ) contenue dans les muscles. Il correspond à un effort d'intensité maximale, intervenant sans délai. La réserve instantanée en ATP dans les muscles étant très faible, ce processus ne peut pas être sollicité que sur une période très courte de quelques secondes. Les processus anaérobies conduisent à une dette d'oxygène qui se traduit par un accroissement de la fréquence cardiaque atteignant son maximum et

conduisant rapidement à la diminution de la puissance musculaire développée. La dette d'oxygène est payée lorsque cesse la sollicitation de ce type de processus.

#### **- La voie aérobie**

C'est la voie qui apporte, après un temps d'inertie de quelques secondes à quelques minutes, la quasi-totalité de l'énergie utilisée. La resynthèse de l'ATP se fait à partir du glycogène musculaire, mais également à partir du glycogène hépatique, du glucose, des acides gras et des lipides. La dégradation des métabolites en présence d'oxygène se fait jusqu'au stade de  $H_2O + CO_2$ , seul déchet à apparaître et qui sera éliminé par la ventilation. Le facteur limitant de cette voie est l'apport d'oxygène pour parvenir du milieu extérieur au muscle ( ventilation intra tissulaire ) peut constituer un obstacle.

Les réserves énergétiques étant importantes, il est impliqué lors d'efforts de faible intensité pouvant être maintenus pendant une longue durée. Au cours de ce processus il s'établit un équilibre entre la consommation d'oxygène et son apport aux muscles.

#### **6.2.4.4. Besoins en oxygène et dépense d'énergie**

L'évolution de la consommation d'oxygène lors d'un exercice musculaire est schématiquement divisée en trois temps. Dans un premier temps, la consommation d'oxygène augmente de façon progressive. C'est la phase ascendante au cours de laquelle l'organisme contracte une dette d'oxygène. Sa durée est d'autant plus longue que l'intensité de l'effort est plus élevée. Dans un deuxième temps, la consommation d'oxygène atteint un plateau. C'est « l'état stable ». L'apport d'oxygène correspond aux besoins de l'organisme et le travail musculaire se fait dans des conditions aérobies.

Dans un troisième temps, alors que l'effort a cessé, la consommation d'oxygène reste supérieure à sa valeur de repos. L'organisme paye la « dette d'oxygène », ce qui permet d'éliminer l'acide lactique accumulé pendant la première phase ( dette lactique ) et de reconstituer les stocks d'oxygène utilisés au cours de l'effort ( dette alactique ). Si la consommation d'oxygène ( $VO_2$ ) est mesurée au cours du deuxième temps d'exercices musculaires d'intensité croissante, une augmentation proportionnelle à l'intensité de l'effort est constatée. Au-delà d'une certaine limite, toute augmentation de l'effort n'entraîne plus d'augmentation de la  $VO_2$ . A ce niveau, « l'état- stable » ne peut être maintenu. Le sujet a atteint sa consommation maximale d'oxygène ( $VO_2$  max). Cette mesure détermine l'aptitude maximale d'un sujet à un effort physique. Celle-ci est très variable selon les individus, et dépend en particulier de l'âge. Les facteurs limitant sont rarement la ventilation pulmonaire ou les échanges alvéolocapillaires. Ce sont essentiellement les possibilités de transfert de l'oxygène au niveau capillaire et les aptitudes cardiovasculaires qui sont en cause. De ce fait, cet examen peut présenter des dangers et doit être évité en dehors d'une surveillance médicale très stricte chez les sujets « d'âge mûr ».

#### **6.2.4.5. Modifications du milieu intérieur**

Le métabolisme cellulaire retentit sur les caractéristiques du liquide extra-cellulaire par libération de métabolites acides, du gaz carbonique, de la chaleur, et par utilisation de l'oxygène

et des produits énergétiques. Les modifications ainsi provoquées ne sont qu'un reflet de l'activité cellulaire, car, dès leur survenue, les mécanismes de l'homéostasie interviennent pour ramener à la « normale » la valeur des grandeurs perturbées. La facilité de la ponction veineuse a fait son succès dans l'exploration du milieu intérieur, du compartiment sanguin en particulier.

En ergonomie toutefois, il est peu à attendre des informations ainsi obtenues, des perturbations significatives ne sont souvent observées que dans les cas extrêmes, lorsque les mécanismes régulateurs ont atteint les limites de leurs possibilités. Des signes fonctionnels, fatigue, malaises, épuisement ressentis par le sujet doivent, bien plus précocement, attirer l'attention de l'observateur. En revanche, le suivi des réactions adaptatives est riche d'enseignement: il permet d'apprécier la pénibilité d'une tâche et de juger des aptitudes du sujet.

#### **6.2.4.6. Fatigue musculaire**

Même si les fibres musculaires squelettiques sont capables de se procurer elles-mêmes de l'ATP pendant leur activité, une activité musculaire intense ne peut se poursuivre indéfiniment. Éventuellement, la fatigue s'installe et le muscle ne peut plus répondre à la stimulation. Elle peut résulter d'une insuffisance d'ATP causée par l'incapacité des différents fournisseurs d'ATP à répondre assez rapidement à la demande, ou par insuffisance dans les réserves métaboliques et certaines substances comme le glycogène. De plus, la formation de sous-produits, tels que l'acide lactique, peut rendre le pH du muscle plus acide, ce qui affecte l'activité des enzymes et contribue ainsi au développement de la fatigue musculaire.

#### **6.2.4.7. Système cardio - vasculaire**

L'appareil circulatoire peut être schématisé par une pompe (le cœur), des conduits (artères et veines), des échangeurs (les capillaires), fig (6.12). La fonction de transport d'énergie, appréhendée par la mesure des contenus gazeux respiratoires, apparaît comme la finalité de ce système. Les transferts se font des organes réservoirs d'énergie (foie, tissus adipeux) et du poumon vers le muscle au travail en ce qui concerne les apports, des muscles vers les émonctoires (poumon, rein, peau) en ce qui concerne les déchets métaboliques et thermiques.

##### **a) Transfert d'énergie**

Le cœur est formé de deux « pompes », le cœur droit et le cœur gauche, assurant le déplacement du sang dans deux circuits en série: la circulation systémique et la circulation pulmonaire. Le débit cardiaque, c'est le débit assuré par un ventricule. Dans les deux circuits, les débits sont égaux: toute inégalité s'accompagne rapidement de graves troubles de la répartition des masses sanguines.

A la sortie du ventricule gauche, la concentration en oxygène du sang artériel qui vient de traverser le poumon est grande. Les sangs veineux issus des divers points de l'organisme constituent à l'entrée du cœur droit le sang veineux « mêlé ». Sa concentration en oxygène traduit la désaturation résultante de toutes les consommations locales. Entre le cœur droit et le cœur gauche, les transferts d'oxygène sont assurés par le poumon compensant la consommation tissulaire.

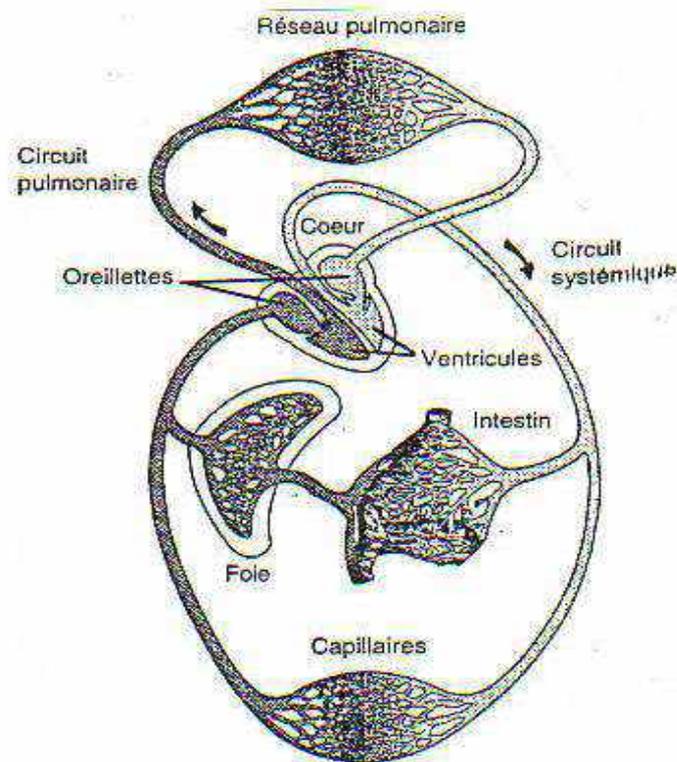


Fig 6.12

La somme des transferts assurés par le cœur est donc donnée par la relation:

$$V^*_{O_2} = Q^* ( C_{AO_2} - C_{V^*O_2} ) \quad (6.3)$$

1.  $Q^*$  : représente le débit cardiaque
2.  $C_{AO_2}$  et  $C_{V^*O_2}$  : sont respectivement les concentrations artérielles et veineuses en oxygène
3.  $V^*_{O_2}$  : la consommation d'oxygène.

L'adaptation cardiovasculaire aux diverses valeurs de  $V_{O_2}$  exigées par l'économie de l'organisme ne peut se faire que par des variations simultanées de la différence artérioveineuse en oxygène ( $C_{AO_2} - C_{V^*O_2}$ ) et du débit  $Q^*$ .

### b) Débit cardiaque

Le débit du cœur au repos est compris entre 4 et 6 litres / minute, pour une consommation d'oxygène de 200 à 300 ml d' $O_2$  /mn . La relation entre le débit cardiaque et la dépense énergétique est sensiblement linéaire pour les valeurs moyennes du débit. Aux faibles exercices le débit croît relativement plus vite, pour , à l'inverse, avoir une croissance moindre lorsque la consommation d'oxygène tend vers sa valeur maximale.

La pompe cardiaque a un régime périodique dont le débit est produit du volume d'éjection systolique par la fréquence:

$$Q^* = V_s \cdot f \quad (6.4)$$

L'ajustement du débit se fera par adaptation de ces deux facteurs. La variation de la fréquence cardiaque, 60 à 75 battements / minute au repos, sous contrôle du système nerveux végétatif, est un mode adaptatif rapide. La fréquence croît d'une manière proportionnelle à la dépense énergétique et au débit cardiaque dont elle est le reflet, à un coefficient de proportionnalité près, représenté par la valeur de  $V_s$ . Pour  $V_s$  constant, la fréquence devient un bon indicateur de débit. Le pouls permet alors, non de connaître la valeur de ce débit, mais d'en suivre les variations avec des marges d'erreur de 5 à 10%. L'augmentation de la fréquence cardiaque se fait aux dépenses de la diastole, c'est à dire de la phase de relâchement du muscle cardiaque durant laquelle a lieu le remplissage des cavités ventriculaires. Les fréquences maximales atteintes par un cœur, sans perturbation de l'hémodynamique intra-cavitaire, sont situées entre 160 et 190 battements/minute. Au-delà, le temps de remplissage ventriculaire est trop bref pour permettre au débit veineux de retourner le renouvellement du sang éjecté à la systole précédente. Le volume d'éjection systolique décroît et rend sans effet l'augmentation éventuelle de la fréquence, plaçant le cœur dans de bonnes conditions de remplissage et de fonctionnement.

### c) Contrôle de la réponse cardio-vasculaire

Comme tout système hydraulique, le système cardio-vasculaire est caractérisé par trois grandeurs: le débit, les pressions et les résistances. Les deux premières sont aisément mesurables chez l'homme, la dernière s'obtient par le calcul. Il légitime d'utiliser la relation de Poiseuille pour saisir le système dans sa globalité:

$$Q^* = \frac{P_A - P_C}{R} \quad (6.5)$$

$Q^*$  : le débit cardiaque;

$P_A$  : la pression à la sortie du cœur ( pression artérielle );

$P_C$  : la pression de retour au niveau du cœur.

#### 6.2.4.8. Échange gazeux entre les poumons et le sang

Les échanges gazeux entre les poumons et le sang se font dans les alvéoles. A chaque respiration, l'air atteint entre dans les poumons et atteint les alvéoles. Pour que l'échange gazeux soit efficace, les pressions partielles de  $CO_2$  et d' $O_2$  doivent être différentes dans les poumons, le sang et les tissus.

La pression partielle de l'oxygène (  $PO_2$  ) dans l'atmosphère est au niveau de la mer, d'environ 160 mmHg (  $160 / 760 = 0,21$  ou 21% ). La pression atmosphérique du dioxyde de carbone (  $PCO_2$  ), n'est que 0,3 mmHg. A cause de l'humidification de l'air atmosphérique inspiré et du mélange de cet air avec l'air restant dans les poumons, les pressions partielles des gaz pulmonaires ne sont pas les mêmes que celles que ceux-ci auraient dans l'atmosphère. Les pressions partielles réelles de l'oxygène et du dioxyde de carbone dans les poumons ainsi que les pressions partielles de ces gaz dans le sang et les tissus sont fournis à la fig ( 6.13 ).

D'après la fig (6.13 ), à l'intérieur des alvéoles, la pression partielle de l'oxygène ( $PO_2$ ) est d'environ 104 mmHg et celle du dioxyde de carbone ( $PCO_2$ ) est de 40 mmHg. Ces pressions demeurent passablement constantes durant un cycle respiratoire normal.

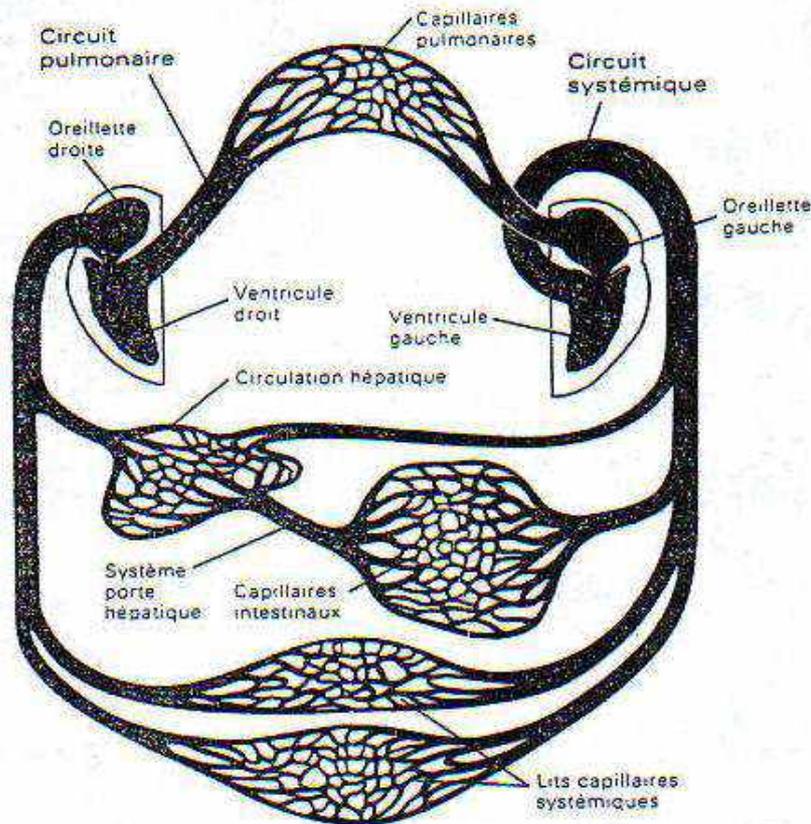


Fig 6.13

Cette figure montre aussi que le sang entrant dans les capillaires alvéolaires en provenance des tissus contient de l'oxygène à une pression partielle de seulement 40mmHg et du dioxyde de carbone à une pression partielle de 45 mmHg. A cause des différences entre les pressions partielles dans le sang et dans l'alvéole pulmonaire, l'oxygène alvéolaire se diffuse vers le sang, et le dioxyde de carbone sanguin se diffuse vers l'alvéole. Il en résulte que les pressions partielles de l'oxygène et du dioxyde de carbone dans le sang quittant les capillaires alvéolaires sont essentiellement les mêmes que celles dans l'alvéole ( $PO_2 = 104$  mmHg et  $PCO_2 = 40$  mmHg).

Dans les tissus, les réactions métaboliques consomment de l'oxygène et produisent du dioxyde de carbone ( processus aérobie ). La pression partielle de l'oxygène d'environ 40 mmHg alors que la pression partielle du dioxyde de carbone est d'environ 45 mmHg. Lorsque le sang venant des poumons, où sa pression d'oxygène est très élevée, arrive aux tissus, il y a une diffusion nette de l'oxygène, dont la pression partielle est d'environ 40 mmHg, et du dioxyde de carbone, dont la pression partielle est d'environ 45 mmHg. Il s'agit des mêmes pressions partielles que celles mesurées dans le sang entrant dans les capillaires alvéolaires des poumons.

Les échanges d'oxygène et de dioxyde de carbone entre, d'une part, le sang et les alvéoles et, d'autre part, entre le sang et les tissus, se font donc par simple diffusion et dépendent des différences de pressions des gaz soit entre le sang et les alvéoles, soit entre le sang et les tissus.

### 6.3. Dépense énergétique

On mesure la consommation d'énergie en kilocalories ( Kcal ) : une kilocalorie étant la quantité de chaleur nécessaire pour élever la température d'un litre d'eau d'un degré celsius. La consommation d'énergie peut être calculée indirectement en mesurant la consommation d'oxygène, ces deux facteurs étant directement liés. Pour un litre d'oxygène consommé il y a production de 4,8 Kcal d'énergie. C'est ce qu'on appelle la valeur calorifique de l'oxygène: pour obtenir la consommation d'énergie il faut multiplier par 4,8 la consommation d'oxygène.

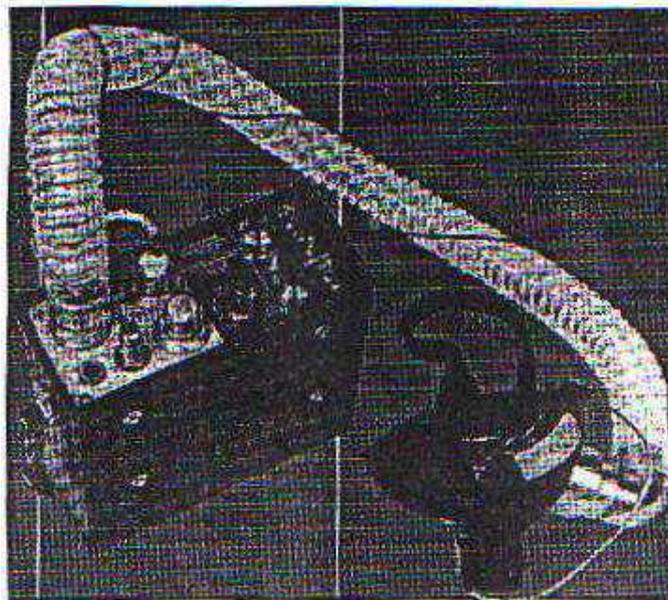
### 6.3.1. Mesure de la dépense énergétique

La mesure de la dépense énergétique se traduit par l'estimation de la charge de travail physique. Les deux méthodes de mesure les plus utilisées sont:

- la consommation d'oxygène,
- la fréquence cardiaque.

#### *Consommation d'oxygène*

L'oxygène sert de comburant pour « brûler » le carburant alimentaire et produire de l'énergie, sa consommation est un bon indicateur de la dépense énergétique. La technique consiste à placer un masque sur le visage du sujet et à analyser la différence de composition entre le gaz inspiré ( l'air ) et le gaz expiré. La différence permet de calculer le volume d'oxygène consommé par le sujet, fig ( 6.14 ).



**Fig 6.14**

Généralement cette technique est mise en oeuvre dans des épreuves d'effort sur ergo cycle ou tapis roulant. L'aptitude physique maximale d'un individu est corrélée à sa capacité maximale à consommer l'oxygène ( $VO_2 \text{ max}$ ). Autrement dit, sa capacité vitale est donnée par son volume thoracique. En moyenne, les hommes ont une capacité vitale maximale de l'ordre de 3,5 litres/min. Les femmes 3 litres/mn à 25 ans. Ces capacités vont en diminuant avec l'âge. La réduction est en moyenne de 10% à 50 ans, 25% à 65 ans. Les différences vitales sont importantes et sont liées à l'entraînement physique de l'individu.

La relation de Spitzer permettant la détermination du temps de repos nécessaire à la récupération physique en fonction de la dépense énergétique pour les travaux très pénibles est écrite sous la forme:

$$\text{Temps de repos} = \left( \frac{\text{kcal} \cdot \text{min}}{4} - 1 \right) \times 100 \quad (6.6)$$

On considère qu'une dépense de 2500 Kcal / jour, soit 5,2 Kcal/mn, constitue un maximum à ne pas dépasser dans le cadre d'un travail quotidien exercé 8 heures par jour pendant de nombreuses années. Au-delà, on admet que l'activité professionnelle conduit à une usure physiologique préjudiciable au sujet.

La quantité d'oxygène consommé pour la réalisation d'une tâche bien déterminée, permet d'évaluer la dépense énergétique de l'individu en exercice. Cette consommation sera obtenue par l'utilisation de la relation suivante:

$$\text{Consommation d'O}_2 = \frac{(\% \text{ d'O}_2 \text{ inspiré} - \% \text{ d'O}_2 \text{ expiré}) \times \text{litres d'air par minute}}{100} \quad (6.7)$$

### Exemple:

Le % d'O<sub>2</sub> inspiré = 25 % et le % d'O<sub>2</sub> expiré = 20 %, le volume d'air véhiculé par l'appareil de mesure = 40 l / mn.

$$\text{Consommation d'O}_2 = \frac{(25\% - 20\%) \times 40}{100} = 2 \text{ l d'O}_2 / \text{mn}. \quad (6.8)$$

D'où, la consommation d'oxygène pour accomplir cette tâche est de 2 litres d'O<sub>2</sub> par minute. Donc, la dépense énergétique en Kcal / mn deviendra:

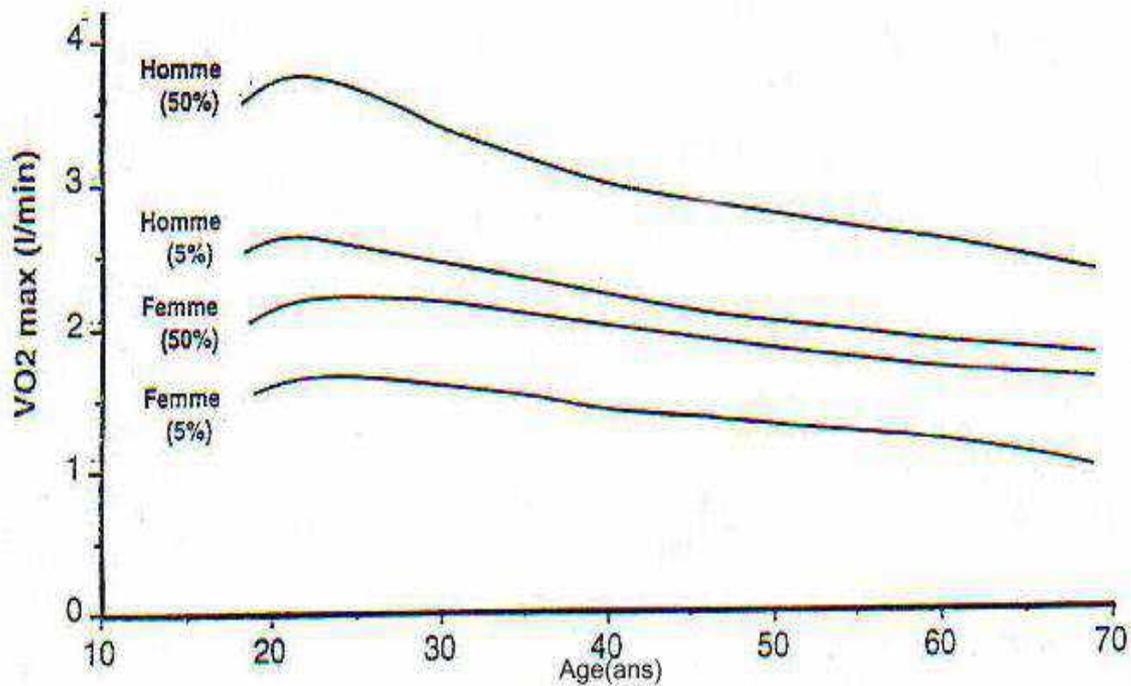
$$(2 \text{ l d'O}_2 \times 5 \text{ Kcal / l d'O}_2) = 10 \text{ Kcal / mn (600 Kcal / h)}$$

Les résultats obtenus ne sont pas tout à fait précises, vue que la technique utilisée ne prend pas en considération l'ensemble des facteurs d'influence lié à l'individu et sa tâche.

Cette évaluation globale de la pénibilité de travail représente une base de données pour les concepteurs qui doivent tenir compte de ces incertitudes au cours des modifications apportées au niveau des postes de travail.

### 6.3.2. Puissance aérobie maximale (VO<sub>2</sub> max)

La plus grande quantité d'énergie dépensée provient du métabolisme aérobie. Le débit maximal d'O<sub>2</sub> résultant est appelé « puissance aérobie maximale ». Celle-ci varie d'une personne à une autre en fonction de l'âge et de sexe, fig ( 6.15 )



**Fig 6.15**  
**Puissance aérobie maximale suite à une épreuve sur un ergo cycle**

Si on admet une puissance aérobie maximale de 100% pour les deux sexes d'âge compris entre 20 et 30 ans, cette caractéristique diminue avec l'âge de la façon suivante:

20 à 30 ans	————	100 %
40 ans	————	95%
50 ans	————	90%
60 ans	————	80%
65 ans	————	75%

La puissance aérobie maximale d'une population en fonction du sexe et de l'âge est illustrée dans le tableau 6.1.

**Puissance aérobie maximale ( li.d'O2 / mn )**  
 ( moyenne ± un écart type )

Tableau 6.1

Age ( ans )	Homme	Femme
20 - 29	3,16 ± 0,30	2,14 ± 0,25
30 - 39	2,88 ± 0,28	2,00 ± 0,23
40 - 49	2,60 ± 0,25	1,85 ± 0,25
50 - 59	2,32 ± 0,27	1,65 ± 0,15

On observe qu'il y a une variation remarquable de la puissance aérobie maximale entre les différents individus, celle-ci dépend essentiellement de l'âge, du sexe et de leur niveau

d'entraînement . Du point de vue physiologie, cela signifie qu'une même charge de travail ne sera pas perçue avec la même difficulté d'une personne à une autre.

### Application :

On se propose d'effectuer une même tâche par deux employés, la consommation d'oxygène pour le premier  $VO_2 \text{ max} = 6 \text{ li.d'O}_2 / \text{mn}$  (30 Kcal / mn) et celle pour le deuxième  $VO_2 \text{ max} = 3 \text{ li.d'O}_2 / \text{mn}$  (15 Kcal / mn). La dépense énergétique de la tâche est de  $1,5 \text{ d'O}_2 / \text{mn}$  (7,5 Kcal / mn).

Le premier employé travaille avec  $7,5 / 30 = 25 \%$  de sa puissance aérobie maximale;  
Le deuxième employé travaille avec  $7,5 / 15 = 50 \%$  de sa puissance aérobie maximale.

D'après ces résultats, on peut conclure d'une part que la tâche menée par le deuxième employé est beaucoup plus difficile à celle menée par le premier, mais d'autre part, le premier pourra effectuer son travail durant une période plus longue que celui du deuxième.

La dépense énergétique en (kcal/mn) spécifique pour chacune des activités effectuées par l'être humain, fig (6. 16).

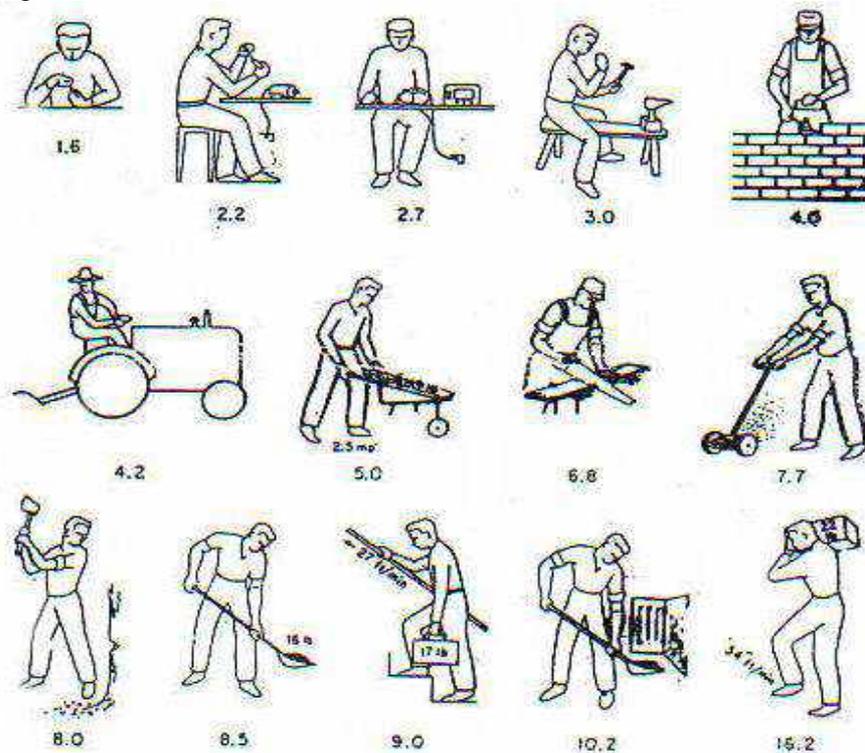


Fig 6.16

### 6.3.3. Critères de conception pour la dépense énergétique

La consommation énergétique est une mesure physiologique utilisée pour la détermination du degré de pénibilité d'un travail quelconque.

L'utilisation de la physiologie, permettant la conception des postes de travail d'une façon que la personne puisse mener un travail dans un mode continu sans aucune apparence de fatigue significative durant 8 heures.

**De plus, on connaît que le processus aérobie est présent uniquement dans le cas où le travail est modéré, au delà**

## de cette situation ( travail dur ), le processus anaérobie entrera en fonction pour donner un supplément d'énergie.

Le seuil de la pénibilité de travail à partir duquel, l'action du processus anaérobie commencera à être fixé en fonction de la puissance maximale d'un individu ( $VO_2 \text{ max}$ ).

Dans la littérature de spécialité, ce seuil a été borné à 33% du  $VO_2 \text{ max}$ .

**D'où la dépense énergétique pour un travail effectué dans un mode continu pendant 8 heures ne devrait jamais dépasser les 33% du  $VO_2 \text{ max}$ .**

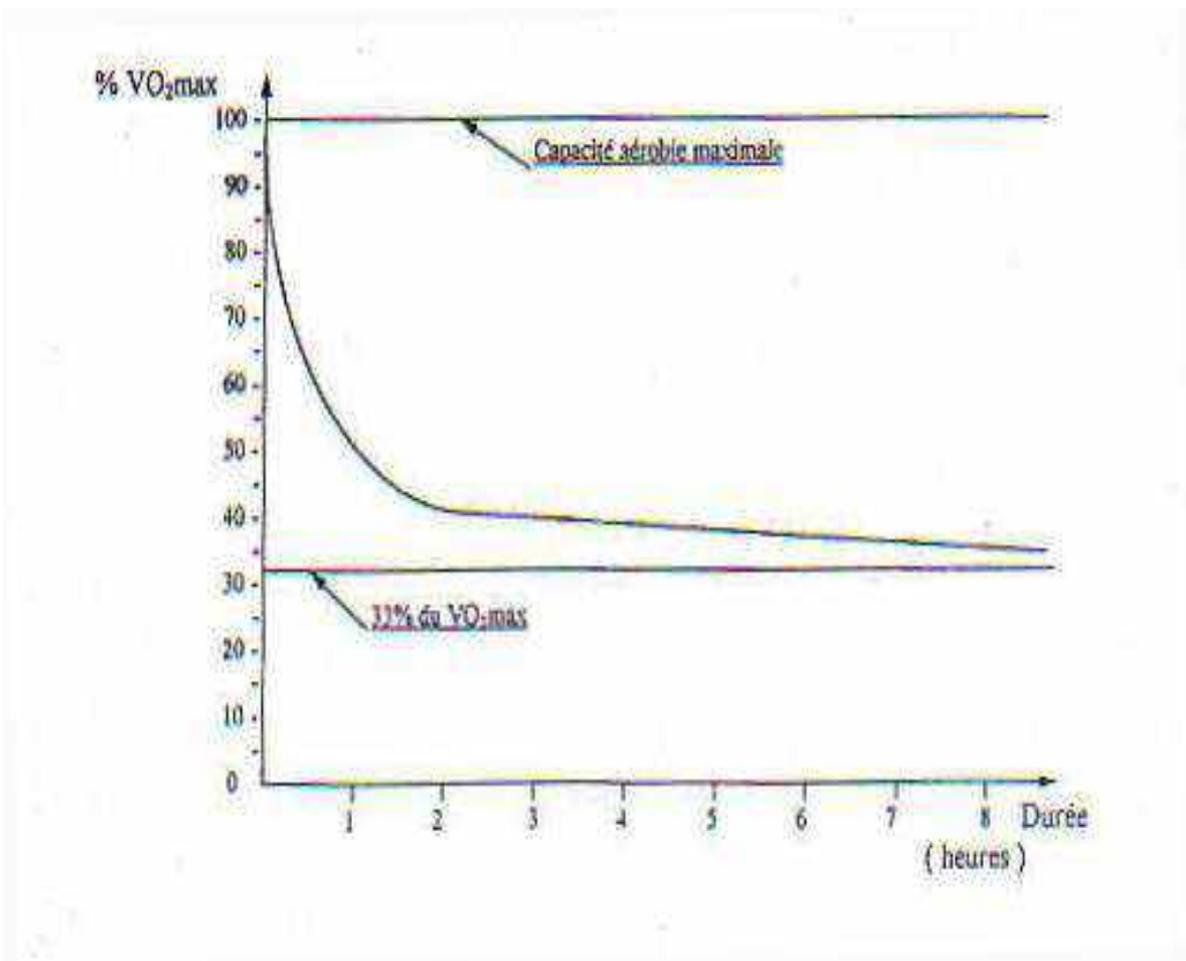


Fig 6.17

D'après le diagramme illustré à la fig (6.17), on constate que la capacité aérobie augmente au fur et à mesure que l'intensité de travail s'éloigne du seuil (33% du  $VO_2 \text{ max}$ ). Ce qui signifie que la durée de travail (sans fatigue) dépend essentiellement de la valeur (% du  $VO_2 \text{ max}$ ).

La valeur du (% du  $VO_2 \text{ max}$ ) peut être déterminée aussi par l'utilisation de l'expression suivante:

$$(\% \text{ du } VO_2 \text{ max}) \approx 109,14 - 28,08 \log ( T ) \quad ( 6.9 )$$

T : durée du travail en minutes

### Applications:

Déterminer le sujet pouvant exécuter le travail suivant, sachant que la dépense énergétique de la tâche est de  $1 \text{ l}'\text{O}_2 / \text{mn}$  et  $\text{VO}_2\text{max}$  requis pendant 8 heures est égal à 33%.

On connaît que n'importe quelle personne ayant un  $\text{VO}_2\text{max}$  supérieur ou égal à 33% ( $3 \text{ l}'\text{O}_2 / \text{mn}$ ) peut effectuer ce travail sans aucune difficulté.

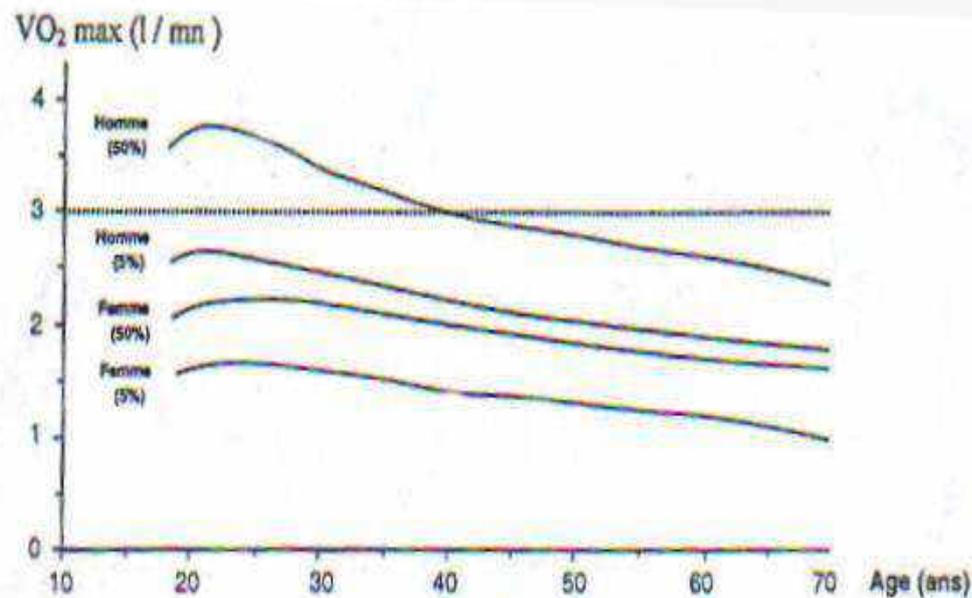


Fig 6.18

D'après la fig ( 6.18 ), on constate que la proportion des hommes, pouvant effectuer ce travail pendant une séance de 8 heures est donnée comme suit:

**20 - 30 ans**  $\Rightarrow \approx 70 \%$

**30 - 40 ans**  $\Rightarrow \approx 60 \%$

**40 - 50 ans**  $\Rightarrow \approx 50 \%$

**50 - 60 ans**  $\Rightarrow \approx 40 \%$

### Remarque:

On aura pu tirer presque les mêmes conclusions en utilisant le tableau 6.1 .

Pour les hommes entre 20 et 30 ans, on aura la distribution normale suivante, fig(6.19) dont la moyenne est égale à 3,16 avec un écart type de  $\pm 0,15$  :

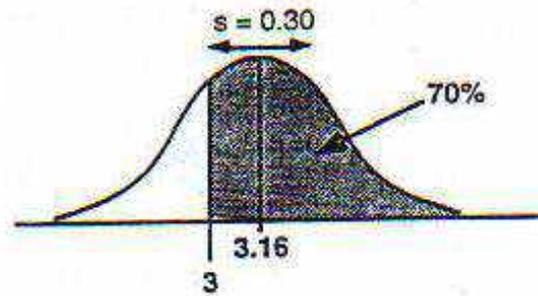


Fig 6.19

NB : Les résultats obtenus dans le tableau 6.1 ne sont pas identiques avec ceux trouvés à partir du graphique donnée à la fig (6.19 ). Parce que, les  $VO_2$ max ont été mesurés pour des activités différentes.

#### 6.3.4. Réponses physiologiques liées aux activités de travail

En général, la réponse physiologique associée aux différentes sortes de travail, tient compte de plusieurs facteurs d'influence qui sont en liaison directe avec le rythme cardiaque, tels que (le stress, l'état émotionnel, la contrainte thermique, le travail statique etc....).

Pour l'estimation du coût énergétique, en ergonomie, on utilise les méthodes suivantes qui sont basées sur la qualité du milieu de travail:

- **Méthode de Garg;**
- **Méthode d'Asfour;**
- **Table de référence.**

Les deux premières méthodes sont empiriques, sont précises et elles sont présentées sous forme d'une série d'équations de régression permettant de déterminer le coût énergétique pour les différents éléments d'une tâche de manutention tels (le lever, la baisse, le transport, la marche, la poussée, les déplacements latéraux de charge etc...).

Les tables de référence qui ont été établies dans la région de Québec sont moins précises que ces deux premières.

Pour la détermination du coût de la dépense énergétique, on se limite à l'utilisation de la méthode empirique de Garg et les tables de référence.

##### 6.3.4.1. Méthode de Garg

Ce modèle consiste à subdiviser une tâche donnée en éléments simples et la détermination de la dépense énergétique moyenne de la tâche se fait à partir de l'ensemble des dépenses énergétiques individuelles de chacun des éléments qui composent la tâche. Ce modèle est constitué par trois équations de prédiction pour la position du corps et autour d'une vingtaine d'équations pour les différentes activités d'une tâche. Le modèle est appliqué uniquement dans le cas d'une tâche de manutention manuelle. La précision de la dépense énergétique moyenne est de  $\pm 10$ .

La dépense énergétique moyenne d'une tâche a l'expression suivante:

$$\overline{\dot{M}}_{tache} = \frac{\sum_{i=1}^{n_i} \dot{M}_{posture\ i} \times t_i + \sum_{j=1}^{n_j} \Delta M_{\text{éléments}}}{T} \quad (6.10)$$

$\overline{\dot{M}}_{tache}$  : dépense énergétique moyenne à la tâche, en Kcal / mn ;

$\dot{M}_{posture}$  : dépense énergétique pour la posture « i », en Kcal / mn;

$t_i$  : durée du maintien de la posture « i », en mn;

$n_i$  : numéro de postures différentes dans la tâche;

$\Delta M_{\text{éléments}}$  : dépense énergétique nette de l'élément « j », en Kcal;

$n_j$  : numéro d'éléments composant de la tâche;

T: durée de la tâche en mn.

**A/ Position du corps**

Les différentes positions du corps humaine sont données au tableau 6.3

Tableau 6.3

Position du corps	Equation de la dépense énergétique en Kcal / mn
Assis	$M = 0,023 \cdot BW$ ( 6.11 )
Debout	$M = 0,024 \cdot BW$ ( 6.12 )
Debout- penché	$M = 0,028 \cdot BW$ ( 6.13 )

**B/ Dépense nette par élément ( tableaux 6.4 - 6.5 - 6.6 - 6.7 - 6.8 - 6.9 - 6.10 )**

Tableau 6.4

Position Lever	Equation de la dépense énergétique en Kcal / lever
<b>Accroupie ( Squat )</b> ( dos droit, genoux pliés )	$\Delta M = 10^{-2} [0,514 \cdot BW ( 0,81 - h_1 ) + ( 2,19L + 0,62S.L )(h_2 - h_1 )]$ avec $h_1 < h_2 \leq 0,81$ ( 6.14 )
<b>Penchée ( Stoop )</b> (dos plié, genoux non-pliés)	$\Delta M = 10^{-2} [0,325 \cdot BW ( 0,81 - h_1 ) + ( 1,41L + 0,76S.L )(h_2 - h_1 )]$ avec $h_1 < h_2 \leq 0,81$ ( 6.15 )
<b>Une main</b>	$\Delta M = 10^{-2} [0,352 \cdot BW ( 0,81 - h_1 ) + ( 3,03L (h_2 - h_1 )]$ avec $0,81 < h_1 < h_2$ ( 6.16 )
<b>bras</b>	$\Delta M = 10^{-2} [0,062 \cdot BW ( h_2 - 0,81 ) + ( 3,19L - 0,52S.L )(h_2 - h_1 )]$ avec $0,81 < h_1 < h_2$ ( 6.17 )

Tableau 6.5

Position Dépôt	Equation de la dépense énergétique en Kcal / dépôt
<b>Accroupie ( Squat )</b>	

( dos droit, genoux pliés )	$\Delta M = 10^{-2} [0,511 BW ( 0,81 - h_1 ) + 0,701.L (h_2 - h_1 )]$ avec $h_1 < h_2 \leq 0,81$ ( 6.18 )
<b>Penchée ( Stoop )</b> (dos plié, genoux non-pliés)	$\Delta M = 10^{-2} [0,268 BW( 0,81-h_1 )+0,675L)(h_2 - h_1)+5,22S(0,81- h_1 ]$ avec $h_1 < h_2 \leq 0,81$ ( 6.19 )
<b>Bras</b>	$\Delta M = 10^{-2} [0,093 BW (h_2 - 0,81 ) + ( 1,02L + 0,37S.L (h_2 - h_1 )]$ avec $0,81 < h_1 < h_2$ ( 6.20 )

Tableau 6.6

Position Marcher / Transporter	Equation de la dépense énergétique en Kcal / (marcher / transporter)
<b>Sans charge</b>	$\Delta M = 10^{-2} [51 + 2,54 BW .V^2 + 0,379BW.G.V ] .t$ ( 6.21 )
<b>Charge maintenue sur le côté</b>	$\Delta M = 10^{-2} [80+2,43 BW.V^2+4,63L.V^2 +4,63 L+0,379 (L+BW)G.V ] t$ ( 6.22 )
<b>Charge maintenue devant ( cuisses ou ceinture )</b>	$\Delta M = 10^{-2} [68+2,54 BW.V^2+4,08L.V^2 +11,4 L+0,379 (L+BW)G.V ] t$ ( 6.23 )

Tableau 6.7

Position Maintenir	Equation de la dépense énergétique en Kcal
<b>Charge sur le côté ou sur les cuisses ( deux mains )</b>	$\Delta M = 0,037 L.t$ ( 6.24 )
<b>Charge sur le devant au niveau de la ceinture ( deux mains )</b>	$\Delta M = 0,062 .L.t$ ( 6.25 )
<b>Charge ( une main )</b>	$\Delta M = 0,088 .L.t$ ( 6.26 )

Tableau 6.8

Position Pousser / tirer	Equation de la dépense énergétique en Kcal / pousser ou tirer
<b>Pousser ou tirer à une hauteur de 0,8 m</b>	$\Delta M = 10^{-2} DH ( 0,112 BW + 1,15 F + 0,505.S.F )$ ( 6.27 )
<b>Pousser ou tirer à une hauteur de 1,5 m</b>	$\Delta M = DH ( 0,086 + 0,036 F )$ ( 6.28 )

Tableau 6.9

Position Mouvement latéral des bras	Équation de la dépense énergétique en Kcal / mouvement
--	---

<b>180° debout ( deux mains)</b>	$\Delta M = 10^{-2} [ 0,11 BW + 0,726. L ]$	<b>( 6.29 )</b>
<b>180° debout ( une main)</b>	$\Delta M = 10^{-2} [0,097 BW + 0,946. L ]$	<b>( 6.30 )</b>
<b>90° debout (une ou deux mains)</b>	$\Delta M = 10^{-2} [ 3,31 + 0,629. L + 0,143 S.L ]$	<b>( 6.31 )</b>
<b>90° assis (une main )</b>	$\Delta M = 10^{-2} [ 3,5 + 0,682. L + 0,321 S.L ]$	<b>( 6.32 )</b>
<b>90° assis ( deux mains )</b>	$\Delta M = 10^{-2} [ 2,54 + 1,1. L + 0,248 S.L ]$	<b>( 6.33 )</b>

Tableau 6.10

<b>Position Mouvement avant / arrière des bras</b>	<b>Equation de la dépense énergétique en Kcal / mouvement</b>	
<b>Assis ( deux mains)</b>	$\Delta M = 10^{-2} DH [6,3 + 2,71. L ]$	<b>( 6.34 )</b>
<b>Debout ( une ou deux mains )</b>	$\Delta M = 10^{-2} DH [3,57 + 1,23. L ]$	<b>( 6.35 )</b>

**NB :** Dans toutes ces relations, il faut tenir compte de la fréquence de chaque élément de la tâche.

Les variables utilisées dans le méthode de Grag ont les significations suivantes:

BW : poids corporel en ( kg );

F : force moyenne appliquée pour pousser ou tirer en ( kg );

G : inclinaison du plancher en ( % );

$h_1$  : hauteur verticale à partir du plancher ( point de départ ), en ( m ), pour un lever et point d'arrivée pour un dépôt;

$h_2$  : hauteur verticale à partir du plancher ( point d'arrivée ), en ( m ), pour un lever et point de départ pour un dépôt;

L : poids de la charge en ( kg );

S : sexe ( 1 pour homme et 0 pour femme );

V : vitesse de marche ou de transport en ( m/ s );

DH : déplacement horizontal de la charge en ( m );

t : durée de l'activité en ( mn ).

**Application:**

On a proposé à un ouvrier de 85 kg de faire déplacer 60 caisses de citrons dont le poids unitaire est de 23 kg avec une vitesse de 0,60 m/s durant une période d'une demi-heure, fig ( 6.20 ).

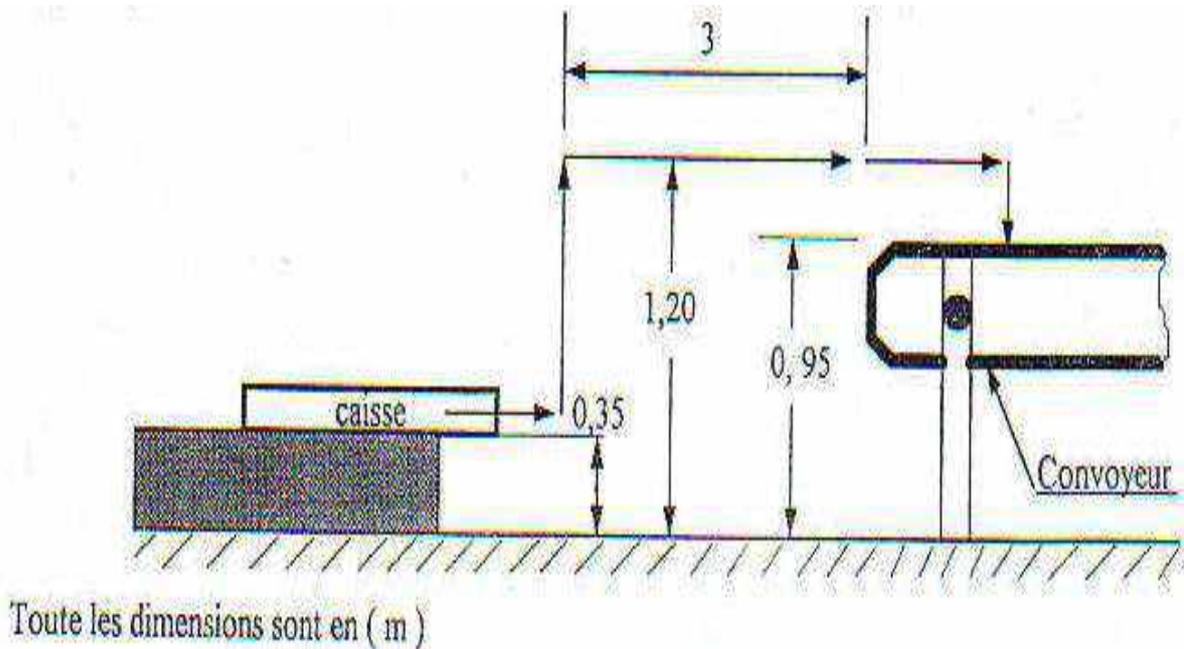


Fig 6.20

Tableau récapitulatif des résultats

Tableau 6.11

Numéro d'éléments	Description du mouvement	position	Fréquence (n <sup>bre</sup> de fois)	Poids ( kg )	h <sub>1</sub> ( m )	h <sub>2</sub> ( m )	Vitesse ( m / s )	kcal	
1	Mouv.lat.90°	Debout	120	23	-	-	-	4,12	
2	Lever	Stoop+ marche	60	23	0,35	1,20	-	31,39	
3	Transport	Devant	60	23	-	-	0,60	22,08	
4	Baisser	Bras	60	23	1,20	0,95	-	6,95	
5	Marcher	-	60	23	-	-	0,60	6,43	
debout :		M = 0,024.85	= 2,04 k	cal/ mn				Σ = 111	,57 kcal

Résolution:

**Elément n° 1.**

En utilisant la relation ( 6. 31 ), on obtient :

$$\Delta M = 10^{-2} ( 3,31 + 0,629 \cdot 23 + 0,143 \cdot 1 \cdot 23 ) 120 = 4,12 \text{ kcal}$$

**Elément n° 2.**

En utilisant la relation ( 6. 15 ), on obtient :

$$\Delta M = 10^{-2} [0,325 (85) (0,81-0,35) + ((1,41 \cdot 23) + 0,76 ( 1 \cdot 23 )) ( 0,81 - 0,35 )] \cdot 60 = 21,59 \text{ kcal}$$

La relation ( 6.17 ) sera utilisée comme suit dans le cas où le bras est maintenu élevé:

$$\Delta M = 10^{-2} [0,062(85)(1,20 - 0,95 ) + ( 3,19 \cdot 23 ) - 0,52 ( 1 \cdot 23 )) ( 1,2 - 0,95 )] \cdot 60 = 10,002 \text{ kcal}$$

**Elément n° 3.**

En utilisant la relation ( 6.23 ), on obtient :

$$\Delta M = 10^{-2} [68 + 2,54 (85)(0,6)^2 + 4,08 \cdot 23 \cdot (0,6)^2 + 11,4 \cdot 23 + 0,379 (23 + 85) \cdot 0,0,6] \cdot 60 \cdot \frac{5}{60} = 22,08 \text{ kcal}$$

**Elément n° 4.**

En utilisant la relation ( 6.20 ), on obtient

$$\Delta M = 10^{-2} [0,093(85)(1,20 - 0,81 ) + ( 1,02 (23) + 0,37 ( 1 \cdot 23 )) ( 1,2 - 0,95 )] \cdot 60 = 6,95 \text{ kcal}$$

**Elément n° 5.**

En utilisant la relation ( 6.21 ), on obtient

$$\Delta M = 10^{-2} ( 51 + 2,54 (85)(0,6)^2 + 0,379(85 \cdot 0,0,60) ) \cdot 60 \cdot \frac{5}{60} = 6,43 \text{ kcal}$$

**Dépense énergétique:**

$$\dot{M} = \frac{( 2,04 )(30) + 111,57}{30} = 4,4 \text{ kcal / mn}$$

**6.3.4.2. Méthode des tables de référence**

L'énergie moyenne consommée correspondant à la dépense énergétique nécessaire au métabolisme de base et aux activités composantes de la tâche est estimée à l'aide des tables de référence qui se trouvent dans le règlement sur la qualité du milieu de travail. Cette méthode n'est pas assez précise comme celle de Grag vue qu'elle ne tient pas compte des facteurs d'influence.

Dans ce cas, l'augmentation de la précision nécessite l'utilisation d'un facteur de correction qui tient compte du poids des individus à travers la relation suivante:

$$VO_{2\text{corrigé e}} = VO_{2\text{estimé e}} \frac{P_i}{70} \quad (6.36)$$

P<sub>i</sub> : Poids de l'individu en ( kg )

70 : le poids moyen des individus ( en kg ) pris par la table du règlement.

Tableau 6. 12

Position et mouvement du corps	Dépense d'énergie Kcal / mn
Assis	0,3
Debout	0,6
Marche	2 - 3
Marche en montant	0,8/ m ( de montée)

Tableau 6.13

Type de travail	Dépense d'énergie Kcal / mn						
	Limite inférieure	Limite supérieure	moyenne				
impliquant la main:	léger	0,2	1,2				
				lourd	0,4		
impliquant un seul bras:	léger	0,7	2,5				
				lourd	1,0	1,7	
impliquant les deux bras:	léger	1,0	3,5				
				lourd	1,5	2,5	
impliquant le corps:	léger	2,5	15				
				moyen	3,5		
						lourd	5,0
9,0							

**Inventaire des travaux liés au tableau 6.13.**

**Travail :**

- léger → la main : écrire, tricoter, etc...;
- lourd → la main : dactylographier, etc...;
- lourd → un seul bras : enfoncer des clous, etc...;
- lourd → les 2 bras : limer du métal, raboter du bois, etc...;
- moyen → les 2 bras : nettoyer un sol, battre un tapis, etc...;
- lourd → le corps : creuser la terre, écorcer un arbre, etc...

→ : ( impliquant )

Tableau 6.14

Position	Dépense d'énergie kcal / mn
Basal ( couchée )	1

**NB:** Le métabolisme basal représente la quantité minimale d'énergie calorifique dépensée lorsque le corps humain est au repos complet.

**Remarques:**

a) Le métabolisme moyen d'une tâche s'obtient en décomposant la tâche en trois éléments de base ( position et mouvement du corps, type de travail et le métabolisme basal ), leurs valeurs seront déterminées en utilisant respectivement le tableau 6.12, 6.13 et 6.14. Par la suite, on fait la sommation de ces valeurs qui nous donnent la dépense d'énergie cherchée.

b) Dans le cas où le travail est composé de plusieurs tâches, l'estimation du métabolisme moyen se fait en calculant la moyenne pondérée des tâches impliquées. La détermination de la dépense énergétique moyenne s'obtient par l'utilisation de l'expression suivante:

$$\bar{M} = \frac{\sum M_i x t_i}{\sum t_i} \quad (6.37)$$

$M_i$  : représente la dépense d'énergie de la tâche « i » en kcal / mn ;  
 $t_i$  : durée de la tâche « i » en mn

**Application :**

I/ On se propose de déterminer la valeur de la dépense énergétique d'un ouvrier qui est entraîné de serrer des gros boulons M30 avec une clé dynamométrique.

**Résolution:**

La tâche réalisée par l'ouvrier est lourde, nécessitant :

- a) Des déplacements ( tableau 6.12 ) : 2,5 kcal / mn
- b) Valeur du travail lourd impliquant les deux bras ( tableau 6.13 ) : 3 kcal / mn
- c) Métabolisme basal ( tableau 6.14 ) : 1 kcal / mn

**La somme totale:** 6,5 kcal / mn

**Conclusion:**

La dépense d'énergie moyenne de cette tâche est de 6,5 kcal / mn pour un homme de poids moyen de 70 kg.

**III** Un cadre de 75 kg dans une entreprise mécanique, faisant une tâche qui nécessite la surveillance du bureau des méthodes, des ateliers de production mécanique et des laboratoires. Les différentes activités de sa tâche journalière et leur dépense énergétique seront illustrées et calculées comme l'indique le tableau 6.15.

Tableau 6.15

Horaire	Poste et activité	Position et type de travail	Dépense d'énergie de l'activité en kcal / mn	Durée en mn
7h30 à 8h	atelier de production mécanique	marche (80%) 0,5 affichage(5%) 1,5 basal 1	3,0	30
8h à 9h30	au bureau des méthodes	assis 0,3 écrit (60%) 0,4 basal 1	1,7	90
9h30 à 9h40	repos	assis 0,3 geste 0,3 basal 1	1,6	10
9h40 à 11h	contrôle métrologique des pièces	assis 0,3 leger (2 bras) 1,5 basal 1	2,8	80
11h à 12h	Essayage des machines montées	debout 0,6 leger(2 bras) 1,5 basal 1	3,1	60

En utilisant la relation ( 6.37 ), on obtient:

$$\bar{M} = \frac{(3,0 \cdot 30) + (1,7 \cdot 90) + (1,6 \cdot 10) + (2,8 \cdot 80) + (3,1 \cdot 60)}{30 + 90 + 10 + 80 + 60} = 2,477 \text{ kcal / mn}$$

La correction du poids de l'opérateur se fait en appliquant la relation ( 6.36 ), d'où :

$$VO_2 \text{ corrigée} = 2,477 \text{ kcal / mn} \cdot \frac{75 \text{ kg}}{70 \text{ kg}} = 2,65 \text{ kcal / mn}$$

$$VO_2 \text{ corrigée} = 2,65 \text{ kcal / mn}$$

Voir plusieurs tableaux parmi les 7-25.

### 6.3.4.3. Temps du travail et du repos

L'équilibre entre le travail et le repos est lié directement au fonctionnement du corps humain. Ce processus permet de maintenir le fonctionnement des muscles et du cœur et de l'organisme. Le temps de repos est indispensable en tant que nécessité physiologique, afin que l'efficacité et le rendement soient maintenus.

Pour un travail non pénible, dont la dépense énergétique est inférieure à 40% de  $VO_2 \text{ max}$ , il est recommandé en général une pause de 10 à 15 minutes dans la matinée et une autre équivalente dans l'après-midi.

Pour un travail pénible, dont la dépense énergétique est supérieure à 50% de  $VO_{2\max}$ , il est nécessaire de prendre des pauses réparties régulièrement pendant la durée totale du travail. Dans ce cas là, la détermination du temps de repos ou de récupération nécessaire pour le non accumulation d'acide lactique s'obtient par l'utilisation de la relation (6.6) ou de la relation suivante:

$$T_r = 8,8 \log \left( \frac{\% VO_{2\max}}{100} - 0,5 \right) + 24,6 \quad (6.38)$$

$T_r$  : temps de récupération en mn;

$\% VO_{2\max}$  : % de la capacité maximale (> 50%)

Par contre le temps de travail sera obtenu par la relation suivante:

$$T_t = \frac{4.10^3}{\% VO_{2\max}} - 39 \quad (6.39)$$

$T_t$  : temps de travail en minutes .

### Application :

Une même tâche de travail de dépense énergétique de 1,6 l / mn a été effectuée par :

Un homme de 40 ans :  $VO_{2\max} = 2,5 \text{ lO}_2 / \text{mn}$

et

une femme de 30 ans :  $VO_{2\max} = 1,8 \text{ lO}_2 / \text{mn}$

#### a) Intensité de travail :

Pour l'homme :  $\frac{1,6}{2,5} = 0,64$  qui est équivalent à 64% du  $VO_{2\max}$  ;

Pour la femme :  $\frac{1,6}{1,8} = 0,88$  qui est équivalent à 88% du  $VO_{2\max}$

#### b) Temps de récupération :

Pour l'homme :  $T_r = 8,8 \log \left( \frac{64}{100} - 0,5 \right) + 24,6 = 17 \text{ mn}$

Pour la femme :  $T_r = 8,8 \log \left( \frac{88}{100} - 0,5 \right) + 24,6 = 21 \text{ mn}$

#### c) Temps de travail :

Pour l'homme :  $T_t = \frac{4.10^3}{64} - 39 = 23,5 \text{ mn}$

Pour la femme :  $T_t = \frac{4.10^3}{88} - 39 = 6,45 \text{ mn}$

Le résultat obtenu pour l'alternance travail - repos est:

Pour l'homme : 23,5 mn de travail et 17 mn de repos

Pour la femme : 6,45 mn de travail et 21 mn de repos

Dans le tableau 6. 16, est donné à titre indicatif, l'intensité de travail en fonction de la dépense énergétique.

Tableau 6.16

Catégorie du travail	Dépense énergétique en kcal / mn	Activités
Travail léger	Jusqu'à 3,3	Commande de machine en position assise ou debout, travail léger impliquant la main ou le bras, etc.....
Travail moyen	de 3,3 à 5,8	Déplacement accompagné d'efforts modérés de levée et de poussée, etc...
Travail pénible	de 5,8 à 8,3	Travail au pic et à la pelle, etc....

#### 6.3.4.4. Critères physiologiques de conception

Dans le cas des activités répétitifs dont la charge est présumée être dans les limites des capacités physiques de l'employer, le critère de la conception ciblé est celui permettant d'éviter la fatigue.

Les critères physiologiques de conception qui prennent en considération les capacités d'endurance du corps humain sont utilisées comme un instrument de mesure pour la fatigue physiologique de l'individu.

On signale de plus que pour une charge de travail physique, les limites de la dépense énergétique ont été développées d'une façon que ( hommes ou femmes ) en bonne santé puissent mener un travail durant 8 heures sans que leur capacité physique soit dégradée.

Même dans le cas où les limites proposées varient entre 33% et 50% du  $VO_2_{max}$ , cela sera accepté pour des jeunes en bonne santé, une limite physiologique pour 8 heures de travail est inférieure à 5 kcal / mn ( 1,0 l d' $O_2$  / mn étant le  $VO_2_{max}$ , moyen de 75 % des femmes) ou 33% de la puissance aérobie maximale mesurée sur un ergocycle.

Les critères de conception recommandés d'après NIOSH sont donnés suivant la courbe de la fig ( 6.21 ).

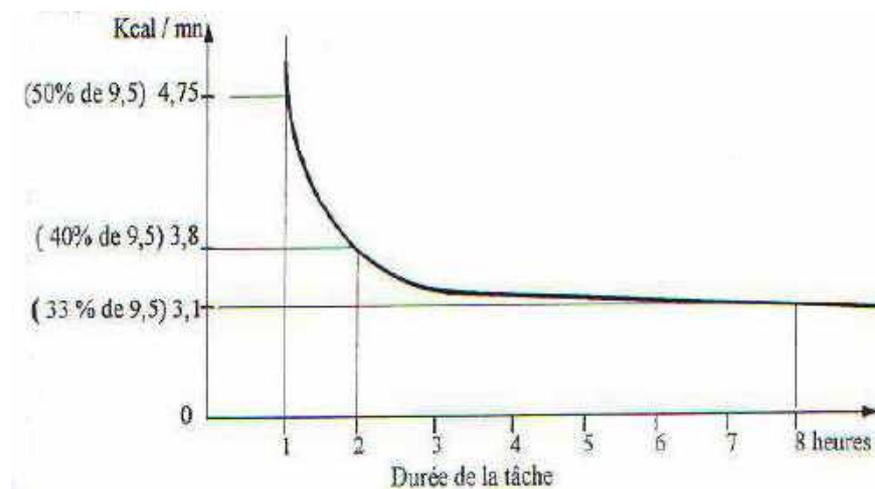


Fig 6.21

La valeur de 9,5 kcal / mn ( 1,9 l d'O<sub>2</sub> /mn ) représente le VO<sub>2max</sub> d'une femme de 40 ans. Il est de l'avis de NIOSH que le choix d'un VO<sub>2max</sub> de 9,5 kcal /mn comme critère de conception peut être trop élevé, particulièrement pour les travailleurs plus âgés, puisqu'il ne peut pas toujours prévenir une fatigue physiologique même chez les travailleurs en bonne santé.

Certaines études révèlent même que le VO<sub>2max</sub> de jeunes individus peut être inférieur à 9,5 Kcal / mn. D'une façon générale, la relation entre la fatigue et le risque de maux de dos n'est pas clairement établie pour déterminer avec précision le niveau de risque des tâches dont la dépense d'énergie dépasse les critères physiologiques de conception. De plus, les critères physiologiques de conception peuvent ne pas prévenir contre les dommages que pourraient subir certains tissus du dos lors de tâches répétitives et ce, même si une fatigue physiologique est évitée.

#### 6.4. Charge cardiaque

La fréquence cardiaque c'est le nombre de pulsations par minute recueillies instantanément à l'aide d'un cardio-fréquencemètre ou d'un cardio-tachymètre, puis enregistrées sous forme de graphique qui en restitue l'évolution. A chaque contraction cardiaque correspond, avec un retard de quelques centièmes de seconde seulement, le passage d'une onde contractile qui propulse le sang vers tous les organes, fig (6.22 ).

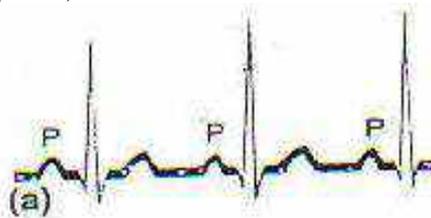


Fig 6.22. Electrocardiogramme normale

La fonction cardiaque diffère d'un individu à l'autre. Suivant les sujets on peut ainsi se trouver face à un arythmie respiratoire importante, lorsque le cœur accélère ou ralentit en fonction de l'inspiration ou l'expiration, une bradycardie « rythme cardiaque lent, avec un pouls moyen au repos inférieur à 50 » ou encore une tachycardie « rythme cardiaque accéléré où le pouls est supérieur à 100 ». La température a une influence importante sur la dépense physiologique du travail. Lorsque la température extérieure est au - dessus de 20° C (l'augmentation de la fréquence cardiaque peut atteindre 15 à 20 pulsations par minute). La fréquence cardiaque augmente à partir de l'âge de 40 ans environ. Par ailleurs, hommes et femmes ont une fréquence cardiaque différente, fig ( 6.23 ). Elle est supérieure de 7 à 8 pulsations par minute chez la femme. Enfin, elle augmente pendant les trois heures qui suivent les repas. Cette élévation est due à une augmentation du débit sanguin et à la richesse des repas en protéines.

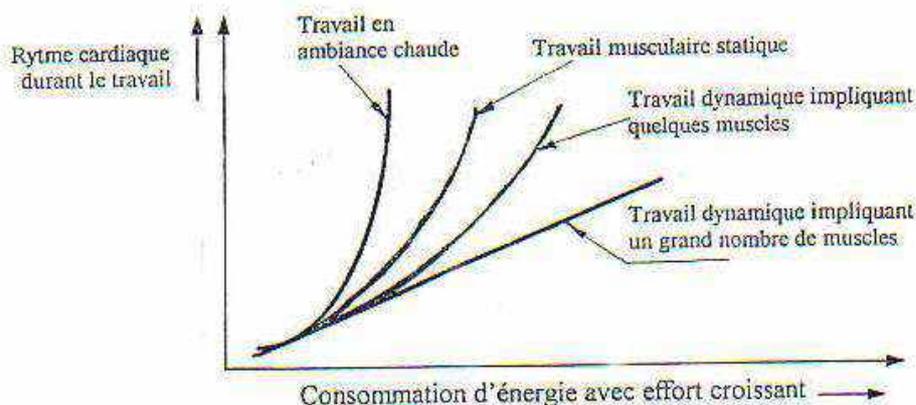


Fig 6.23.

### 6.4.1. Rythme cardiaque et activité physique

Dans certaines limites, une relation linéaire entre la fréquence cardiaque et le travail accompli, fig (6.24 ), si celui-ci est dynamique et produit un rythme régulier, la force exercée étant la seule variable.

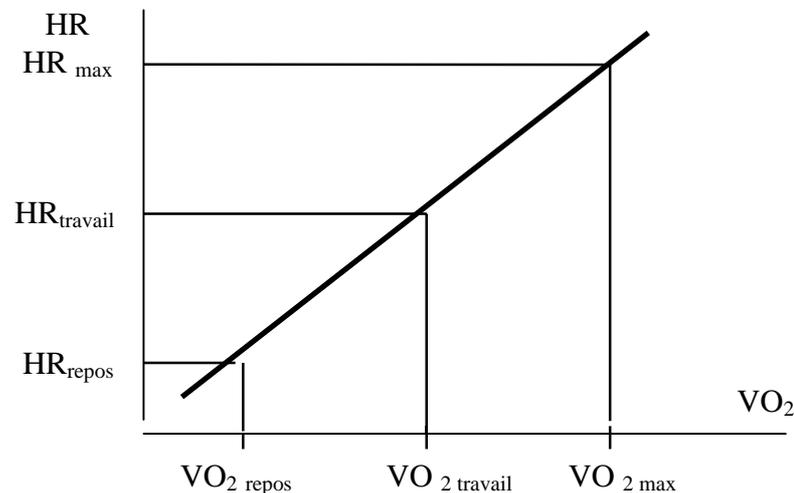


Fig 6.24 . ( HR : rythme cardiaque )

Quand le travail est relativement léger, le rythme cardiaque s'élève rapidement jusqu'à un niveau approprié à l'effort fourni, puis reste constant pendant toute la durée du travail. Dès que le travail cesse le pouls redevient normal. Quand il s'agit d'un travail plus pénible, le rythme cardiaque continue à s'élever jusqu'à la fin du travail, ou jusqu'à ce que l'opérateur, épuisé, soit obligé de s'arrêter. La courbe de la fig (6.23 ), montre l'évolution de la fréquence cardiaque pendant certaines tâches et à partir de laquelle Müller a proposé les définitions suivantes:

- a) pouls de repos : fréquence cardiaque moyenne avant le début le travail;
- b) pouls pendant le travail: fréquence cardiaque moyenne pendant le travail;
- c) pulsations totales de récupération ( coût de récupération ); nombre de battements de cœur entre le moment où le travail cesse et le moment où le pouls redevient normal ( pouls de repos );
- d) pulsations totales de travail ( coût cardiaque ): nombre de battements de cœur à partir du début du travail jusqu'au retour à la normale.

### Remarque :

Les pulsations totales de récupération permettent d'évaluer le degré de fatigue et le temps de récupération nécessaire. La notion de fatigue étant très subjective, il semble plus juste de tenir compte du rythme cardiaque et plus particulièrement des pulsations de récupération totales, dans l'estimation de la charge de travail physique.

#### 6.4.2. Rythme cardiaque maximal ( $HR_{max}$ )

Une fois la personne a atteint 100% de sa puissance aérobie maximale durant une tâche bien déterminée, son rythme cardiaque atteint aussi sa limite maximale. Cette limite maximale est d'environ de 220 battements cardiaques par minute. Tout comme pour la puissance aérobie maximale, le rythme cardiaque maximal varie d'une personne à l'autre; l'âge étant l'un des principaux facteurs. L'expression du rythme cardiaque est :

$$HR_{max} = 220 - \text{âge} \quad (6.40)$$

La précision est estimée à  $\pm 15\%$

**Exemple:** le rythme cardiaque maximal d'une personne âgée de 40 ans est:

$$HR_{max} = 220 - 40 = 180 \text{ batt / mn}$$

Ce paramètre sera utilisé ultérieurement pour l'évaluation de la charge physique d'un poste de travail.

#### 6.4.3. Critères de conception pour la charge cardiaque

D'après la littérature de spécialité, il est possible de définir une charge limite supérieure de travail acceptable pour l'exécution de laquelle, le poids de travail restera constant et pour laquelle, une fois le travail est achevé, le pouls revient à la normale au bout de 15 minutes.

Le respect de cette limite, conduisant à la restauration de l'énergie au même rythme qu'elle est utilisée et assurant un maintien à un état d'équilibre. Le rendement maximum obtenu dans ces conditions constitue la limite de performance continue, que l'on peut obtenir au long d'une journée de travail de 8 heures. La limite supérieure du pouls de travail, pour un homme a été fixée à 35 batt / min (extra pulsations cardiaques ) au dessus du pouls au repos pour une performance continue. Pour une femme, cette limite est fixée à 30 batt / mn.

#### 6.4.4. Limites acceptables de la charge cardiaque

Une charge limite supérieure de travail acceptable pour l'exécution de laquelle le pouls de travail ne continue pas à s'élever indéfiniment, et pour laquelle, une fois le travail terminé, le pouls revient à la normale au bout d'environ 15 minute.

Si on respecte cette limite, l'énergie est restaurée au même rythme qu'elle est utilisée, ceci permettent de maintenir un état d'équilibre. Le rendement maximum obtenu dans ces conditions constitue la limite de performance continue, que l'on peut obtenir tout au long d'une journée de travail de huit heures.

Une limite supérieure de performance continue pour les hommes est atteinte quand le pouls moyen pendant le travail dépasse de 30 pulsations par minute le pouls de repos ( le pouls de travail est alors égal à 30 pulsations par minute ). Les pulsations ont été mesurées à chaque fois sur un sujet se tenant dans la même position ( par ex. debout ) afin que les charges statiques soient les mêmes.

### Coût cardiaque relatif

D'après la fig ( 6.24 ), on observe que le rythme cardiaque est directement proportionnel à la dépense énergétique pour une tâche dynamique, impliquant un grand nombre de muscles ( ex: une tâche de manutention manuelle ), le coût cardiaque est déterminé par l'utilisation de la relation suivante:

$$\text{Coût cardiaque relatif ( en \% )} = \left( \frac{HR_{\text{travail}} - HR_{\text{repos}}}{HR_{\text{max}} - HR_{\text{repos}}} \right) \times 100 \quad (6.41)$$

où  $HR_{\text{max}} = 220 - \text{âge}$

**NB : On admettra que le coût cardiaque relatif pour un travail effectué en continu sur 8 heures ne devrait pas dépasser 33 %.**

La fig ( 6.25 ), montre que le coût cardiaque relatif, permettant l'estimation du temps de travail ( pour une tâche dynamique impliquant un grand nombre de muscles )

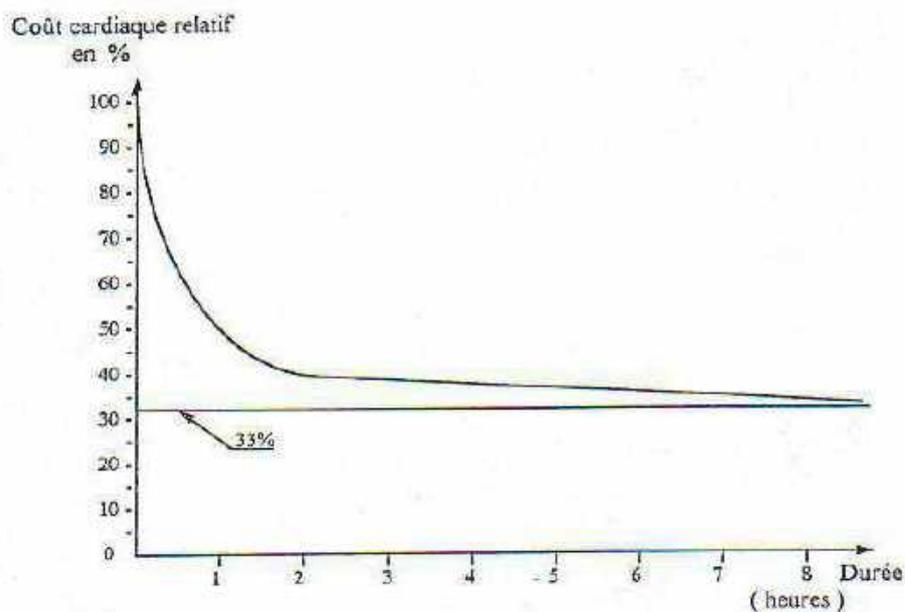


Fig 6.25

**Exemple:**

Un ouvrier de 45 ans , son métier est de charger les camions avec des charges de différents poids variant entre 15 et 25 kg. Sa fréquence cardiaque a été mesurée durant les 8 heures d'une journée de travail, comme suit:

HR repos = 65 batt / mn

HR moyen durant le chargement = 140 batt/ mn

HR moyen durant les 8 heures = 105 batt / mn

HR le plus élevé = 165 batt / mn

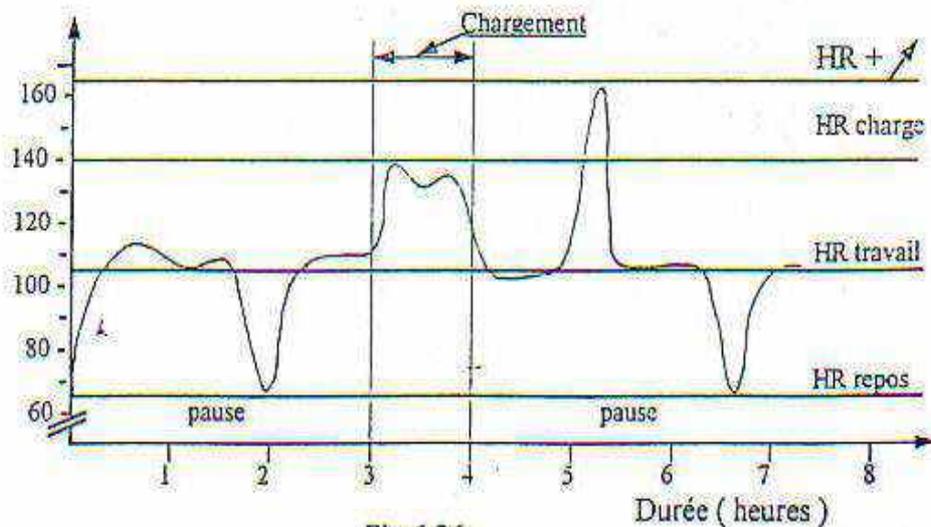


Fig 6.26

$$\text{pendant: 8 h} \quad \Rightarrow \quad \frac{105 - 65}{170 - 65} = 0,38 = 38 \% > 33 \%$$

$$\text{pendant: 1 h} \quad \Rightarrow \quad \frac{140 - 65}{170 - 65} = 0,71 = 71 \% > 50 \%$$

$$\text{pendant: 10 mn} \quad \Rightarrow \quad \frac{165 - 65}{170 - 65} = 0,95 \approx 95 \%$$

### Conclusion:

L'ouvrier rencontre des difficultés durant la période de chargement du camion étant que le coût cardiaque relatif dépasse trop la limite autorisée pour la durée d'une heure (71% > 50%) par contre pour le coût cardiaque relatif semble acceptable même s'il a dépassé légèrement la limite autorisée (périodes de 8 h et de 10 mn), mais la charge de travail pour le reste de la journée semble acceptable.

#### 6.4.5. Indice de Brouha:

Brouha, propose que le pouls de récupération (coût de récupération) est un bon critère pour l'appréciation de la charge de travail que le pouls de travail (coût cardiaque), fig (6.23).

Pour la détermination des limites acceptables de la charge de travail, Brouha propose les critères suivants:

La première lecture (  $P_1$  ) ne devrait pas excéder les 110 batt/ mn avec une chute d'au moins de 10 battements entre la première (  $P_1$  ) et la troisième (  $P_3$  ) minute suivant l'arrêt du travail ( récupération ).

**Si, ces conditions sont remplies, la charge de travail pourrait être soutenue tout le long d'une journée de huit heures.**

Dans ce cas, on admettra que l'indice de Brouha sera:

---

$$\begin{aligned} P_1 &< 110 \text{ batt / mn} \\ ( P_1 - P_3 ) &> 10 \text{ batt / mn} \end{aligned}$$

$P_1$  : les pouls mesurés après la première minute;

$P_2$  : les pouls mesurés après la troisième minute suivant l'arrêt du travail;

Le travail étant en position assise.

---

**Exemple:**

A la suite d'un travail fourni par un ouvrier durant 8 heures, son pouls de récupération mesuré est de 100 batt / mn après la première minute et de 80 batt/ mn après la troisième minute de récupération.

$P_1 = 100 < 110$  batt / mn ( le premier critère est satisfait )

$( P_1 - P_3 ) = ( 110 - 80 ) = 20 > 10$  batt / mn ( le deuxième critère est aussi satisfait )

**Conclusion:**

**Les deux critères sont satisfaits, ce qui justifie d'une part que le travail est acceptable pour une période de huit heures mais d'autre part que le processus aérobie a fourni la grande partie de l'énergie requise pendant cette activité.**

**Remarque:**

**L'évaluation de la charge cardiaque est basée sur les trois précédents critères, le travail est accepté avec une haute confiance si ceux-ci sont satisfaits. Dans le cas où l'un parmi ces critères n'est pas satisfait, en ce moment là, il est recommandé de modifier le poste de travail ou réorganiser le travail.**

## 6.5. Psychophysique

La psychophysique est une science, est une partie de la physiologie qui s'occupe de la liaison existante entre les sensations et leurs stimuli- physique. Cette approche est souvent utilisée pour l'évaluation de la dépense énergétique. Cette méthode permet de mesurer le stress ou la fatigue perçue au cours de l'exécution d'une tâche. Elle est basée surtout sur l'hypothèse que les genres de stress biomécaniques et physiologiques accompagnent toute activité de travail sous une forme intégrée ou combinée en mettant en évidence l'impression perçue de la difficulté de la tâche.

Cette hypothèse a été validée à travers plusieurs études menées par des ergonomes, d'une façon que dans le cas d'une tâche de manutention, la technique utilisée consiste à demander au sujet d'ajuster le poids de la charge manutentionnée selon sa perception de l'effort, sachant que le reste des variables sont bien contrôlées telles que les dimensions de la charge, la hauteur du lever et la fréquence . A la suite des ajustements introduits, le sujet déterminera la charge maximale qui peut être manutentionnée ou la force maximale qu'il peut appliquer sans pour autant ressentir une douleur et/ ou inconfort et sans devenir in habituellement fatigué, affaibli ou essoufflé.

Donc, le sujet détermine, dans des conditions spécifiques, le poids maximal de la charge qu'il pourrait manutentionner ou la force maximale qu'il pourrait appliquer au cours d'une journée de travail de 8 heures. Ce poids ou cette force acceptable pour le travailleur, une fois déterminé, est appelé le poids maximal acceptable à lever ( Maximum Acceptable Weight of lift « MAWL »).

Dans la littérature de spécialité, l'utilisation de l'approche psychophysiques a été décrite par plusieurs chercheurs dont les uns ont rapporté leurs résultats sous forme de tableaux alors que les autres sous forme de modèles d'équations de régression.

Pour les tableaux, on note les recherches de Snook et Irvine ( 1967 ), Snook (1971 ), Snook et Ciriello (1991 ) etc.....

Pour les modèles sous forme d'équations de régression, on note Mital ( 1983 ), Jiang et Ayoub (1987 ), Genaidy (1991 ) etc....

Dans la partie qui suit, on présentera les tableaux de prédiction élaborés par Snook et Ciriello en1991. Ces tableaux sont estimés les plus complets et ils tiennent compte des principales activités suivantes:

**( lever - baisser - pousser - tirer et / ou transporter ).**

### 6.5.1. Description des tables de Snook et Ciriello

Les principaux paramètres variables rencontrés dans l'ensemble de ces tables ont les significations suivantes:

**L : largeur de la charge ( dimension dans le plan sagittal en cm )**

\* Cette variable est utilisée dans les tables de **lever** et de **baisser** seulement;

\* Cette variable représente la dimension de la charge (ex: boîte) dans le plan sagittal. La largeur de la charge dans le plan frontal (dans des limites acceptables) n'a pas ou peu d'importance sur le moment résultant au niveau du dos.

\* L'absence de poignée sur la charge réduit le MAWL d'environ **15%** (certains auteurs mentionnent environ **7,2 %**).

\* La **largeur** de la charge dans le **plan sagittal** varie de **34 à 35 cm** .

#### **d : Distance verticale de déplacement de la charge ( lever ou baisser ) en cm**

\* Cette variable est utilisée dans les tables de lever et de baisser seulement

\* Elle varie de **25 à 75 cm** ( soit la distance moyenne approximative couvrant chacune des zones de **déplacement vertical ( H )**).

#### **% : centile de la population ( homme )**

\* Cette variable est utilisée dans toutes les tables

\* Cette variable permet de déterminer le poids maximal acceptable pour différentes portions de la population ( homme ou femme ).

\* Elle varie de 10 à 90 %.

#### **t : temps entre chaque effort ( lever, baisser, pousser, tirer, transporter en ( sec, mn, h )**

\* Cette variables est utilisée dans toutes les tables

- Elle représente la durée de l'intervalle entre deux efforts ( lever, baisser, tirer, transporter).

\* Elle varie de quelques secondes à 8 heures;

\* Certaines valeurs présentées dans les tables dépassent les critères physiologiques recommandés lorsque la tâche est effectuée en continue sur 8 heures; ces valeurs sont données en italique.

\* Les poids maximaux spécifiés dans les tables ont été validés pour un travail en continu de 4 heures. Tout porte à croire que ces valeurs sont acceptables pour un travail en continu de 8 heures.

#### **H: Zones de déplacement vertical ( Floor- Knuckle, Knuckle- Shoulder, Shoulder-Reach )**

\* Cette variable est utilisée dans les tables de lever et de baisser seulement

\* Elle décompose la taille des individus en trois zones distinctes: ( Floor- Knuckle, Knuckle- Shoulder, Shoulder-Reach ) . Par exemple, si au cours d'un lever, la charge traverse plus d'une zone, le poids maximal recommandé est alors le plus petit des MAWL recommandés dans chacune des zones.

#### **D : Déplacement horizontal ( pousser, tirer, transporter ) en m**

\* Cette variable est utilisée dans les tables de pousser, tirer et transporter seulement;

\* Elle varie de 2,1 à 6,1 mètres pour les pousser / tirer , il y a deux types de forces maximales acceptables : la force initiale et la force de maintien. La force initiale est celle requise pour mettre l'objet en mouvement, tandis que la force maintenue est celle

qui est requise pour maintenir l'objet en mouvement. La force de maintien est toujours inférieure à celle requise pour vaincre l'inertie (force initiale)

**h : Hauteur de maintien de la charge ou d'application de la force (tirer, pousser, transporter)**

- \* Cette variable est utilisée dans les tables de pousser, tirer et transporter seulement;
- \* Elle varie de 64 à 144 cm et de 57 à 135 cm pour les pousser / tirer homme et femme respectivement. Pour la table du « transporter », elle varie de 79 à 111 cm et de 72 à 105 cm pour les hommes et les femmes respectivement.

Les zones de déplacement vertical rencontrées dans les tables de Snook et Ciriello sont illustrées à la fig ( 6.27 ).

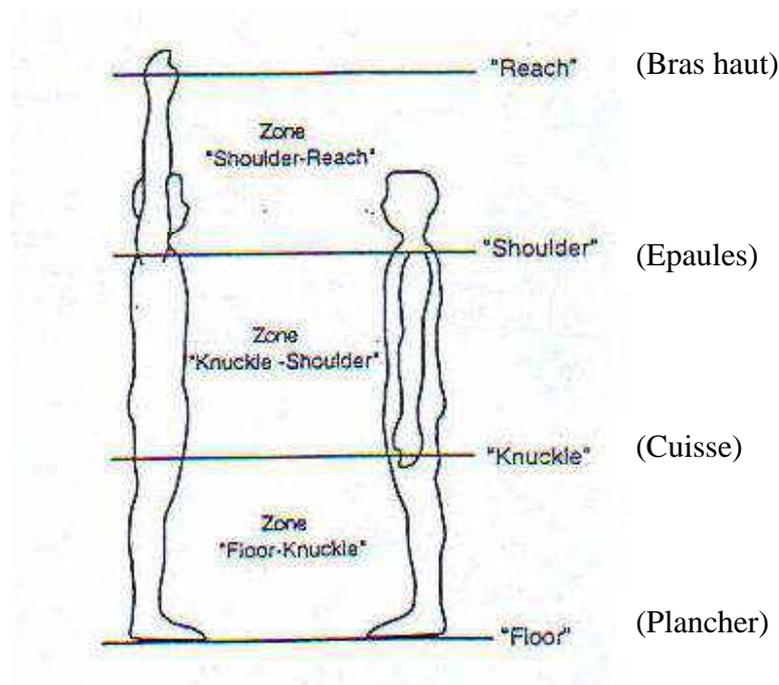


Fig 6.27

Dans le tableau récapitulatif ( 6.17 ), sont illustrées les neufs tables élaborées par Snook et Ciriello avec les principaux paramètres à déterminer.

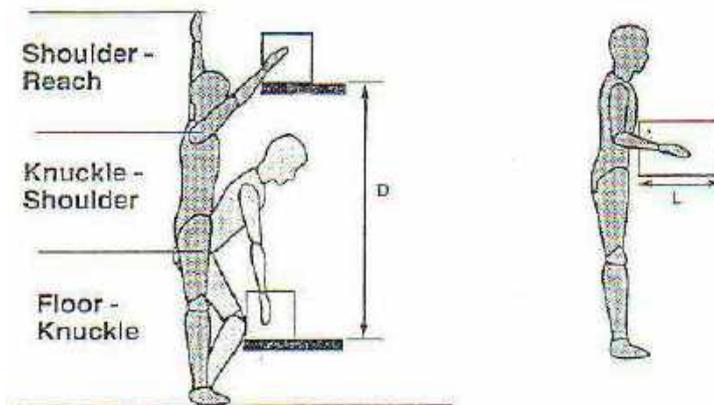
Tableau 6.17

Table	Poids	Force	Charge	activité	homme	femme
-------	-------	-------	--------	----------	-------	-------

( tableau )	maxi male accep Table					
6.18	X			lever	X	
6.19	X			lever		X
6.20	X			déposer	X	
6.21	X			déposer		X
6.22		X		pousser	X	
6.23		X		pousser		X
6.24		X		tirer	X	
6.25		X		tirer		X
6.26			X	transporter	X	X

Les valeurs présentées dans les tableaux ( 6.18 à 6.22 ) et dans la fig (6.28 ) sont en fonction des paramètres suivants:

- L : Largeur de la charge ( dimension en s'éloignant du corps );
- D : Distance verticale du lever ou baisser;
- % : Centile de la population;
- Zone de déplacement vertical (Floor - Knuckle; Knuckle - Shoulder; Shoulder - Reach);
- Fréquence des mouvements ( lever ou baisser ).



**Fig 6.28. a)**

Les valeurs présentées dans les tableaux ( 6.19 à 6.26 ) et dans la fig (6.29. b . c ) sont en fonction des paramètres suivants:

- H : Hauteur verticale des mains ( pousser, tirer ou transporter);
- % : Centile de la population;
- Distance horizontale parcourue pour pousser , tirer ou transporter;
- Fréquence des efforts ( pousser, tirer ou transporter ).

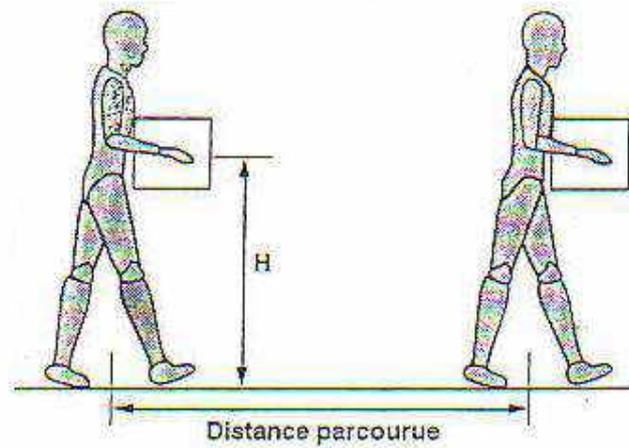


Fig 6.28. b)

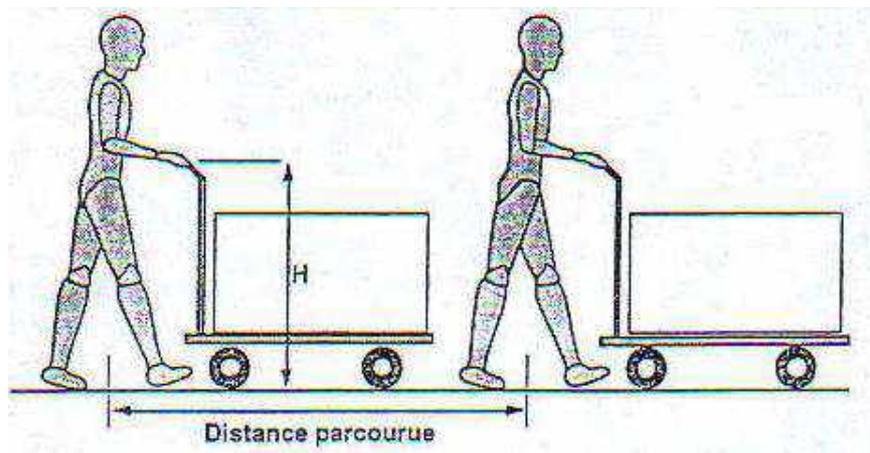


Fig 6.28. c)

**NB:** Certaines valeurs présentées dans ces tableaux sont précédées d'un astérisque (\*). Cela indique que la condition identifiée dépasse le critère physiologique pour 8 heures de travail ( $> 33\% \text{ VO}_{2\text{max}}$ ), auquel, il faudra essayer à introduire des modifications du poste de travail.

#### Exemple d'application:

Un travailleur ( homme ), prend des boîtes de largeur  $L = 75 \text{ cm}$  au niveau du sol (plancher) et la soulève jusqu'à une hauteur de  $1,8 \text{ m}$ . Il faisait ce mouvement en moyenne une fois les deux minutes pendant 8 heures, fig ( 6.29 ).

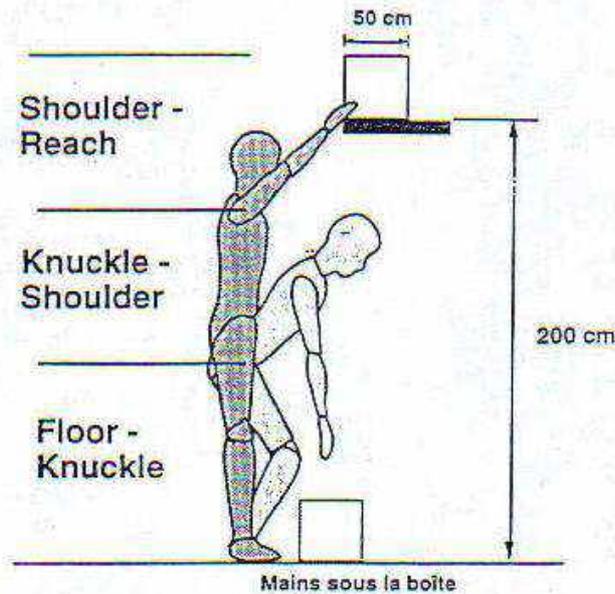


Fig 6.29

Au cours de la levée, la charge parcourt toute la distance verticale ( zone Floor - Knuckle ( 1 ) ; la zone Knuckle Shoulder ( 2 ) et la zone Shoulder- Reach ( 3 )  $\approx 50$  cm ; la zone ( 1 )  $\approx$  la zone ( 2 ) ), donc la distance verticale est:  $76 \times 2 + 50 \approx 200$  cm.

- a) Évaluer la charge maximale acceptable dans chacune des trois zones;
- b) Déterminer le poids minimum, lequel correspond à la charge acceptable pour cette tâche.

**Solution:** (utilisation du tableau 6.18 )

\* **Zone ( 1 ), Floor - Knuckle** ( L = 75 cm, D = 76 cm, fréquence = 1 lever / 2 mn )

90%	⇒	13 kg
75%	⇒	19 kg
50%	⇒	25 kg
25%	⇒	31 kg
10%	⇒	37 kg

\* **Zone ( 2 ), Knuckle Shoulder** ( L = 75 cm, D = 76cm, fréquence = 1 lever / 2 mn )

90%	⇒	14 kg
75%	⇒	18 kg
50%	⇒	23 kg
25%	⇒	27 kg
10%	⇒	32 kg

\* **Zone ( 3 ), Shoulder- Reach** ( L = 75 cm, D = 51cm, fréquence = 1 lever / 2 mn )

90%	⇒	12 kg
75%	⇒	15 kg
50%	⇒	20 kg
25%	⇒	24 kg
10%	⇒	*27 kg

Notre but c'est de déterminer la charge acceptable pour la majorité des travailleurs (homme), nous choisirons alors la valeur correspondante à 90 % de la population.

La charge acceptable maximale pour 8 heures est:

$$\text{Min} ( 13 , 14 , 12 ) = 12 \text{ kg}$$

La charge de 12 kg ne dépasse pas le critère physiologique de la conception.

Au cours du déroulement des calculs, si les paramètres ( L, D, fréquence, etc...) ne coïncident pas avec les valeurs inscrites dans les tableaux, dans ce cas là, il faut utiliser l'interpolation linéaire. Mais pour la prévention du travailleur, il est préférable de choisir une valeur pour le paramètre qui entraîne une charge maximale acceptable plus petite (ex: si D = 30 cm, on choisira D = 51 cm dans le tableau 6.18) ou encore, on changera la fréquence de 1 lever à chaque 5 minutes par une autre de 1 lever à chaque 2 minutes, cela est valable aussi pour les autres paramètres illustrés dans les 9 tableaux.

Si la valeur de la charge maximale acceptable dépasse le critère physiologique pour 8 heures, il faut toujours penser à modifier le poste de travail d'une façon que le travailleur moyen sera protégé d'un éventuel risque qui pourra naître à la fin de sa journée de travail.

### 6.5.2. Critères psychophysiques de conception

En général, les critères de conception sont déterminés à partir des résultats expérimentaux reflétant les capacités physiques des travailleurs dans le but de performer un tâche en variant fréquence et la durée.

Les critères obtenus par l'utilisation de cette approche sont:

- \* La charge manutentionnée ou la force appliquée ne devrait jamais dépasser la limite maximale acceptable par la majorité de la population ( 90% homme et 75% femme ).
- \* L'utilisation de l'approche psychophysique est un moyen d'évaluation de l'effort combiné de stress biomécaniques et physiologiques.

On note bien que cette approche est basée essentiellement sur la perception subjective de l'effort. La limite perçue comme acceptable peut être différente de la limite dite (sécuritaire).

Même dans le cas s'il existe une relation entre une limite acceptable et une autre sécuritaire, l'approche psychophysique ne peut pas être validée de la même façon pour toutes les combinaisons de la tâche.

D'après Snook et Ciriello, l'approche psychophysique ne surestime pas la capacité des travailleurs pour des tâches en fonction d'une durée de 4 heures tant qu'elle s'applique d'une manière judicieuse.

Tableau 6.18

Poids maximum pour les charges levées en kg pour homme

L	D (I)	%	Plancher jusqu'au jointure ( une levée à toute les )					Jointure jusqu'à l'épaule ( une levée à toute les )					L'épaule jusqu'au bout des doigts ( une levée à toute les )														
			s	9	14	1	2	5	30	h	s	9	14	1	2	5	30	h	s	9	14	1	2	5	30	h	
		90	*06	7	9	11	13	14	14	17	8	10	12	13	14	14	16	17	6	8	9	10	10	10	11	12	13
		75	*09	11	13	16	19	20	21	24	10	14	16	18	18	19	21	23	8	10	12	14	14	14	14	16	17
	76	50	*12	*15	17	22	25	27	28	32	13	17	20	22	23	24	26	29	10	13	15	17	17	17	18	20	22
		25	*15	*18	*21	28	31	34	35	41	16	*21	24	27	27	28	32	35	11	16	18	21	21	21	22	24	27
		10	*18	*22	*25	33	37	40	41	48	*19	*24	*28	31	32	33	37	40	*14	18	21	24	24	24	25	28	31
		90	*06	8	9	12	13	15	15	17	8	11	13	15	15	16	18	19	6	8	9	12	12	12	12	14	15
		75	*09	11	13	17	19	21	22	25	11	15	17	20	20	21	23	25	8	11	12	15	15	15	16	18	20
	51	50	*13	*15	18	23	26	28	29	34	14	19	21	25	25	26	29	32	10	14	16	19	20	20	20	23	25
		25	*16	*19	22	29	33	35	36	42	17	*23	26	30	31	32	36	39	13	17	19	23	24	25	27	30	
		10	*19	*22	*26	34	38	42	43	50	*20	*26	*30	35	36	37	41	45	*15	19	22	27	*27	29	32	35	
		90	*08	9	11	13	15	16	17	20	10	13	15	18	18	19	21	23	7	10	11	14	14	14	14	16	18
		75	*11	13	15	19	22	24	24	28	13	17	20	23	24	25	27	30	10	13	15	18	18	19	21	23	
	25	50	*15	18	21	26	29	32	33	38	17	22	25	30	30	31	35	38	12	16	19	23	23	24	27	29	
		25	*18	*22	26	33	37	40	41	48	*2	*27	*3	36	36	38	42	46	15	*20	22	28	28	29	32	35	
		10	*22	*26	*31	34	44	47	49	57	*23	*31	*35	42	42	44	49	53	*17	*23	26	32	32	34	38	41	
		90	*07	8	10	13	15	16	17	20	8	10	12	13	14	14	16	17	7	9	10	12	12	12	12	14	16
		75	*10	12	14	19	22	24	24	28	10	14	16	18	18	19	21	23	9	11	13	16	15	16	19	21	
	76	50	*14	*16	19	26	29	32	33	38	13	17	20	22	23	24	26	29	11	15	17	20	20	20	21	24	26
		25	*17	*20	*24	33	37	40	41	48	16	*21	24	27	27	28	32	35	13	18	20	25	24	25	29	31	
		10	*20	*24	*28	38	43	47	48	57	*19	*24	*28	31	32	33	37	40	*15	*21	23	28	*27	29	33	36	

Suite du Tableau 6.18

(I)	(II)					(III)					(IV)														
49	90	7	9	10	14	16	17	18	20	8	11	13	15	15	16	18	19	7	9	11	14	14	14	16	18
	75	10	13	15	20	23	25	25	30	11	15	17	20	20	21	23	25	9	12	14	18	18	19	21	23
	50	*14	*17	20	27	30	33	43	40	14	19	21	25	25	26	29	32	12	15	18	23	23	24	27	29
	25	*18	*21	25	34	38	42	50	50	17	23	26	30	31	32	36	39	14	19	21	28	28	29	32	35
	10	*21	*25	*29	40	45	49	50	59	*20	*26	*30	35	36	37	41	45	*16	*22	25	32	32	34	37	41
	90	7	10	12	16	18	19	20	23	10	13	15	18	18	19	21	23	9	11	12	16	16	17	19	21
	75	10	15	17	23	26	28	29	33	13	17	20	23	24	25	27	30	11	14	16	21	21	22	25	27
	50	*16	20	23	30	34	37	38	45	17	22	25	30	30	31	35	38	14	18	21	27	27	28	32	35
	25	*21	*25	29	38	43	47	48	56	*2	*27	30	36	36	38	42	46	16	22	25	33	33	34	38	42
	10	*24	*29	*34	45	51	56	57	67	*23	*31	*35	42	42	44	49	53	*19	*25	*29	38	38	40	44	48
	90	8	10	11	15	17	19	19	23	8	11	13	15	15	16	18	19	8	10	12	14	14	15	16	18
	75	*12	14	17	22	25	28	28	33	11	15	17	20	20	21	23	25	10	14	16	18	19	19	22	24
	50	*16	*19	22	30	34	37	38	44	14	19	21	25	25	26	29	32	13	17	20	23	24	25	27	30
	25	*2	*24	*28	37	42	47	47	55	17	*23	26	30	31	32	36	39	16	*21	24	28	29	30	33	36
	10	*24	*29	*33	44	50	54	56	65	*20	*26	*30	35	36	37	41	45	*18	*24	*28	33	33	34	38	42
	90	9	10	12	16	18	20	20	24	9	12	14	17	17	18	20	22	8	11	13	16	16	17	18	20
	75	*12	15	18	23	26	28	29	34	12	16	18	22	23	23	26	29	11	14	17	21	21	22	24	26
	50	*17	*20	24	31	35	38	39	46	15	20	23	28	29	30	33	36	14	18	21	26	27	28	31	34
	25	*21	*25	*30	39	44	48	49	57	18	*24	27	34	35	36	40	44	17	22	25	32	32	33	37	41
	10	*25	*30	*35	46	52	57	58	68	*21	*28	*32	40	40	42	46	51	*19	*26	*29	37	37	39	43	47
	90	10	12	14	18	20	22	23	27	11	14	16	20	20	21	23	26	10	13	15	19	19	19	22	24
	75	*15	18	21	26	30	32	33	38	14	18	21	26	27	28	31	34	13	17	20	24	25	26	29	31
	50	*20	24	28	35	40	43	44	52	18	23	27	33	34	35	39	43	16	22	25	31	31	33	36	40
	25	*26	*30	*35	44	50	54	55	65	*21	*28	32	40	41	42	47	52	*20	*26	*30	37	38	39	44	46
	10	*29	*35	*41	52	59	64	66	76	*25	*33	*37	47	47	49	55	60	*23	*30	*35	43	44	45	51	55

Tableau 6.19

Poids maximum pour les charges levées en kg pour femme

L	D (I)	%	Plancher jusqu'au jointure ( une levée à toute les )			Jointure jusqu'a l'épaule ( une levée à toute les )			L'épaule jusqu' au bout des doigts ( une levée à toute les )					
			s	mn	h	s	mn	h	s	mn	h			
		90	5 9	14 1	2 5	30 8	5 9	14 1	2 5	30 8	5 9	14 1	2 5	30 8
		75	*05	6	7	8	9	12	*05	6	7	8	9	12
		50	*07	8	9	10	11	14	*06	7	8	10	11	14
	76	25	*08	10	11	12	13	17	*07	8	9	11	12	13
		10	*09	*11	*12	13	14	15	*08	9	10	13	14	15
			*11	*13	*14	14	15	17	*09	10	11	14	15	17
		90	*06	7	8	9	10	14	*06	7	8	9	10	11
		75	*07	*09	9	10	11	13	*07	8	9	11	12	13
	51	50	*09	*10	11	12	13	15	*09	9	11	13	14	15
		25	*10	*12	*13	15	16	18	*10	11	12	14	16	17
		10	*11	*14	*15	17	18	20	*11	12	14	16	17	19
		90	*06	8	8	9	9	11	*06	7	8	10	11	12
		75	*08	10	11	11	12	13	*07	8	9	11	13	14
	25	50	*10	*12	13	13	14	16	*09	10	11	14	15	16
		25	*11	*14	15	15	16	17	*10	11	12	16	17	19
		10	*13	*16	*17	17	19	21	*11	12	14	18	19	21
		90	*05	6	7	8	8	9	*05	6	7	9	9	10
		75	*07	8	9	10	10	12	*06	7	8	10	11	12
	76	50	*08	10	10	12	13	14	*07	8	9	11	12	14
		25	*09	11	12	14	15	17	*08	9	10	13	14	15
		10	*11	*13	14	15	17	19	*09	10	11	14	15	17
		90	*04	5	5	5	5	7	*04	5	5	7	7	8
		75	*05	6	6	6	6	8	*05	6	6	8	8	9
		50	*06	7	7	7	7	9	*06	7	7	9	10	11
		25	*07	7	7	7	7	10	*07	8	8	10	11	12
		10	*07	8	8	8	8	11	*07	8	8	11	12	14

Suite du Tableau 6.19

(I)	(II)	(III)	(IV)	
49	*06 7 8 9 10 10 11 15 *07 9 9 11 12 12 14 18 *09 10 11 13 15 15 16 22 *10 *12 13 16 17 17 19 26 *11 *14 15 18 19 20 22 30	*06 7 8 9 10 10 11 13 *07 8 9 11 12 12 13 15 *09 9 11 13 14 14 15 17 *10 11 12 14 16 16 17 20 *11 12 14 16 17 17 19 22	*05 6 7 8 8 8 8 9 10 *06 7 8 9 9 9 9 10 11 *07 8 9 10 11 11 11 12 14 *08 9 10 12 12 12 12 14 16 *09 10 11 13 14 14 14 17	75 50 25 10
25	*06 8 8 9 10 10 11 15 *08 10 11 12 12 13 14 19 *10 12 13 14 15 15 17 23 *11 14 15 16 18 18 20 27 *13 *16 17 19 20 21 23 31	*06 7 8 10 11 11 12 14 *07 8 9 11 13 13 14 17 *09 10 11 14 15 15 16 19 *10 11 12 16 17 17 19 22 *11 12 14 18 19 19 21 24	*05 6 7 8 9 9 9 10 11 *06 7 8 9 10 10 10 11 13 *07 8 9 11 12 12 13 15 *08 9 10 12 13 13 15 17 *09 10 11 14 15 15 16 19	90 75 50 25 10
76	*07 8 9 9 10 10 11 15 *08 10 11 12 13 13 14 19 *10 *12 13 14 15 16 17 23 *11 *14 15 17 18 18 20 27 *13 *16 18 19 20 21 23 31	*06 7 8 9 10 10 11 13 *07 8 9 11 12 12 13 15 *09 9 11 13 14 14 15 17 *10 11 12 14 16 16 17 20 *11 12 14 16 17 17 19 22	*05 6 7 8 9 9 9 10 11 *06 7 8 9 10 10 10 11 13 *07 8 9 11 12 12 13 15 *08 9 10 12 13 13 15 17 *09 10 11 14 15 15 16 19	90 75 50 25 10
34	*07 9 9 11 12 12 13 18 *09 *11 12 14 15 15 16 22 *11 *13 14 16 18 18 20 27 *13 *15 17 19 21 21 24 32 *14 *18 19 22 24 24 27 36	*06 7 8 10 11 11 12 14 *07 8 9 11 13 13 14 17 *09 10 11 14 15 15 16 19 *10 11 12 16 17 17 19 22 *11 12 14 18 19 19 21 24	*07 7 8 9 10 10 11 12 *08 8 9 11 11 10 12 14 *09 10 11 12 13 13 14 17 *10 11 12 14 15 15 16 19 *11 *12 14 15 15 16 18 21	90 75 50 25 10
25	*08 10 11 11 12 12 14 19 *10 12 13 14 15 15 17 23 *12 *15 16 17 18 19 21 28 *14 *17 19 20 22 22 24 33 *16 *20 21 23 25 25 28 38	8 8 9 12 12 14 16 16 9 10 11 13 14 14 16 18 10 11 13 16 17 17 18 21 12 13 14 18 19 19 21 24 *13 14 16 19 21 21 23 27	7 7 8 10 11 11 12 14 8 8 9 12 12 12 14 16 9 10 11 13 14 14 16 18 10 11 12 15 16 16 18 21 *11 12 14 17 18 18 20 23	90 75 50 25 10

Tableau 6.20

Poids maximum pour les charges déposées en kg pour l'homme

L	D (I)	%	Plancher jusqu'au jointure ( une levée à toute les )		Jointure jusqu'a l'épaule ( une levée à toute les )		L'épaule jusqu'au bout des doigts ( une levée à toute les )	
			s	h	s	h	s	h
			5 → 9 14 1 2 5 30	8	5 → 9 14 1 2 5 30	8	5 → 9 14 1 2 5 30	8
			(II)	mn	(III)	mn	(IV)	mn
			7 10 12 14 15 16 20	20	10 11 14 14 14 15 16 19	16 19	6 7 9 9 10 10 11 13	11 13
		75	10 13 14 18 20 22 22 29	29	13 16 18 18 21 21 21 26	26	9 10 12 12 14 14 14 18	14 18
	76	50	*14 17 19 23 27 29 30 38	38	18 20 24 24 27 27 28 34	34	11 13 15 16 18 18 19 23	19 23
		25	*17 *21 24 29 33 36 37 47	47	21 25 29 29 34 34 34 42	42	14 16 19 20 23 23 23 28	23 28
		10	*20 *25 *28 34 39 42 44 56	56	25 29 34 34 39 39 39 49	49	16 19 22 23 26 26 27 33	27 33
		90	8 10 11 13 15 16 17 21	21	11 12 14 15 17 17 18 22	22	6 7 9 9 10 10 11 13	11 13
	51	75	11 14 15 18 21 23 23 30	30	14 17 20 21 24 24 24 30	30	9 10 12 12 14 14 14 18	14 18
		50	*14 18 20 24 28 30 31 40	40	19 21 25 27 31 31 31 38	38	11 13 15 16 18 18 19 23	19 23
		25	*18 22 25 30 34 37 39 49	49	23 26 31 33 38 38 38 47	47	14 16 19 20 23 23 23 28	23 28
		10	*21 *26 *29 36 41 41 46 58	58	27 31 36 38 44 44 44 55	55	16 19 22 23 26 26 27 33	27 33
		90	9 11 12 15 17 18 19 24	24	12 14 17 18 21 21 21 26	26	8 9 11 12 14 14 14 17	14 17
		75	13 16 17 21 24 25 26 34	34	17 20 23 24 28 28 28 35	35	11 13 15 16 19 19 19 24	19 24
	25	50	*17 21 23 27 31 34 35 45	45	22 25 30 32 36 36 37 45	45	14 16 19 21 24 24 24 31	24 31
		25	*21 26 29 34 39 42 44 56	56	27 31 37 39 44 44 45 56	56	17 20 24 26 30 30 30 38	30 38
		10	*24 *31 *34 40 46 49 51 66	66	31 36 43 45 52 52 52 65	65	20 23 28 30 35 35 35 44	35 44
		90	8 10 11 15 17 18 19 24	24	10 11 14 14 14 15 16 19	19	7 8 10 11 12 12 12 15	12 15
	76	75	12 15 16 21 24 25 26 34	34	13 16 18 18 21 21 21 26	26	10 11 14 15 17 17 17 21	17 21
		50	*15 19 21 27 31 34 35 45	45	18 20 24 24 27 27 28 34	34	13 15 17 19 22 22 22 27	22 27
		25	*19 *24 26 34 39 42 44 56	56	21 25 29 29 34 34 34 42	42	16 18 21 23 27 27 27 33	27 33
		10	*25 *28 *31 40 46 49 51 65	65	25 29 34 34 39 39 39 49	49	18 21 25 27 31 31 31 39	31 39

Suite du Tableau 6.20

Suite du tableau 5.20

(I)		(II)					(III)					(IV)														
49	51	75	9	11	12	15	17	18	19	25	11	12	14	15	17	17	18	22	8	9	10	12	14	14	14	17
		50	12	15	17	22	25	26	28	35	14	17	20	21	24	24	24	30	10	12	14	16	19	19	19	24
		25	*20	*25	27	36	41	44	46	58	19	21	25	27	31	31	31	38	14	16	18	21	24	24	24	31
		10	*23	*29	32	42	48	51	54	68	23	26	31	33	38	38	38	47	17	19	23	26	30	30	30	37
25		90	10	13	14	17	20	21	22	28	12	14	17	18	21	21	21	26	9	10	12	14	16	16	16	20
		75	14	18	19	24	28	30	31	40	17	20	23	24	28	28	28	35	12	14	17	19	22	22	22	28
		50	*19	24	26	32	37	40	41	54	22	25	30	32	36	36	37	45	16	18	22	25	29	29	29	36
		25	*23	*29	32	40	46	49	51	65	27	31	37	39	44	44	45	56	20	23	27	31	35	35	36	44
76		10	*27	*34	38	47	54	58	60	77	31	36	43	45	52	52	52	65	23	26	31	36	41	41	42	52
		90	10	12	13	17	19	21	21	27	11	12	14	15	17	17	18	22	9	10	12	12	14	14	14	18
		75	14	17	19	24	27	29	30	39	14	17	20	21	24	24	24	30	12	13	16	17	19	19	19	24
		50	*18	*23	25	32	36	39	40	51	19	21	25	27	31	31	31	38	15	17	21	22	25	25	25	31
34		25	*23	*29	31	39	45	48	50	64	23	26	31	33	38	38	38	47	19	21	25	27	31	31	31	38
		10	*27	*34	37	46	53	57	59	75	27	31	36	38	44	44	44	55	22	25	30	31	36	36	36	45
		90	10	13	14	17	20	22	22	29	9	12	14	17	17	18	20	22	9	10	12	14	16	16	16	20
		75	14	18	20	25	28	30	32	40	12	16	18	22	23	23	26	29	12	14	17	19	22	22	22	27
51		50	*19	24	26	33	37	40	42	53	15	20	23	28	29	30	33	36	16	19	22	24	28	28	28	35
		25	*24	*30	33	41	47	50	52	67	18	24	27	34	35	36	40	44	20	23	27	30	34	34	34	43
		10	*28	*35	*38	48	55	59	62	78	*21	*28	*32	40	40	42	46	51	23	27	31	35	40	40	40	50
		90	12	15	16	20	23	24	25	32	11	14	16	20	20	21	23	26	11	12	15	16	19	19	19	23
25		75	17	21	23	28	32	34	36	46	14	18	21	26	27	28	31	34	15	17	20	22	26	26	26	32
		50	*23	28	31	37	42	46	47	60	18	23	27	33	34	35	39	43	19	22	26	29	33	33	33	41
		25	*28	*35	38	46	53	57	59	75	*21	*28	32	40	41	42	47	52	23	27	32	35	41	41	41	51
		10	*33	*41	*45	54	62	67	70	89	*25	*33	*37	47	47	49	55	60	27	31	37	41	47	47	47	48

Tableau 6.21

Poids maximum pour les charges déposées en kg pour femme

L	D (I)	%	Plancher jusqu'au jointure ( une levée à toute les )		Jointure jusqu'à l'épaule ( une levée à toute les )		L'épaule jusqu'au bout des doigts ( une levée à toute les )	
			s	h	s	h	s	h
76	(I)	90	5 6 7 7 8 8 9 12	5 6 7 8 9 10 10 13	5 5 5 6 7 7 7 9	5 5 5 6 7 7 7 9		
		75	6 8 8 9 10 10 11 14	6 8 8 10 11 12 12 15	5 6 6 7 7 8 9 11	5 6 6 7 7 8 9 11		
		50	7 9 10 11 12 13 17	8 9 10 12 13 14 18	7 8 8 8 10 10 10 13	7 8 8 8 10 10 10 13		
		25	*9 11 12 14 15 20	9 11 11 13 15 17 21	*8 *9 9 10 11 12 12 15	*8 *9 9 10 11 12 12 15		
		10	*10 13 13 14 15 16 17 23	*11 12 13 15 17 19 24	*9 *10 10 11 12 14 14 17	*9 *10 10 11 12 14 14 17		
75	(I)	90	6 7 7 8 9 10 10 14	6 8 8 9 10 11 11 14	5 6 6 6 6 7 8 10	5 6 6 6 6 7 8 10		
		75	*7 8 9 10 11 12 13 17	8 9 9 11 12 13 13 17	7 7 8 8 8 9 10 11 12	7 7 8 8 8 9 10 11 12		
		50	*8 10 11 12 14 15 20	10 11 11 13 15 16 20	8 9 9 9 9 11 12 13 15	8 9 9 9 9 11 12 13 15		
		25	*10 12 13 14 16 17 18 24	11 13 13 15 17 19 23	*9 *10 11 11 12 13 15 17	*9 *10 11 11 12 13 15 17		
		10	*11 *13 14 16 18 19 20 27	*13 15 15 17 19 21 26	*10 *12 12 12 14 15 17 19	*10 *12 12 12 14 15 17 19		
25	(I)	90	6 8 8 9 10 10 11 14	7 8 8 10 11 12 12 15	5 6 6 6 7 8 9 11	5 6 6 6 7 8 9 11		
		75	8 10 10 11 12 13 17	8 9 9 12 13 15 19	7 7 8 8 9 10 11 13	7 7 8 8 9 10 11 13		
		50	*9 11 12 13 14 15 16 21	10 11 11 14 16 18 22	8 9 9 9 10 12 13 16	8 9 9 9 10 12 13 16		
		25	*11 13 14 15 17 19 25	11 13 13 16 19 20 26	9 10 11 12 13 15 19	9 10 11 12 13 15 19		
		10	*12 15 16 17 19 20 21 28	13 15 15 19 21 23 29	10 12 12 13 15 17 21	10 12 12 13 15 17 21		
76	(I)	90	5 6 7 8 8 9 10 13	6 6 7 8 9 10 10 13	5 5 5 5 6 7 8 10	5 5 5 5 6 7 8 10		
		75	6 8 8 9 10 11 12 16	7 8 8 10 11 12 12 15	5 6 6 6 8 9 9 12	5 6 6 6 8 9 9 12		
		50	8 9 10 11 13 14 19	8 9 10 12 13 14 18	7 8 8 8 9 10 11 14	7 8 8 8 9 10 11 14		
		25	9 11 12 13 15 16 17 22	9 11 11 13 15 17 21	*8 *9 9 11 12 13 13 16	*8 *9 9 11 12 13 13 16		
		10	*11 13 13 15 17 18 19 25	*11 12 13 15 17 19 24	*9 *10 10 12 13 15 15 19	*9 *10 10 12 13 15 15 19		

Suite du Tableau 6.21

(I)	(II)	(III)	(IV)
49	51	10	11
75	6 7 7 9 10 10 11 15	7 8 8 9 10 11 11 14	5 6 6 7 8 9 9 11
50	7 8 9 11 12 13 14 18	8 9 10 11 12 13 13 17	7 7 8 9 10 11 11 13
25	*8 10 11 13 15 16 22	10 11 11 13 15 16 20	8 9 9 10 12 13 13 16
10	*10 12 13 15 17 18 19 26	11 13 13 15 17 19 23	*9 *10 11 12 13 15 15 19
	*11 13 14 17 19 20 22 29	*13 15 15 17 19 21 21 26	*10 *12 12 13 15 17 17 21
90	6 8 8 9 10 11 12 15	7 8 8 10 11 12 12 15	5 6 6 8 8 9 9 12
75	8 10 10 11 13 14 19	8 9 9 12 13 15 15 19	7 7 8 9 10 12 12 14
25	9 11 12 14 15 16 17 23	10 11 11 14 16 18 22	8 9 9 11 13 14 14 17
10	*11 13 14 16 18 19 20 27	11 13 13 16 19 20 26	9 10 11 13 15 16 16 20
	*12 15 16 18 20 21 23 30	13 15 15 19 21 23 23 29	10 12 12 15 16 18 18 23
76	90	7 8 8 9 10 11 11 14	6 6 7 8 9 9 9 12
75	8 10 11 11 13 13 14 19	8 9 10 11 12 13 13 17	7 8 8 9 10 12 11 14
50	*10 12 13 14 15 16 17 23	10 11 11 13 15 16 20	8 9 10 11 13 14 14 17
25	*11 14 15 16 18 19 20 27	11 13 13 15 17 19 23	9 *11 11 13 15 16 16 20
10	*13 *16 17 18 20 21 23 30	*12 14 15 17 19 21 21 26	*11 *12 13 14 16 18 18 23
34	51	8 9 9 10 11 12 15	7 8 8 8 10 11 11 13
75	7 9 9 11 12 13 14 18	8 9 9 10 11 12 12 15	8 9 10 10 12 13 11 14
50	*9 11 11 13 15 16 17 22	9 11 11 12 14 15 15 19	*10 11 11 12 14 15 14 17
25	*10 13 13 16 18 19 20 27	11 13 13 14 16 18 22	*11 *13 13 14 16 16 20
10	*12 *15 15 19 21 22 24 31	13 15 15 17 19 21 21 26	*13 *15 15 16 18 18 23
	*14 *17 *18 21 24 25 27 35	*16 *17 17 19 21 23 23 29	
90	8 10 10 11 13 13 14 18	8 9 9 11 12 13 13 17	7 8 8 9 11 12 12 15
75	*10 12 13 14 15 16 17 23	9 11 11 13 15 16 16 21	8 9 10 11 13 14 14 18
50	*12 14 15 17 19 20 21 28	11 13 13 16 18 20 25	*10 11 11 14 15 17 17 21
25	*14 *17 18 20 22 23 24 33	13 15 15 18 21 23 23 29	*11 *13 13 16 18 19 19 24
10	*15 *19 *20 22 25 26 28 37	15 17 17 21 23 26 26 32	*13 *15 15 18 20 22 22 28

Tableau 6.22

Force de poussée maximale acceptable pour les hommes ( en kg )  
( Effort initial )

H (I)	Pousser de 2,1 mètres ( une poussée à toutes les )					Pousser de 7,6 mètres ( une poussée à toutes les )					Pousser de 15,2 mètres ( une poussée à toutes les )									
	s	1	2	5	30	h	s	1	2	5	30	h	s	1	2	5	30	h		
90	20	22	25	26	26	31	14	16	21	21	22	22	26	16	18	19	19	20	21	25
75	26	29	32	34	34	41	18	20	27	27	28	28	34	21	23	25	25	26	27	32
50	32	36	40	40	42	51	23	25	33	33	35	35	42	26	29	31	31	33	33	40
25	38	43	47	47	50	61	27	31	40	40	42	42	51	31	35	37	37	40	40	48
10	44	49	55	55	58	70	31	35	46	46	49	48	58	36	40	43	43	45	46	55
90	21	24	26	26	28	34	16	18	23	23	25	25	30	18	21	22	22	23	24	28
75	28	31	34	34	36	44	21	23	30	30	32	32	39	24	27	28	28	30	30	36
50	34	38	43	43	45	54	26	29	38	38	40	40	48	29	33	35	35	37	38	45
25	41	46	51	51	54	65	31	35	45	45	48	48	58	35	40	42	42	45	45	54
10	47	53	59	59	62	75	35	40	52	52	55	56	66	40	46	49	49	52	52	62
90	19	22	24	24	25	31	13	14	20	20	21	21	26	15	17	19	19	20	20	24
75	25	28	31	31	33	40	16	19	26	26	27	28	33	19	21	24	24	26	26	31
50	31	35	39	39	41	50	20	23	32	32	34	35	41	23	27	30	30	32	33	39
25	38	42	46	46	49	59	25	28	39	39	41	41	50	28	32	36	36	39	39	47
10	43	48	53	53	57	68	28	32	45	45	47	48	57	32	37	42	42	44	45	54

Suite du Tableau 6.22

H	Pousser de 30,5 mètres (une poussée à toutes les)				Pousser de 45,7 mètres (une poussée à toutes les)				Pousser de 61,0 mètres (une poussée à toutes les)										
	%	1	2	5	30	8	h	1	2	5	30	8	h	2	5	30	8	h	
		mn			h			mn			h			mn			h		
90	15	16	19	19	24	24	14	14	16	16	20	20	12	14	14	18	18	23	
75	19	21	25	25	31	31	16	18	21	21	26	26	16	18	18	23	23	28	
144	24	27	31	31	38	38	20	23	26	26	33	33	20	22	22	28	28	34	
25	28	32	37	37	46	46	24	27	32	32	39	39	23	27	27	34	34	40	
10	32	37	42	42	53	53	28	31	36	36	45	45	27	31	31	39	39	46	
90	17	19	22	22	27	27	14	16	19	19	23	23	14	16	16	20	20	26	
75	21	24	28	28	35	35	18	21	24	24	30	30	18	21	21	26	26	32	
50	27	30	35	35	44	44	23	26	30	30	37	37	22	26	26	32	32	39	
25	32	36	42	42	52	52	27	31	36	36	45	45	27	31	31	39	39	46	
10	37	41	48	48	60	60	32	36	41	41	52	52	31	35	35	44	44	52	
90	14	16	19	19	23	23	12	14	16	16	20	20	12	14	14	17	17	22	
75	18	21	24	24	30	30	16	18	21	21	26	26	15	18	18	22	22	28	
50	23	26	30	30	37	37	20	22	26	26	32	32	19	22	22	28	28	34	
25	28	31	36	36	45	45	24	28	31	31	39	39	23	26	26	33	33	40	
10	32	36	41	41	52	52	27	31	36	36	44	44	26	30	30	38	38	46	

H : Hauteur verticale de la poussée (sol aux mains), en cm,  
% : Centre de la population industrielle



Tableau 6.23

**Force de poussée maximale acceptable pour les hommes ( en kg )  
( Effort soutenu )**

H	Pousser de 2,1 mètres ( une poussée à toutes les )							Pousser de 7,6 mètres ( une poussée à toutes les )							Pousser de 15,2 mètres ( une poussée à toutes les )											
	%	6	12	1	2	5	30	8	h	15	22	1	2	5	30	8	h	25	35	1	2	5	30	8	h	
		s	min	min	min	min	h		s	min	min	min	min	h		s	min	s	min	min	min	h		s	min	h
144	90	10	13	15	16	18	18	22	*8	*9	13	13	15	16	18	*8	*9	11	12	13	14	16				
	75	*13	17	21	22	24	25	30	*10	*13	17	18	20	21	25	*11	*13	15	16	18	18	22				
	50	*17	22	27	28	31	32	38	*13	*16	22	23	26	27	32	*14	*17	*20	20	23	24	28				
	25	*18	*27	33	34	38	40	47	*16	*20	28	29	32	33	39	*17	*20	*24	25	28	29	34				
95	10	*25	*31	38	38	45	46	54	*19	*23	*23	33	38	39	46	*20	*24	*28	29	33	34	40				
	90	10	13	16	17	19	19	24	*8	10	13	13	15	15	18	*8	*10	11	12	13	13	16				
	75	*14	18	22	22	25	26	31	*11	*13	17	18	20	21	25	*11	*13	15	16	18	18	21				
	50	*18	*23	28	29	33	34	40	*14	*17	22	23	32	27	32	*14	*17	*19	20	23	23	28				
64	25	*22	*28	34	35	40	41	49	*17	*21	27	29	32	33	39	*18	*21	*24	25	28	29	34				
	10	*26	*33	40	41	46	48	57	*20	*24	*32	33	37	38	45	*20	*25	*28	29	32	33	40				
	90	10	13	16	16	18	19	23	*8	10	12	13	14	15	18	*8	*10	11	11	12	13	15				
	75	*14	18	21	22	25	26	31	*11	*13	17	17	19	20	24	*11	*13	14	15	17	17	21				
90	50	*18	*23	28	29	32	33	39	*14	*17	21	22	25	26	31	*14	*17	*19	19	22	22	27				
	25	*22	*28	34	35	39	41	48	*17	*21	26	27	31	32	37	*18	*21	*23	24	27	28	33				
	10	*26	*32	39	41	46	48	56	*20	*25	*30	32	36	37	44	*21	*25	*27	28	31	32	38				

Suite du Tableau 6.23

H	%	Pousser de 30,5 mètres (une poussée à toutes les)				Pousser de 45,7 mètres (une poussée à toutes les)				Pousser de 61,0 mètres (une poussée à toutes les)			
		1	2	5	30	1	2	5	30	2	5	30	8
		mn				mn				h			
	90	*8	10	12	13	*7	8	10	11	7	8	9	11
	75	*11	13	16	18	*10	*11	13	15	*9	11	13	15
144	50	*15	*17	20	23	*12	*14	17	19	*12	14	16	19
	25	*18	*21	25	29	*15	*18	21	24	*15	17	20	24
	10	*21	*25	29	33	*18	*21	24	28	*17	*20	23	28
	90	*8	10	12	13	*7	8	9	11	7	8	9	11
	75	*11	13	16	18	*9	*11	13	15	*9	11	12	15
95	50	*15	*17	20	23	*12	*14	17	19	*12	14	16	19
	25	*18	*21	25	28	*15	*18	21	24	*15	17	20	23
	10	*21	*25	29	33	*17	*20	24	27	*17	*20	23	27
	90	*8	9	11	13	*7	8	9	11	7	8	9	10
	75	*11	13	15	17	*9	*11	12	14	*9	10	12	14
64	50	*14	*16	19	22	*12	*14	16	18	*12	14	15	18
	25	*17	*20	24	27	*14	*17	20	23	*14	17	19	22
	10	*20	*24	28	32	*17	*20	23	26	*16	19	22	26

H : Hauteur verticale de la poussée (sol aux mains), en cm;  
 % : Centre de la population industrielle  
 ( \* ) : Ces valeurs excèdent le critère physiologique pour \* heures

Tableau 6.24

**Force de poussée maximale acceptable pour les femmes ( en kg)  
( Effort initial )**

H	%	Pousser de 2,1 mètres ( une poussée à toutes les )					Pousser de 7,6 mètres ( une poussée à toutes les )					Pousser de 15,2 mètres ( une poussée à toutes les )								
		s	mn	mn	h	h	s	mn	mn	h	h	s	mn	mn	h	h				
	90	6	12	17	18	20	26	22	16	16	18	22	20	12	14	14	15	16	17	
	75	17	18	21	22	24	25	27	18	19	20	22	23	15	17	17	19	20	21	
135	50	20	22	25	26	29	30	32	21	23	24	26	27	18	20	20	22	23	25	
	25	24	25	29	30	33	35	37	25	26	27	28	31	20	23	23	24	26	27	29
	10	26	28	33	34	38	39	41	28	30	31	34	36	23	26	26	29	31	32	
	90	14	15	17	18	20	21	22*	14	15	16	17	19	11	13	14	14	16	17	
	75	17	18	21	22	24	25	27	17	18	20	22	23	14	16	17	17	19	20	21
89	50	20	22	25	26	29	30	32	20	21	23	24	27	16	19	20	21	23	24	25
	25	24	25	29	30	33	35	37	23	25	27	28	31	19	22	23	24	27	28	29
	10	26	28	33	34	38	39	41	26	28	31	32	35	22	24	26	27	30	31	33
	90	11	12	14	14	16	17	18	11	12	14	14	16	9	11	19	12	13	14	15
	75	14	15	17	17	19	20	21	14	15	17	17	19	11	13	14	15	16	17	18
57	50	16	17	20	21	23	24	25	16	18	20	21	23	14	15	17	18	19	20	21
	25	19	20	23	24	27	28	30	19	21	23	24	27	16	18	20	20	23	24	25
	10	21	23	26	27	30	31	33	22	23	26	27	30	18	20	22	23	25	26	28

Tableau 6.24

H %	Pousser de 30,5 mètres (une poussée à toutes les)				Pousser de 45,7 mètres (une poussée à toutes les)				Pousser de 61,0 mètres (une poussée à toutes les)			
	1	2	5	30	1	2	5	30	2	5	30	8
	mn				mn				mn			
	h				h				h			
90	12	13	14	15	12	13	14	15	12	13	14	15
75	15	16	17	19	15	16	17	19	14	15	17	19
50	18	19	21	22	18	19	21	22	17	18	20	22
25	20	22	24	26	20	22	24	26	20	21	23	26
10	23	25	27	29	23	25	27	29	22	24	26	29
90	12	14	15	16	12	14	15	16	12	13	14	16
75	15	16	18	19	15	16	18	19	15	16	17	19
50	18	20	21	23	18	20	21	23	18	19	20	23
25	21	23	24	26	21	23	24	26	20	22	24	27
10	24	26	28	30	24	26	28	30	23	25	26	30
90	11	12	12	13	11	12	12	13	10	11	12	13
75	13	14	15	16	13	14	15	16	12	13	14	16
50	15	17	18	19	15	17	18	19	15	16	17	19
25	18	19	21	22	18	19	21	22	17	19	20	23
10	20	22	23	25	20	22	23	25	19	21	23	25

H : Hauteur verticale de la poussée (sol aux mains), en cm;  
% : Centre de la population industrielle

**Tableau 6.25**

Force de poussée maximale acceptable pour les femmes ( en kg)  
( Effort soutenu )

Ht	%	Pousser de 2,1 mètres ( une poussée à toutes les )			Pousser de 7,6 mètres ( une poussée à toutes les )			Pousser de 15,2 mètres ( une poussée à toutes les )		
		s	mn	h	s	mn	h	s	mn	h
	90	6	10	12	15	7	8	25	6	7
	75	*8	14	17	*7	11	9	*6	*6	9
135	50	*12	19	23	*10	15	13	*8	*9	11
	25	*16	24	29	*14	18	17	*12	*12	14
	10	*18	28	34	*17	22	22	*14	*15	18
				42	*20	24	26	*18	*18	22
	90	6	9	11	6	8	9	5	6	7
	75	*8	13	16	*7	11	13	*6	*6	10
89	50	*11	18	21	*10	15	18	*8	*9	11
	25	*14	22	27	*13	19	22	*11	*13	14
	10	*17	26	32	*15	23	28	*14	*16	19
				39	*17	25	27	*14	*17	21
					*20	27	33	*17	*19	23
	90	5	8	9	6	7	8	5	6	7
	75	*7	11	14	*7	10	12	*6	*6	9
57	50	*10	15	18	*10	14	17	*8	*9	10
	25	*12	19	23	*13	18	21	*11	*12	13
	10	*15	23	28	*14	20	26	*12	*14	17
				34	*17	23	29	*14	*15	18
					*20	26	31	*17	*17	21
					*21	25	31	*18	*18	26

Suite du Tableau 6.25

H %	Pousser de 30,5 mètres (une poussée à toutes les)			Pousser de 45,7 mètres (une poussée à toutes les)			Pousser de 61,0 mètres (une poussée à toutes les)		
	1 mn	2 mn	5 mn	1 mn	2 mn	5 mn	2 mn	5 mn	30 mn
90	*5	*6	6	*5	*5	5	*4	*4	4
75	*7	*8	9	*7	*8	8	*9	*6	6
50	*10	*11	12	*9	*10	*11	*8	*8	9
25	*13	*14	*15	*11	*13	*13	*10	*10	11
10	*15	*17	*17	*14	*15	*16	*12	*12	13
90	*5	*6	6	*5	*6	6	*4	*4	5
75	*8	*9	9	*7	*8	8	*6	*6	7
50	*10	*12	12	*10	*11	*11	*8	*9	9
25	*13	*15	*15	*12	*14	*14	*11	*11	12
10	*16	*18	*18	*14	*16	*17	*13	*13	15
90	*5	*6	6	*5	*5	5	*4	*8	4
75	*7	*8	8	*7	*7	8	*6	*6	6
50	*10	*11	11	*9	*10	*10	*8	*8	8
25	*12	*14	14	*11	*13	*13	*10	*10	11
10	*15	*16	*17	*13	*15	*16	*12	*12	13

H : Hauteur verticale de la poussée (sol aux mains), en cm;  
 % : Centre de la population industrielle  
 (\*) : Ces valeurs excèdent le critère physiologique pour \* heures.

Tableau 6.26

Force de tirer maximale acceptable pour les hommes ( en kg)  
( Effort initial )

H	%	Tirer de 2,1 mètres ( un tirer à toutes les )				Tirer de 7,6 mètres ( un tirer à toutes les )				Tirer de 15,2 mètres ( un tirer à toutes les )										
		s	mn	h	h	s	mn	h	h	s	mn	h	h							
	90	6	12	18	18	13	16	16	17	18	21	21	23	25	35	1	2	5	30	8
	75	14	16	18	18	13	16	16	17	18	21	21	23	13	15	15	15	16	17	20
144	50	17	19	22	23	14	15	20	20	21	26	26	28	16	18	19	19	20	20	24
	25	20	23	26	28	16	18	24	24	25	31	31	33	19	21	22	22	24	24	29
	10	24	27	31	32	19	21	28	28	29	36	36	39	22	25	26	26	28	28	33
		26	30	34	36	21	24	31	31	33	40	40	44	24	28	29	29	31	31	38
	90	19	22	25	27	15	18	23	23	24	29	29	32	18	20	21	21	23	23	28
	75	23	27	31	32	19	21	28	28	29	36	36	39	22	25	26	26	28	28	33
95	50	28	32	36	39	23	26	33	33	35	42	42	47	26	29	31	31	33	33	40
	25	33	37	42	45	26	30	39	39	41	49	49	54	30	34	36	36	38	39	46
	10	37	42	48	51	30	33	43	43	46	56	56	61	33	38	41	41	43	44	52
	90	22	25	28	30	18	20	26	26	27	33	33	36	20	23	24	24	26	26	31
	75	27	30	34	37	21	24	31	31	33	40	40	44	24	28	29	29	31	32	38
64	50	32	36	41	44	25	29	37	37	40	48	48	53	29	33	35	35	37	38	45
	25	37	42	48	51	30	34	44	44	46	56	56	61	34	39	41	41	43	44	52
	10	42	48	54	57	33	38	49	49	52	63	63	69	38	43	46	46	49	49	59

Suite du Tableau 6.26

H	%	Tirer de 30,5 mètres (un tirer à toutes les)			Tirer de 45,7 mètres (un tirer à toutes les)			Tirer de 61,0 mètres (un tirer à toutes les)							
		1 mn	2 5 mn	3 30 h	1 mn	2 5 mn	3 30 h	1 mn	2 5 mn	3 30 h					
144	90	12	13	15	15	19	10	11	13	13	16	10	11	11	14
	75	14	16	19	19	23	12	14	16	16	20	12	14	14	17
	50	17	19	22	22	27	15	16	19	19	24	14	16	16	20
	25	20	22	26	26	32	17	19	22	22	28	16	19	19	24
	10	22	25	29	29	37	20	22	25	25	31	18	21	21	27
95	90	16	18	21	21	26	14	16	18	18	23	13	16	16	19
	75	20	22	26	26	32	17	19	22	22	28	16	19	19	24
	50	24	27	31	31	38	20	23	27	27	33	20	23	23	28
	25	27	31	36	36	45	24	27	31	31	38	23	26	26	33
	10	31	35	40	40	50	27	30	35	35	43	26	30	30	37
64	90	18	21	24	24	30	16	18	21	21	26	15	18	18	22
	75	22	25	29	29	36	19	22	25	25	31	19	21	21	27
	50	27	30	35	35	43	23	26	30	30	37	22	26	26	32
	25	31	35	41	41	50	27	30	35	35	43	26	30	30	37
	10	35	39	46	46	57	30	34	39	39	49	29	34	34	42

H : Hauteur verticale de la poussée (sol aux mains), en cm;  
% : Centre de la population industrielle

Tableau 6.27

**Force de tirer maximale acceptable pour les hommes ( en kg )  
( Effort soutenu )**

H	Tirer de 2,1 mètres ( un tirer à toutes les )					Tirer de 7,6 mètres ( un tirer à toutes les )					Tirer de 15,2 mètres ( un tirer à toutes les )											
	s	1	2	5	30	s	1	2	5	30	s	1	2	5	30							
%	h					h					h											
90	8	10	12	13	15	18	6	8	10	11	12	12	15	15	13	7	8	9	9	10	11	13
75	10	13	16	17	19	23	*8	10	13	14	16	16	19	19	17	*9	*10	12	12	14	14	17
50	*13	16	20	21	23	28	*10	*13	16	17	19	20	23	23	20	*11	*13	14	15	17	17	20
25	*15	20	24	25	28	34	*12	*15	20	20	23	24	28	28	24	*13	*15	*17	18	20	21	24
10	*17	22	27	28	32	39	*14	*17	22	23	26	27	32	32	27	*14	*17	*19	20	23	24	28
90	10	13	16	17	19	24	*8	10	13	14	16	16	19	19	16	*9	*10	12	12	14	14	17
75	*13	17	21	22	25	30	*11	*13	17	18	20	21	25	25	21	*11	*14	15	15	18	18	22
50	*16	21	26	27	31	37	*13	*17	21	22	25	26	31	31	26	*14	*17	*19	19	22	23	27
25	*19	26	31	33	37	45	*16	*20	26	27	30	31	37	37	31	*17	*20	*22	23	26	27	32
10	*22	29	36	37	42	51	*18	*23	29	31	34	36	42	42	36	*19	*23	*26	27	30	31	37
90	11	14	17	18	20	25	*9	11	14	15	17	17	20	20	17	*9	*11	12	13	15	15	18
75	*14	19	23	23	26	32	*11	*14	19	19	22	22	26	26	22	*12	*14	*16	17	19	19	23
50	*17	23	28	29	32	40	*14	*18	23	24	27	28	33	33	28	*15	*18	*20	21	23	24	28
25	*20	27	33	35	39	48	*17	*21	27	28	32	33	39	39	33	*18	*21	*24	25	28	29	34
10	*23	31	38	40	45	54	*19	*24	*31	32	37	38	45	45	38	*20	*24	*27	28	32	33	39

Suite du Tableau 6.27

H	Tirer de 30,5 mètres (un tirer à toutes les)		Tirer de 45,7 mètres (un tirer à toutes les.)		Tirer de 61,0 mètres (un tirer à toutes les)	
	%	h	%	h	%	h
144	90	7 8 9 11 13	*6 7 8 9 10	2 5 30 8	6 6 7 9	2 5 30 8
	75	*9 10 12 14 16	*7 9 10 11 14	7 8 9 10	7 8 10 11	7 8 10 11
	50	*11 13 15 17 20	*9 *11 12 14 17	9 10 11 14	*9 10 12 14	*9 10 12 14
	25	*13 15 18 20 24	*11 *13 15 17 20	11 12 14 17	*11 12 14 17	*11 12 14 17
	10	*15 *17 20 23 27	*12 *14 17 19 23	13 15 17 20	*12 14 16 19	*12 14 16 19
95	90	*9 10 12 14 17	*7 9 10 12 14	7 9 10 12	7 9 10 12	7 9 10 12
	75	*12 13 16 18 21	*10 *11 13 15 18	9 10 11 13	*9 11 13 15	*9 11 13 15
	50	*14 *17 19 22 26	*12 *14 16 19 22	11 12 14 17	*12 14 16 18	*12 14 16 18
	25	*17 *20 23 27 32	*14 *17 19 22 26	13 15 17 20	*14 16 19 22	*14 16 19 22
	10	*19 *23 27 31 36	*16 *19 22 25 30	15 17 20 24	*16 19 21 25	*16 19 21 25
64	90	*9 11 13 15 18	*8 9 11 12 15	8 9 10 12	8 9 10 12	8 9 10 12
	75	*12 14 17 19 23	*10 *12 14 16 19	9 10 11 13	*10 12 13 16	*10 12 13 16
	50	*15 *18 21 24 27	*13 *15 17 20 23	11 12 14 17	*12 14 16 20	*12 14 16 20
	25	*18 *21 25 28 33	*15 *18 21 24 28	13 15 17 20	*15 17 20 23	*15 17 20 23
	10	*12 *24 28 32 38	*17 *20 24 27 32	15 17 20 24	*17 *20 23 27	*17 *20 23 27

H : Hauteur verticale de la poussée (sol aux mains), en cm,

% : Centre de la population industrielle;

(\*) : Ces valeurs excèdent le critère physiologique pour 8 heures.

**Tableau 6.28**

**Force de tirer maximale acceptable pour les femmes ( en kg)  
( Effort initial )**

H	%	Tirer de 2,1 mètres ( une tirer à toutes les )								Tirer de 7,6 mètres ( un tirer à toutes les )								Tirer de 15,2 mètres ( un tirer à toutes les )							
		s		min		h		s		min		h		s		min		h							
		6	12	1	2	5	30	8	15	22	1	2	5	30	8	25	35	1	2	5	30	8			
	90	13	16	17	18	20	21	22	13	14	16	16	18	19	20	10	12	13	14	15	16	17			
	75	16	19	20	21	24	25	26	16	17	19	19	21	22	24	12	14	16	16	18	19	20			
135	50	19	23	24	25	28	29	31	19	20	22	23	25	26	28	14	16	19	19	21	22	24			
	25	21	25	28	29	32	33	35	21	23	25	26	29	30	32	16	19	21	22	25	26	27			
	10	24	30	31	32	36	37	39	24	26	28	29	32	34	36	18	21	21	25	27	29	30			
	90	14	16	18	19	21	22	23	14	15	16	17	19	20	21	10	12	14	14	16	17	18			
	75	16	19	21	22	25	26	27*	17	18	19	20	22	23	25	12	15	17	17	19	20	21			
89	50	19	23	25	26	29	30	32	19	21	23	24	26	27	29	14	17	19	20	22	23	25			
	25	22	26	29	30	33	35	37	22	24	26	27	30	31	33	16	20	22	23	26	27	28			
	10	25	29	32	33	37	39	41	25	27	29	30	33	35	37	18	22	25	26	29	30	32			
	90	15	17	19	20	22	23	24	15	16	17	18	20	21	22	11	13	15	15	17	18	19			
	75	17	20	22	23	26	27	28	17	19	20	21	23	24	26	13	15	17	18	20	21	22			
57	50	20	24	26	27	30	32	33	20	22	24	25	28	29	30	15	18	20	21	23	24	26			
	25	23	27	30	31	35	36	38	23	25	27	29	32	33	35	17	21	23	24	27	28	30			
	10	26	31	34	35	39	40	43	26	28	31	32	35	37	39	19	23	26	27	30	31	33			

Suite du Tableau 6.28

H	%	Tirer de 30,5 mètres (un tirer à toutes les)			Tirer de 45,7 mètres (un tirer à toutes les)			Tirer de 61,0 mètres (un tirer à toutes les)		
		1	2	5	1	2	5	2	5	8
		mn			mn			mn		
		h			h			h		
90		12	13	14	15	17	12	13	14	15
75		14	16	17	18	20	14	15	16	18
50	135	17	18	20	21	24	17	18	19	21
25		20	21	23	24	27	19	21	20	22
10		22	24	25	27	31	22	24	23	24
90		13	14	15	16	18	13	14	15	16
75		15	16	18	19	21	15	16	17	19
50	89	18	19	21	22	25	18	19	21	22
25		20	22	24	25	29	20	22	24	25
10		23	25	26	28	32	23	25	26	28
90		18	14	15	17	30	13	14	15	17
75		16	17	18	20	22	16	17	18	20
50	57	18	20	22	23	26	18	20	22	23
25		21	23	25	27	30	21	23	25	27
10		24	26	28	30	34	24	26	28	30

H : Hauteur verticale de la poussée (sol aux mains), en cm;  
% : Centre de la population industrielle

Tableau 6.29

Force de tirer maximale acceptable pour les femmes ( en kg )  
( Effort soutenu )

H	%	Tirer de 2,1 mètres ( un tir à toutes les )		Tirer de 7,6 mètres ( un tir à toutes les )		Tirer de 15,2 mètres ( un tir à toutes les )	
		s	mn	s	mn	s	mn
135	90	6	9	15	9	25	8
	75	8	12	22	10	35	11
	50	13	16	31	13	45	15
	25	19	21	41	17	55	19
	10	22	27	46	21	60	23
89	90	6	9	16	9	26	8
	75	8	12	23	10	36	11
	50	13	17	32	13	46	15
	25	18	21	42	17	56	19
	10	21	24	47	21	61	23
57	90	5	8	14	8	24	7
	75	7	11	20	9	34	10
	50	11	15	28	12	44	14
	25	17	20	36	16	54	18
	10	20	24	41	20	59	22

Suite du Tableau 6.29

H	Tirer de 30,5 mètres (un tirer à toutes les)			Tirer de 45,7 mètres (un tirer à toutes les)			Tirer de 61,0 mètres (un tirer à toutes les)								
	%	mn	h	%	mn	h	%	mn	h						
135	90	*6	*7	8	10	*6	*6	7	7	9	*5	5	7		
	75	*8	*9	10	14	*8	*9	9	9	12	*7	7	10		
	50	*11	*12	12	17	*10	*11	*11	12	16	*8	*9	9	12	
	25	*13	*15	*15	16	21	*12	*13	*14	14	19	*10	*11	11	15
	10	*15	*17	*17	18	25	*14	*15	*16	17	23	*12	*12	13	17
89	90	*6	*7	7	10	*5	*6	6	7	9	*5	5	7		
	75	*8	*9	9	13	*7	*8	9	9	12	*6	7	9		
	50	*10	*12	12	17	*9	*11	*11	12	15	*8	*8	9	12	
	25	*12	*14	*15	21	*11	*13	*13	14	19	*10	*10	11	15	
	10	*15	*16	*17	18	24	*13	*15	*16	16	22	*12	*12	13	17
57	90	*6	*6	6	7	9	*5	*6	6	8	*4	5	6		
	75	*7	*8	9	12	*7	*8	8	8	11	*6	6	9		
	50	*9	*11	11	16	*9	*15	*10	11	14	*8	*8	8	11	
	25	*11	*13	13	19	*11	*18	*12	13	17	*9	*10	20	13	
	10	*13	*15	*16	16	22	*11	*20	*14	15	20	*11	*11	12	16

H : Hauteur verticale de la poussée (sol aux mains), en cm,  
 % : Centre de la population industrielle,  
 ( \* ) : Ces valeurs excèdent le critère physiologique pour 8 heures.

Tableau 6.30

Charges de transport maximale acceptable ( en kg )

H	Transport de 2,1 mètres ( un transport à toutes les )					Transport de 4,3 mètres ( un transport à toutes les )					Transport de 8,5 mètres ( un transport à toutes les )										
	%	s	1	2	5	30	h	s	1	2	5	30	h	s	1	2	5	30	h		
90	10	14	17	17	19	21	25	9	11	15	15	17	19	22	10	11	13	13	15	17	20
	75	14	19	23	23	26	34	13	16	21	21	23	26	30	13	15	18	18	20	23	27
111	50	*19	25	30	30	33	44	17	20	27	27	30	34	39	17	19	23	24	26	29	35
	25	*23	30	37	37	41	54	*20	25	33	33	37	41	48	*21	24	29	29	32	36	43
10	*27	*35	43	43	48	54	63	*24	29	38	39	43	48	57	*24	28	34	34	38	42	50
90	13	17	21	21	23	26	31	11	14	18	19	21	23	27	13	15	17	18	20	22	26
	75	18	23	28	29	32	42	16	19	25	25	28	32	37	17	20	24	24	27	30	35
79	50	*23	30	37	37	41	54	*20	25	32	33	36	41	48	*22	*26	31	31	35	39	46
	25	*28	*37	45	46	51	67	*25	30	40	40	45	50	59	*27	*32	38	38	42	48	56
10	*33	*43	53	53	59	66	78	*29	*35	47	47	52	59	69	*32	*38	44	45	50	56	65
90	11	12	13	13	13	13	18	9	10	13	13	13	13	18	10	11	12	12	12	12	16
	75	*13	14	15	15	16	21	*11	12	15	15	16	16	21	*12	*13	*14	14	14	14	19
105	50	*15	16	18	18	18	25	*12	13	18	18	18	18	24	*14	*15	*16	16	16	16	22
	25	*17	*18	20	20	21	28	*14	15	20	20	21	21	28	*15	*17	*18	18	19	19	25
10	*19	*20	22	22	22	23	31	*16	17	22	22	23	23	31	*17	*19	*20	20	21	21	28
90	*13	14	16	16	16	16	22	10	11	14	14	14	14	20	*12	12	14	14	14	14	19
	75	*15	*17	18	18	19	25	11	13	16	16	17	17	23	*14	*15	16	16	17	17	23
72	50	*17	*19	21	21	22	29	*13	15	19	19	20	20	26	*16	*17	19	19	20	20	26
	25	*20	*22	24	24	25	33	*15	17	22	22	22	22	30	*18	*29	21	22	22	22	30
10	*22	*24	27	27	28	28	37	*17	*19	24	24	25	25	33	*20	*21	24	24	25	25	33

H : Hauteur verticale de la poussée ( sol aux mains ), en cm;  
 % : Centre de la population industrielle;  
 (\*) : Ces valeurs excèdent le critère physiologique pour 8 heures.



## CHAP.VII.

<i>ETUDE BIOMECHANIQUE</i>	<i>Page</i>
7.1. Étude des modèles statiques	.....2
7.1.1. Notions de base	.....2
7.1.2. Modèle statique simple à un seul segment (bras)	.....5
7.1.3. Modèle statique simple à deux segments (bras et avant bras)	.....7
7.1.4. Modèles statique simple multi-segments	.....8
7.1.5. Modèles statique multi-segments à deux dimensions	.....12
7.1.6. Critères de conception biomécanique	.....17
7.1.7. Logiciels disponibles en biomécanique	.....17
7.1.8. Observations sur les critères biomécaniques de conception	.....17
7.2. NIOSH Lifting Guide (1981 & 1991)	.....18
7.2.1. Définition	.....18
7.2.2. Conditions d'application du guide	.....18
7.2.3. Modèle	.....19
7.2.4. Limites inférieures et supérieures des paramètres	.....21
7.2.5. Critères du guide	.....22
7.2.6. NIOSH 1991	.....24
6.3. Synthèse	.....29

## CHAPITRE. VII

**ETUDE BIOMECHANIQUE****7.1. Étude biomécanique****7.1.1. Notions de base**

**Dans cette étude, on essayera d'évaluer les forces agissant sur le système musculosquellitique. L'utilisation de la biomécanique à travers ses approches cible deux objectifs qui sont strictement liés l'un à l'autre dont le premier consiste à minimiser les incidents de blessures qui pourront avoir lieu au niveau du système musculosquellitique par contre le deuxième participe à l'augmentation du rendement de travail.**

**En outre, on signale que la zone lombaire représente la partie la plus exposée à ces blessures, vue que la force de compression agissant au niveau du disque intervertébral est le premier signe de ces efforts physiques au cours des manutentions des charges importantes.**

**Le critère biomécanique adapté lors de soulèvement d'une charge ou d'application d'une force est donné par la valeur de la contrainte de compression sur le vertèbre.**

**Le seuil acceptable pour lequel l'utilisation des mesures administratives ou de conception sont recommandées a**

été fixé par NIOSCH à 3400 N. Au delà de cette limite, la valeur de la force de compression est jugée inacceptable.

Pour la résolution d'un problème de biomécanique, on utilisera la mécanique statique à travers son principe fondamental de la statique, en tenant compte de toutes les forces agissant sur le corps humain.

En général, le corps humain occupe plusieurs postures et que l'arrangement du système musculosquellitique est assez complexe, ce qui a permis la diversification de plusieurs configurations nécessaires pour une étude biomécanique.

La complexité des problèmes étudiés, fait que les forces analysées dans les différentes positions statiques ne représentent pas exactement les forces réelles qui entrent en jeu dans un mouvement concret.

Lorsqu'on analyse la relation entre la disposition des muscles et le mouvement d'une articulation, on a coutumé de placer arbitrairement le centre de rotation à partir duquel sont calculés les moments de force, au niveau de l'axe anatomique de l'articulation. Le moment de force de la réaction articulaire est alors égal à zéro puisque sa ligne d'action passe par le centre de rotation. Il devient alors facile de construire un système d'axes et de plans dont l'origine coïncide avec le centre articulaire. La ligne d'action d'un muscle qui produit un mouvement au niveau d'une articulation est déterminée par sa position anatomique; quant au bras de levier, c'est la distance perpendiculaire entre la ligne d'action du muscle. La fig(7.1), présente les longueurs des principaux segments corporels; c'est à dire, les distance entre les principales articulations du corps humain. Ces

**dimensions seront utiles lors de la détermination des différents bras de levier et du calcul des moments de force au centre de rotation des articulations.**

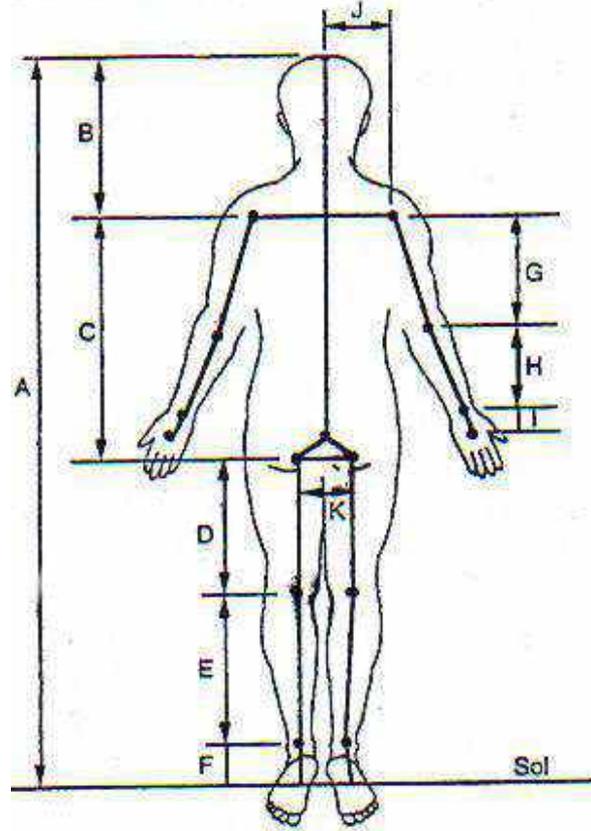


Fig 7.1

Tableau 7.1

Paramètre	Homme	Femme
A	1,0 h	1,0 h
B	0,182 h	0,164 h
C	0,288 h	0,296 h
D	0,245 h	0,248 h
E	0,246 h	0,244 h
F	0,039 h	0,048 h
G	0,186 h	0,172 h
H	0,146 h	0,147 h
I	0,064 h	0,055 h
J	0,129 h	0,0122 h
K	0,191 h	

Tableau 7.2

Taille « h » cm		
en		
%	Homme	Femme
5	164	152
10	167	154
50	174	162
90	182	170
95	185	172

**Force de gravité**

En général, la masse totale d'un solide agit toujours à son centre de masse. Tenant compte de ce principe, on peut repérer le vecteur représentant le poids de chacun des segments corporels et le vecteur résultant du corps humain.

Le poids d'un segment est noté par :

$$P = M.g$$

Le poids des segments corporels en kg, a été illustré dans le tableau 7.3 .

Tableau 7.3

Segment	Homme			Femme		
	5%	50%	95%	5%	50%	95%
main	0,2	0,4	0,6	0,3	0,4	0,5
avant-bras	0,9	1,2	1,6	0,7	1,0	1,4
bicep	1,6	2,1	2,8	1,3	1,7	2,5
tronc et tête	33,0	43,4	56,8	27,2	35,8	52,1
corps >L <sub>5</sub> / S <sub>1</sub>	27,2	35,8	46,8	22,4	29,5	42,9
cuisse	5,7	7,4	9,7	4,7	6,2	8,9
molet	2,6	3,4	4,5	2,2	2,8	4,2
pied	0,7	1,0	1,4	0,7	0,9	1,3
corps entier	57,1	75,2	98,3	47,1	62,1	90,1

La position des centres de masse est présentée à la fig ( 7.2).

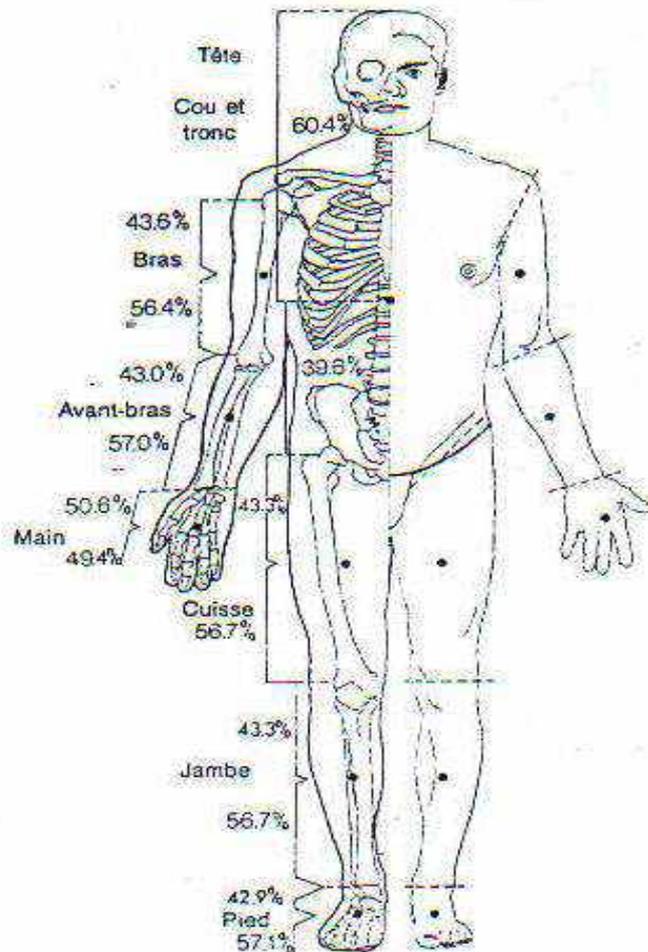
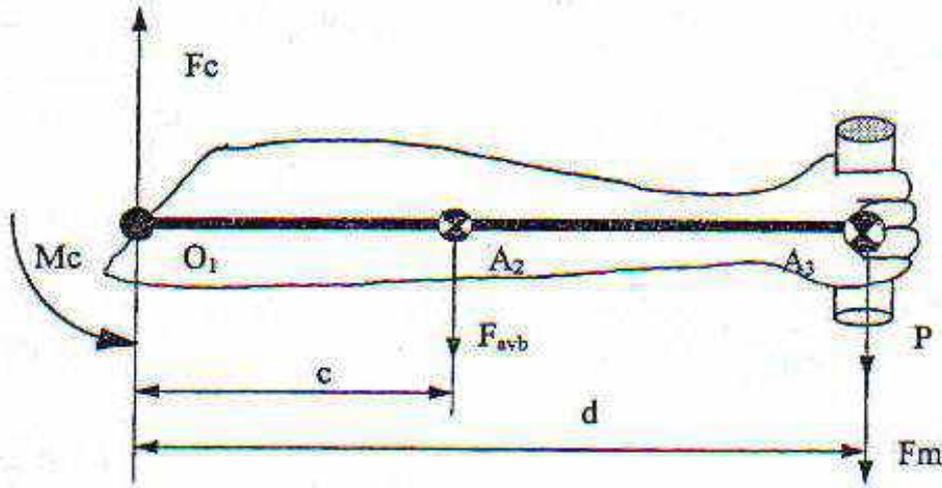


Fig 7.2

### 7.1.2. Modèle statique simple à un seul segment ( bras )

Application I :

**On se propose de déterminer la force et le moment au niveau du bras d'un homme de 50%, sachant que le poids soulevé par sa main  $F_m = 50\text{ N}$ , fig ( 7.3 ).**



**Fig 7.3**

On applique le P F S :

$$\sum F_{\text{ext}} = 0 \Leftrightarrow F_c - F_{\text{avb}} - (F_m + P) = 0$$

$$\sum MF_{\text{ext}/O1} = 0 \Leftrightarrow Mc - F_{\text{avb}} \times c - F_m \times d - P \times d = 0$$

Pour la détermination de  $F_m$  et  $F_{\text{avb}}$ , on utilisera le tableau 7.3, on obtient :

$$F_m = 0,4 \times 9,8 = 3,92\text{ N}$$

$$F_{\text{avb}} = 1,2 \times 9,8 = 14,7\text{ N}$$

Pour la détermination de « c et d », on utilisera respectivement le tableau 7.2 et 7.1, et la fig(7.2) d'où on obtient:

$$\text{Taille} = 174\text{ cm}$$

$$\text{Longueur de l'avant bras} = 0,146 \cdot 174 = 25,4\text{ cm}$$

$$\text{Longueur de la main} = 0,064 \cdot 174 = 11,1\text{ cm}$$

Tenant compte de la position des centres de masse, on obtient :

$$c = 43\% \text{ de } 25,4 = 10,9\text{ cm} = 0,109\text{ m}$$

$$d = 25,4 + 11,1 = 36,5\text{ cm} = 0,365\text{ m}$$

Remplaçant les valeurs trouvées dans les équations d'équilibre, on obtient:

$$F_c = 14,7 + 4,9 + 50 = 69,6\text{ N}$$

$$Mc = 14,7 \times 0,109 + 3,92 \times 0,365 + 50 \times 0,365 = 21,28\text{ Nm}$$

$F_c = 69,6\text{ N}$
-----------------------

$Mc = 21,28\text{ Nm}$
------------------------

**Conclusion:**

**Pour soulever une charge de 5 kg, le moment crée par la force au niveau de l'articulation du coude est de 20,6**

**Nm, par contre la force résultante au niveau de l'articulation du coude est de 64,4N**

Application II :

**Dans cette application, l'avant bras forme un angle  $\theta$  avec l'horizontale, fig (7.4), en conservant les mêmes données de l'application I, la détermination de la force et du moment au niveau du coude s'effectue comme suit:**

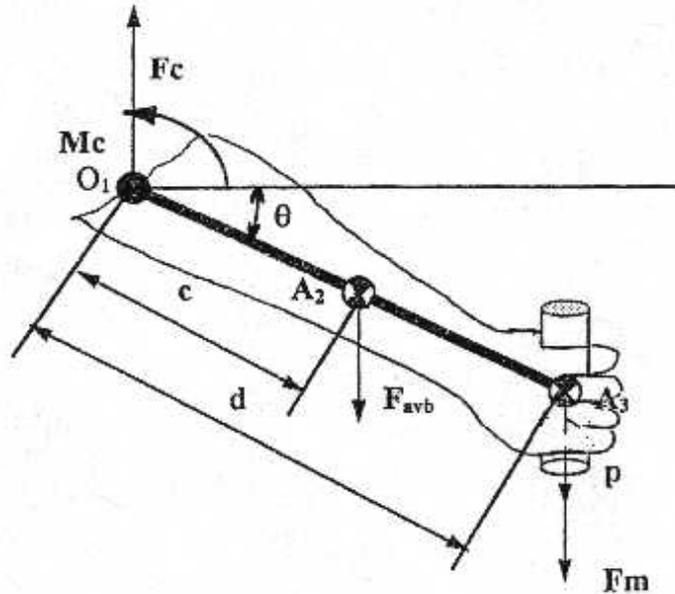


Fig 7.4

On applique le PFS, on obtient:

$$\sum F_{\text{ext}} = 0 \Leftrightarrow F_c - F_{\text{avb}} - (F_m + P) = 0$$

$$\sum M_{F_{\text{ext}}/O_1} = 0 \Leftrightarrow M_c - F_{\text{avb}} \times c \times \cos \theta - F_m \times d \times \cos \theta - P \times d \times \cos \theta = 0$$

Si l'angle  $\theta = 45^\circ$ , on obtient :

$F_c = 69,6 \quad \text{N}$
$M_c = 15,44 \quad \text{Nm}$

Remarque:

**La force résultante au niveau de coude est identique indifféremment de la valeur de l'angle  $\theta$ . D'après la courbe représentée à la fig (7.5), on constate que le moment au niveau du coude dépend de l'angle  $\theta$ , une fois la valeur du moment est passée de 20,28Nm à 15,44Nm, l'influence du bras de levier sur ce moment sera moins importante.**

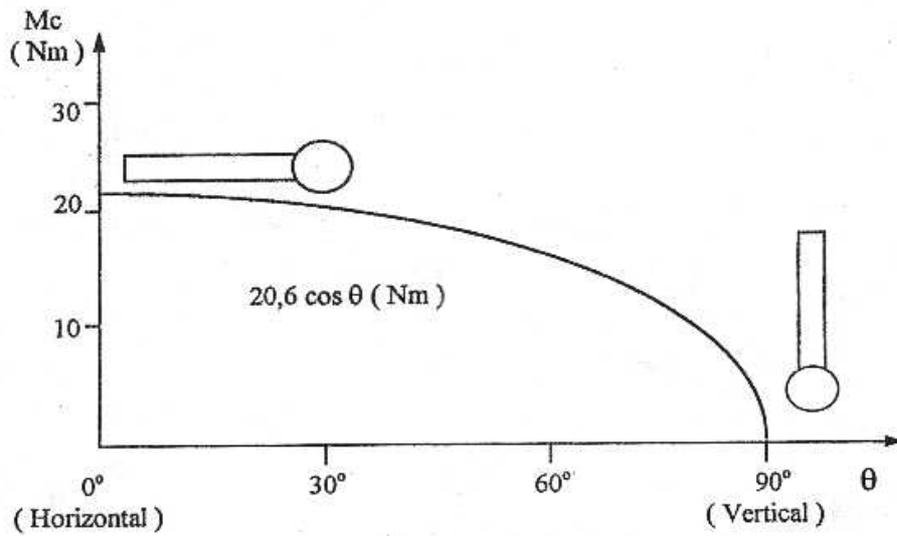


Fig 7.5

7.1.3. Modèle statique simple à deux segments ( bras et avant bras )

Position horizontale

Application III:

On se propose de déterminer la force et le moment de force au niveau de l'épaule pour un homme moyen de 50%, sachant que  $\theta = 45^\circ$  et  $\theta_1 = 60^\circ$ , fig (7.6).

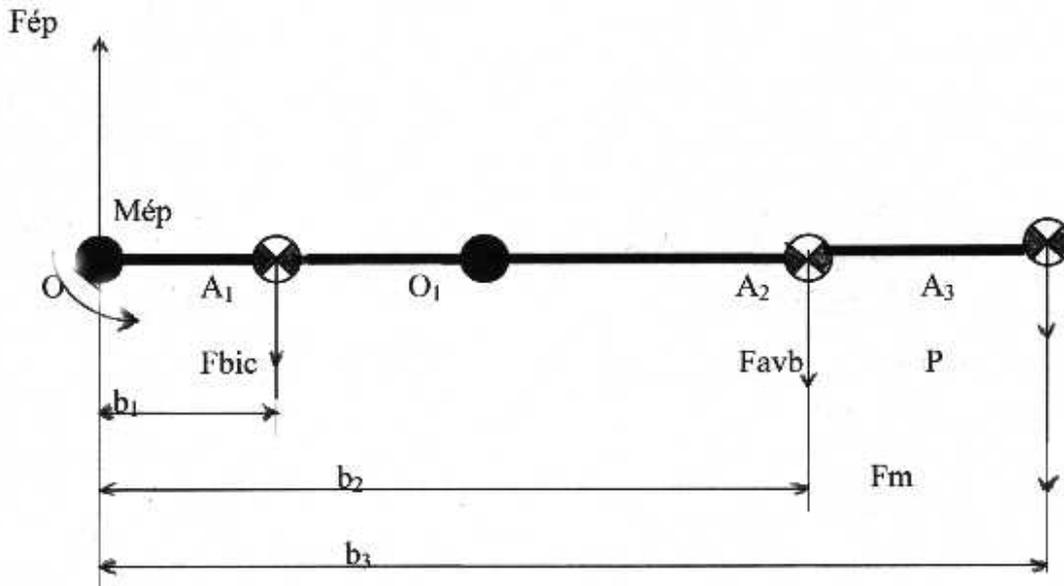


Fig 7.6

On applique le PFS, on obtient :

$$\sum F_{ext} = 0 \Leftrightarrow F_{\acute{e}p} - F_{bic} - F_{avb} - (F_m + P) = 0$$

$$\sum MF_{ext/O} = 0 \Leftrightarrow M_{\acute{e}p} - F_{bic} \times b_1 - F_{avb} \times b_3 - F_m \times b_4 - P \times d \times b_4 = 0$$

$$F_{bic} = 2,1 \text{ kg} \times 9,8 = 20,6 \text{ N}$$

En utilisant , on obtient:

$$b_1 = ( 44\% \text{ de } 32,4 \text{ cm} ) = 14,256 \text{ cm}$$

$$b_2 = 32,4 \text{ cm} + ( 43\% \text{ de } 25,4 \text{ cm} ) \times \cos 45^\circ = 43,32 \text{ cm}$$

$$b_3 = 32,4 \text{ cm} + 36,5 \text{ cm} = 68,9 \text{ cm}$$

$$F_{\acute{e}p} = 20,6 + 14,7 + 3,92 + 50 = 89,22 \text{ N}$$

$$M_{\acute{e}p} = 20,6 \times 14,25 + 14,7 \times 43,32 + 3,92 \times 68,9 + 50 \times 68,9 = 46,46 \text{ Nm}$$

$F_{\acute{e}p} = 89,22 \text{ N}$
------------------------------------

et

$M_{\acute{e}p} = 46,46 \text{ Nm}$
-------------------------------------

#### 7.1.4. Modèle statique simple multi - segments

##### Application IV :

On se propose de déterminer la force et le moment de force au niveau de la hanche d'un travailleur ( homme moyen de 50% ) au cours de soulèvement d'une charge de 100 N avec les deux bras dont chacun soulève la moitié du ce poids, fig (7.7)

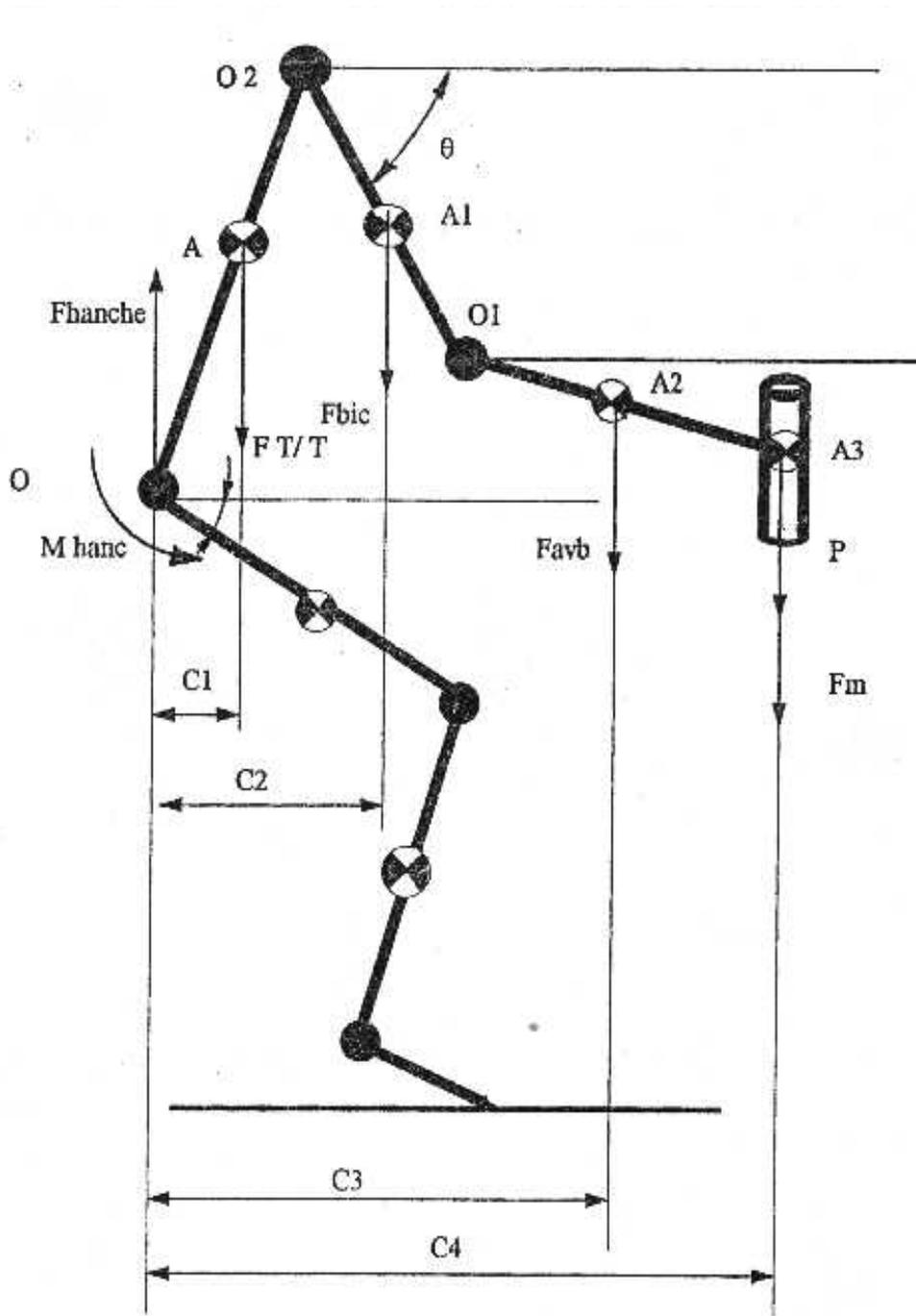


Fig 7.7

On applique le PFS, on obtient :

$$\sum F_{ext} = 0 \Leftrightarrow F_{hanc} - (F_{T/T} + F_{bic D} + F_{bic G} + F_{avb D} + F_{avb G} + F_{m D} + F_{m G} + P) = 0$$

On note que :  $F_{t\hat{e}te/tronc} = 43,4 \times 9,8 \text{ kg} = 425,3 \text{ N}$

$$F_{hanc} = 425,3 + 2 \times 20,6 + 2 \times 14,7 + 2 \times 3,92 + 100 = 603,74 \text{ N}$$

D'où : 
$$\mathbf{F_{hanc} = 603,74 \text{ N}}$$

$$\sum M_{F_{ext}} / O = 0 \quad \Leftrightarrow$$

$$M_{hanc} - (F_{T/T} \times C_1 + 2 F_{bic} \times C_2 + 2 F_{avb} \times C_3 + 2 F_m \times C_4 + P \times C_4) = 0$$

Avec :

$$2 F_{bic} = F_{bic} \text{ droit} + F_{bicep} \text{ gauche}$$

$$2 F_{avb} = F_{avb} \text{ droit} + F_{avb} \text{ gauche}$$

$$2 F_m = F_m \text{ droit} + F_m \text{ gauche.}$$

$$F_{T/T} (F \text{ tête / tronc}) = 43,4 \times 9,8 = 425,3 \text{ N}$$

$$C_1 = (40\% \text{ de } 81,8 \text{ cm}) \times \cos 30^\circ = 28,336 \text{ cm}$$

$$C_2 = 50,1 \text{ cm} \times \cos 30^\circ = 43,38 \text{ cm}$$

$$C_3 = 43,4 \text{ cm} + (43\% \text{ de } 25,4 \text{ cm}) \times \cos 45^\circ = 51,123 \text{ cm}$$

$$C_4 = 43,4 \text{ cm} + 36,5 \text{ cm} \times \cos 45^\circ = 69,2 \text{ cm}$$

$$M_{hanc} = 425,3 \times 28,336 + 2 \times 20,6 \times 43,38 + 2 \times 14,7 \times 51,123 + 2 \times 3,92 \times 69,2 + 100 \times 69,2$$

$$= 228,08 \text{ Nm}$$

D'où 
$$\mathbf{M_{hanc} = 228 \text{ Nm}}$$

**Remarque :**

Le moment résultant au niveau de l'articulation de chacune des hanches est de 114 Nm, cette valeur assure une posture symétrique.

### *Moment maximum ( cas d'une population de travailleurs )*

L'utilisation des données obtenues dans les travaux de Stobbe, permettant d'une part de déterminer le moment maximum au niveau des principales articulations du corps dans le cas d'une population des travailleurs, mais d'autre part de déterminer le pourcentage de la population capable de fournir un moment de force résultant tel que calculé dans les exemples précédents.

Les équations de prédiction des moments maximum sont illustrées dans le tableau 7.4

Tableau 7.4

Articulation	Prédiction du moment de force maximum ( valeur moyenne ) en Nm	Ajustement pour le sexe(G)		coefficient de variation ( écart - moyen )	
		Homme	Femme	Homme	Femme
Coude ( flexion )	$M_{coude} = [ 336,29 + 1,544 \alpha_{coude} - 0,008 \alpha_{coude}^2 - 0,5 \alpha_{coude} ] [ G ]$ [7.1]	0,1913	0,1005	0,2458	0,2629
Coude ( extension )	$- M_{coude} = [ 264,153 + 0,57 \alpha_{coude} - 0,425 \alpha_{coude}^2 ] [ G ]$ [7.2]	0,2126	0,1153	0,2013	0,3227
Epaule ( flexion )	$M_{epaule} = [ 227,338 + 0,525 \alpha_{epaule} - 0,296 \alpha_{epaule}^2 ] [ G ]$ [7.3]	0,2845	0,1495	0,2311	0,2634
Epaule ( extension )	$- M_{epaule} = [ 204,562 - 0,099 \alpha_{epaule} ] [ G ]$ [7.4]	0,4957	0,2485	0,3132	0,3820
Tronc ( flexion ), assis	$- M_{tronc/assis} = [ 141,179 + 3,694 \alpha_{tronc} ] [ G ]$ [7.5]	0,2796	0,1654	0,2932	0,3965
Tronc ( extension ), assis	$M_{tronc/assis} = [ 3365,123 - 23,947 \alpha_{tronc} ] [ G ]$ [7.6]	0,3381	0,1890	0,3152	0,3455
Tronc ( flexion ), debout	$- M_{tronc/debout} = [ 17,17 \alpha_{tronc} - 0,079 \alpha_{tronc}^2 ] [ G ]$ [7.7]	0,2146	0,1129	0,2939	0,3962
Tronc ( extension ), debout	$M_{tronc/debout} = [ 3895 - 13,9 \alpha_{tronc} ] [ G ]$ [7.8]	0,1559	0,1016	0,3152	0,3455
Hanche ( flexion )	$M_{hanche} = [ - 820,21 + 34,29 \alpha_{hanche} - 0,11426 \alpha_{hanche}^2 ] [ G ]$ [7.9]	0,1504	0,0871	0,2729	0,3364
Hanche ( extension )	$- M_{hanche} = [ 3338,1 + 15,71 \alpha_{hanche} - 0,04626 \alpha_{hanche}^2 ] [ G ]$ [7.10]	0,0977	0,0516	0,4016	0,3779
Genou ( flexion )	$M_{genou} = [ - 94,437 + 6,3672 \alpha_{genou} ] [ G ]$ [7.11]	0,1429	0,0851	0,2934	0,3212
Genou ( extension )	$M_{genou} = [ 1091,9 - 0,0996 \alpha_{genou} + 0,17308 \alpha_{genou}^2 - 0,00097 \alpha_{genou}^3 ] [ G ]$ [7.12]	0,0898	0,0603	0,3503	0,3466
Cheville ( extension )	$M_{cheville} = [ 3356,8 - 18,4 \alpha_{cheville} ] [ G ]$ [7.13]	0,0816	0,0489	0,3307	0,2745

Les équations de prédiction donnent le moment de maximum moyen de la population en Nm. Pour obtenir la prédiction pour la population homme ou femme, il suffit de multiplier le

résultat de l'équation par le facteur d'ajustement pour le sexe (G). Par ailleurs, l'écart-type de la population homme ou femme le résultat de l'équation par le coefficient de variation; rappelons qu'un coefficient de variation est le ratio de l'écart type sur la moyenne.

La position relative des angles «  $\alpha$  » est obtenue en utilisant la fig ( 7.8 ).

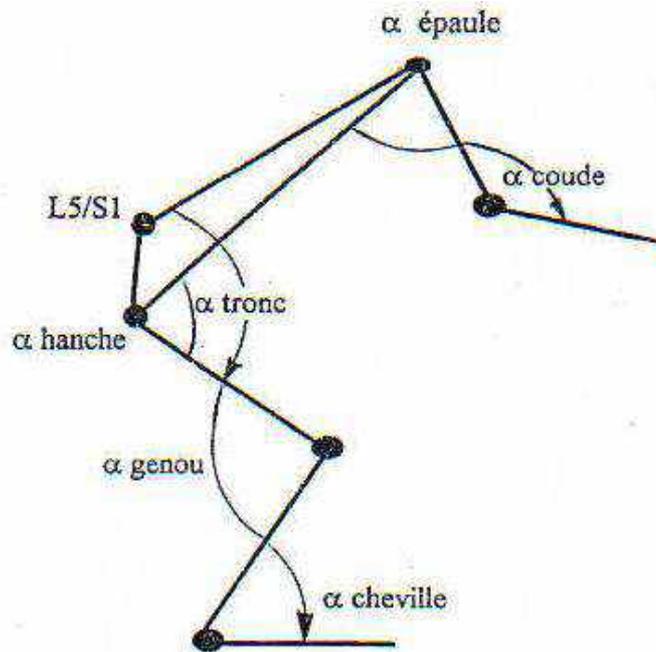


Fig 7.8

Application V :

**Prenant l'exemple de la fig (7.7) et les valeurs trouvées pour  $F_{hanc} = 603,75 \text{ N}$  et  $M_{hanc} = 228 \text{ Nm}$ . On se propose de déterminer quelles sont les proportions de la population « femme » qui peuvent produire ce moment résultant .**

En utilisant l'équation (7.10) du moment maximum moyen de la hanche en extension avec l'angle  $\alpha_{hanche} = 60^\circ$  ( angle entre la cuisse et l'horizontal ).

$$M_{hanche} = [ 3338,1 + 15,71\alpha_{hanche} - 0,04626.\alpha_{hanche}^2 ] [ G ]$$

$$M_{hanche} = [ 3338,1 + 15,71( 60^\circ ) - 0,04626 ( 60^\circ )^2 ] [ G ]$$

$$M_{hanche} = [ 4114,164 ] [ G ]$$

$$M_{hanche} = [ 4114,164 ] [ 0,0516 ]$$

Le moment résultant obtenu est :

$$M_{\text{hanche}} = 212,29 \text{ Nm}$$

C'est une valeur moyenne que les femmes peuvent la développer.

En déterminant l'écart-type de la population « femme » :

$$212,29 \text{ Nm} \times \text{coefficient de variation} = 212,29 \times 0,3779 = 80,22 \text{ Nm}$$

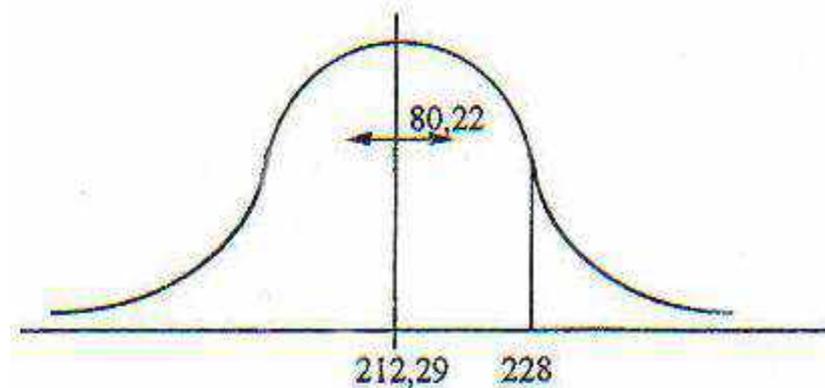


Fig 7.9

### Conclusion

**En utilisant la table de la loi normale centrée réduite, on obtient que plus de 97% de la population « femme » peut fournir un moment de force supérieur à 228 Nm. Vue que la majorité de la population « femme » peut produire un tel moment de force, nous pouvons conclure que la charge soulevée dans une position présentée est acceptable et le risque de développer une atteinte musculosquelettique dans cette région est relativement faible.**

#### 7.1.5. Modèle statique multi-segments à deux dimensions

On présentera un modèle biomécanique du corps humain élaboré par Chaffin faisant l'objet d'une étude statique bidimensionnel à sept maillons : « segment de droite entre deux

articulations » et six articulations « cheville, genou, hanche, disque intervertébral L<sub>5</sub> / S<sub>1</sub> , épaule, coude » permettant d'évaluer la force de compression au niveau de L<sub>5</sub> / S<sub>1</sub> et les moments résultants aux différentes articulations.

**Présentation du modèle de Chaffin.**

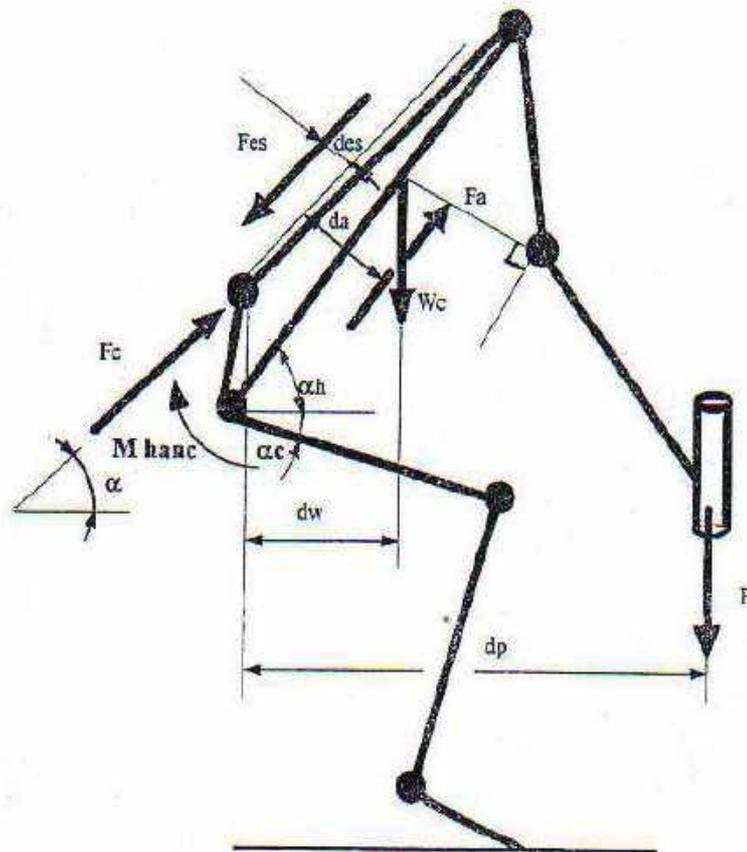


Fig 7.10

**Le modèle développé par Chaffin est représenté à la fig (7.10 ) par contre l'équation du modèle a la forme suivante:**

$$\sum M_{L5/S1} = - ( dw \times Wc ) - ( dp \times P ) + ( da \times Fa ) + ( des \times Fes ) = 0$$

$$F_{es} = \frac{(dw \times Wc) + (dp \times P) - (da \times Fa)}{d_{es}} \quad (7.14)$$

où :

$F_{es}$  : force effective des Erector Spinae en N;

$F_a$  : force effective donnant naissance à une pression abdominale en N;

$F_c$  : force de compression au niveau se  $L_5 / S_1$  en N;

$P$  : poids de la charge en N;

$W_c$  : masses du corps en N;

$d_a$  : distance entre  $F_a$  et la ligne d'action de  $F_c$ , en m;

$d_{es}$  : distance entre  $F_{es}$  et la ligne d'action de  $F_c$ , en m;

$d_p$  : distance entre  $P$  et l'axe passant par  $L_5 / S_1$ , en m;

$P_a$  : pression intra-abdominale en mmHg

$\theta_h$  : angle : hanche en degré;

$\theta_c$  : angle : hanche en degré;

$\alpha$  : angle faisant  $F_c$  avec l'horizontal, en degré ( angle entre la vertèbre et le sacrum ).

**La pression intra-abdominale a l'expression suivante:**

$$P_a = 10^{-4} [ 43 - 0,36 x ( \theta_h + \theta_c ) ] x [ M_h^{1,8} ] \quad (7.15)$$

$d_{es} \approx 5 \text{ cm}$

$d_a$  : varie avec le sinus de l'angle  $\theta_h$ , par contre :  $d_a = 15 - 8 \sin \theta_h$  (7.16)

**La force abdominale est :**

$$\begin{aligned} F_a &= P_a \times \text{surface du diafragme} \\ F_a &= P_a \times 6,199 \end{aligned} \quad (7.17)$$

**La force de compression :**

$$F_c = F_{es} - F_a + W_c \cdot \sin \alpha + P \cdot \sin \alpha \quad (7.18)$$

Détermination de l'angle  $\alpha$

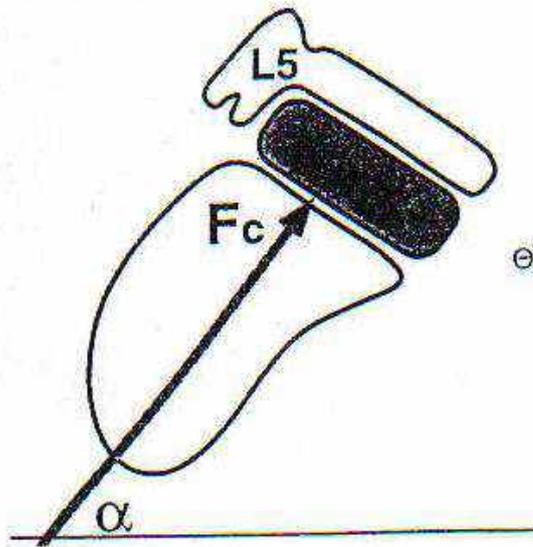
$\alpha$  : représente l'angle formé entre la force de compression  $F_c$  au niveau du disque  $L_5/S_1$  et l'horizontal, fig ( 7.11 ), au repos sa valeur est égale à  $50^\circ$ .

L'angle varie en fonction des angles  $\theta_h$  et  $\theta_c$ . Cette variation est exprimée en fonction de l'angle  $\beta$ , fig ( 7.12 ).

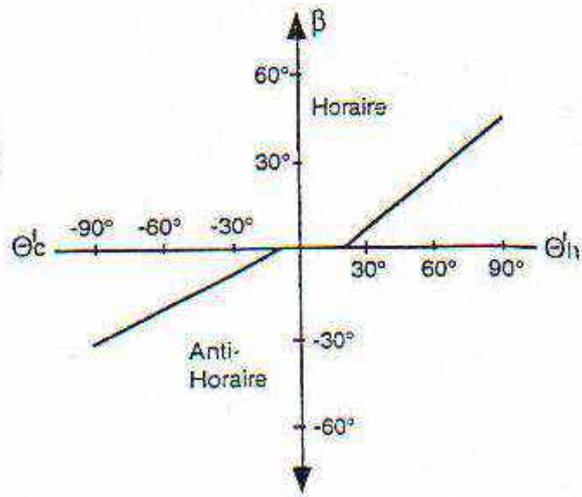
$$\alpha = 50^\circ + \beta \quad (7.19)$$

Le graphe illustré à la fig ( 7.12 ), permet de déterminer l'angle  $\alpha$  en fonction de la valeur ( $\beta$ ), des angles  $\theta_h$  et  $\theta_c$ . Ces angles sont déterminés comme suit:

$$\theta'_c = 90^\circ - \theta_c \quad \text{et} \quad \theta'_h = 90^\circ - \theta_h \quad (7.20)$$



**Fig 7.11**



**Fig 7.12**

**Détermination du moment résultant au niveau de l'articulation de la hanche**

Tenant compte de la posture représentée à la fig ( 7.13 ), la détermination du moment au niveau de  $L_5 / S_1$  se fait de la même façon que précédemment, on obtient :

$$M_{hanc} = ( W_{main} + W_{charge} ) \times d_p + W_{avb} \times d_{avb} + W_{bic} \times d_{bic} + W_{T/T} \times d_{T/T}$$

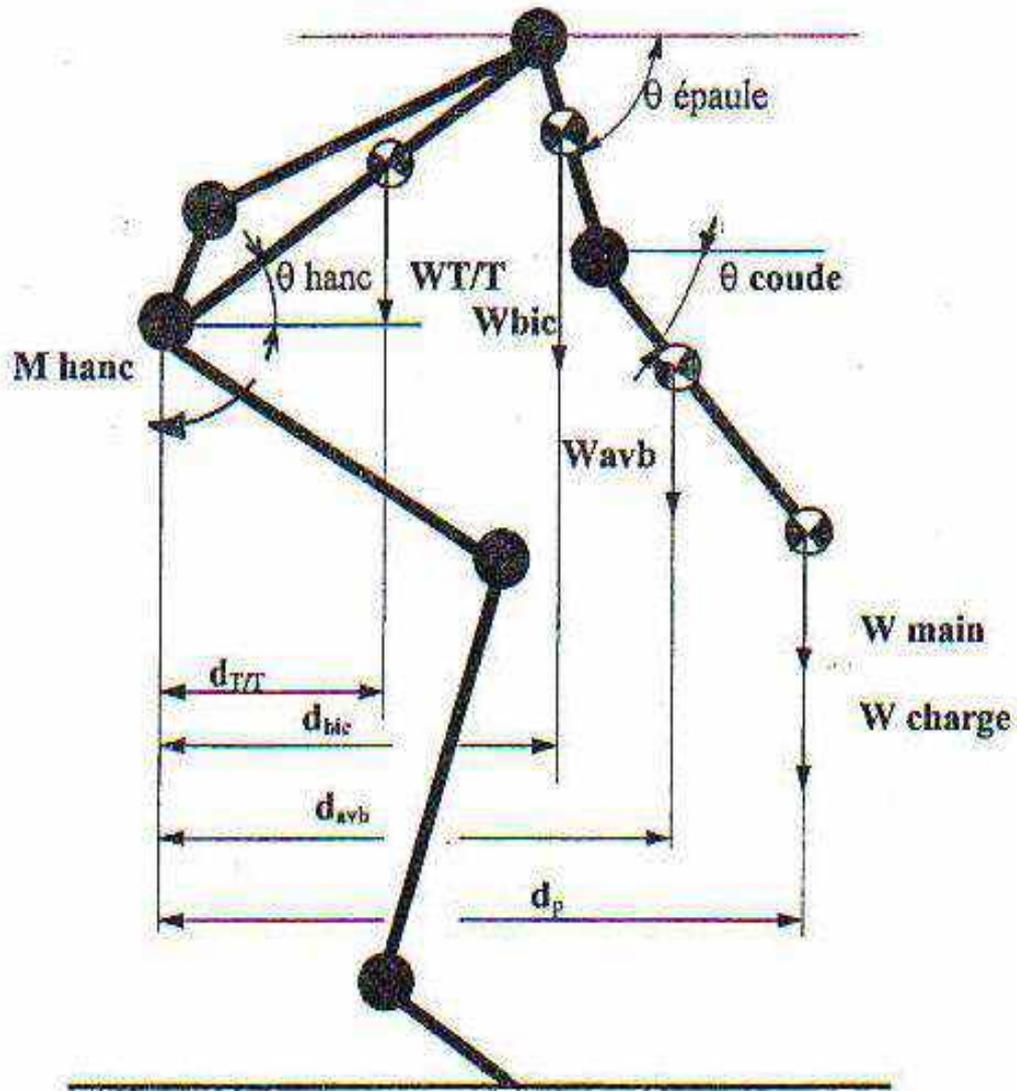


Fig 7.13

**Application. VI.**

Lors de soulèvement d'une charge  $P = 450 \text{ kg}$  par une personne de  $35 \text{ Kg}$ , le moment enregistré au niveau de la hanche est de  $200 \text{ Nm}$ . Déterminer la force de compression intra-abdomale et la force musculaire et la force de compression sur  $L_5/S_1$ , sachant que les distances  $d_p = 0,3 \text{ m}$  et  $d_w = 0,2 \text{ m}$  et les angles  $\theta_h = 30^\circ$  et  $\theta_c = 40^\circ$ .

**Résolution**

En utilisant la relation (7.15), la pression intra-abdominale est:

$$Pa = 10^{-4} [ 43 - 0,36 \times ( 30^\circ + 40^\circ ) ] \times [ 200^{1,8} ] = 24 \text{ mm Hg}$$

En utilisant la relation (7.17), la force de compression intra-abdominale est :

$$Fa = 24 \times 6,199 = 148 \text{ N}$$

La distance ( $d_a$ ) entre  $F_a$  et la ligne d'action de  $F_c$  sera calculée en utilisant la relation (7.16):

$$da = 15 - 8 \sin 30^\circ = 0,11 \text{ m}$$

La force effective des Erector Spinae (  $F_{es}$  ) est:

$$F_{es} = \frac{0,20 \times 350 + 0,30 \times 450 - 0,11 \times 148}{0,05} = 3774 \text{ N}$$

La Force de compression sur  $L_5 / S_1$  sera déterminée en utilisant la relation (7.18 ) sous la forme:

$$F_c = F_{es} - F_a + W_c \cdot \sin \alpha + P \cdot \sin \alpha$$

- détermination de l'angle  $\alpha$  (voir figure 7.14)

$$\theta'_c = 90^\circ - \theta_c = 90^\circ - 40^\circ = 50^\circ$$

$$\theta'_h = 90^\circ - \theta_h = 90^\circ - 30^\circ = 60^\circ$$

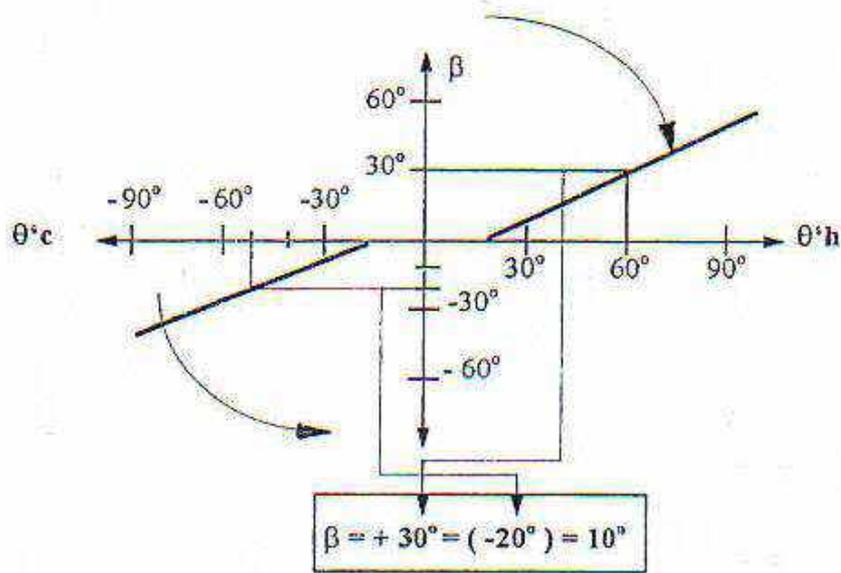


Fig 7.14

En utilisant la relation (7.19 ), on obtient:

$$\alpha = 50^\circ + (+ 10^\circ) = 60^\circ$$

D'où

$$F_c = 3774 - 148 + 350 \sin 60^\circ + 450 \sin 60^\circ = 4319 \text{ N}$$

**Conclusion:**

La valeur trouvée de la force de compression dépasse la valeur limite de la force de Erector- Spinae  $F_c > F_{es}$  ( 4319 > 3774 ).

### 7.1.6. Critères de conception biomécanique

#### *Moment de force au niveau des articulations*

Il est possible, grâce entre autres aux travaux de Stobbe (1982), de déterminer le moment de force maximum moyen au niveau de chacune des principales articulations pour des populations de travailleurs des deux (2) sexes. De plus, Asmussen et ses collaborateurs (cité dans Ayoud et Mital, 1989) ont recommandé des charges limites correspondantes à 40% de la force maximale isométrique du dos ; ce critère pouvant à notre avis être généralisé à l'ensemble des articulations du corps.

Ainsi, on peut admettre que :

---

**Le moment de force au niveau des articulations ne devrait pas dépasser 40% de la valeur maximale déterminée à partir des équations de Stobbe pour 75% de la population homme et 99% de la population femme.**

---

#### *Force de compression au niveau du disque intervertébral L5/S1*

Un autre critère biomécanique est la force de compression au niveau du disque intervertébral L5/S1. La limite à laquelle cette force de compression est jugée inacceptable est fixée à 6400 N. La limite d'action, soit la limite à partir de laquelle l'emploi de mesures administratives et/ou la conception sont recommandés, est fixé à 3400 N (NIOSH, 1981).

Ainsi, on admettra que :

---

**La force maximale de compression au niveau du disque intervertébral L5/S1 ne devrait jamais dépasser 6400N. De plus, des modifications devraient être apportées au travail si cette force dépasse 3400 N.**

---

#### **7.1.7. Logiciels disponibles en biomécanique**

A la lecture de cette section sur la biomécanique, le lecteur notera que l'évaluation biomécanique d'une tâche peut devenir assez laborieuse, surtout si plus d'une posture doit faire l'objet d'une évaluation. Pour simplifier les analyses, il est préférable d'utiliser un logiciel. Les logiciels suivants permettent de procéder à une évaluation biomécanique d'une tâche suivant l'approche décrite dans cette section.

#### **7.1.8. Observations sur les critères biomécaniques de conception**

Les critères biomécaniques de conception sont basés sur l'hypothèse voulant que le disque compris entre les vertèbres L5 et S1 représente le site où le stress biomécanique est le plus important et par conséquent, l'endroit le plus vulnérable au point de vue d'une atteinte musculosquelettique de base.

Les données actuelles sur la force de compression maximale ont été recueillies à partir d'études effectuées sur des cadavres humains. Malgré les limites de ces études (les études in-vivo étant actuellement impossible), les données ont tout de même permis de spécifier les critères biomécaniques de conception. On admet, de façon générale que la force maximum de compression à ne jamais dépasser se situe aux alentours de 6400N. Par ailleurs, on considère qu'une force de compression inférieure à 3400N, réduit d'une manière appréciable le risque de développer une atteinte musculosquelettique. De plus, des études montrent une réduction appréciable dans l'incidence des lombalgies pour des valeurs inférieures à 3400N (NIOSH, 1991). Certains auteurs ont récemment proposé que la limite soit portée à 2500N. Dans une

révision en profondeur de son « manual lifting guide », NIOSH a convenu de maintenir le critère de 3400N comme étant la limite à partir de laquelle on devrait procéder à une modification du poste ou de la tâche.

## 7.2. NIOSH Lifting Guide (1981 & 1991)

Comme nous pouvons le constater, plusieurs modèles différents s'offrent à l'ergonome pour effectuer l'évaluation du travail physique. Qu'il soit issu des approches physiologique, biomécanique ou psychophysique, chacun présente des avantages et des désavantages particuliers et ne sont applicables que dans des conditions particulières d'analyse et de situation de travail (fréquence faible via l'approche biomécanique et fréquence élevée via l'approche physiologique). Ces modèles sont complémentaires à plusieurs niveaux et on ne s'aurait privilégier l'un plutôt qu'un autre. Par exemple, l'évaluation d'une tâche qui consiste à lever une charge très lourde deux (2) fois par jour aboutit à des conclusions différentes qu'on l'aborde suivant une approche biomécanique ou physiologique. Dans cet exemple, l'approche physiologique pourrait nous amener à conclure que la tâche est acceptable au niveau du coût énergétique, tandis que l'analyse de la force de compression résultante au niveau du disque intervertébral L5/S1 nous forcerait à conclure l'inverse, cette dernière conclusion étant de toute évidence celle devant être retenue. A l'inverse, l'évaluation d'une tâche nécessitant des levers très répétitifs de charges légères pourrait nous amener à conclure que la tâche est acceptable au niveau biomécanique ou inacceptable au niveau physiologique. Ces exemples illustrent bien la nécessité de pouvoir intégrer l'ensemble de ces approches.

C'est dans cette optique que le NIOSH a proposé en 1981 un outil d'évaluation de la charge de travail basé sur l'intégration des approches physiologique, psychophysique et biomécanique. Cet outil se nomme le « **NIOSH Lifting guide** ». Nous décrivons dans cette section le mode d'utilisation de cette technique ainsi que la révision 1991 de cet outil.

### 7.2.1. Définition

Dans ce guide une tâche de manutention est définie comme étant l'action de saisir et de lever un objet d'une dimension donnée sans aucune assistance mécanique. La durée de cette action est habituellement moins de deux (2) secondes.

### 7.2.2. Conditions d'application du guide

Avant appliquer le **NIOSH lifting guide**, il faut s'assurer que la tâche qui fait l'objet d'une évaluation respecte toutes les conditions d'application du guide. Si l'une des conditions n'est pas respectée, alors il ne sera pas possible d'appliquer le guide et/ou d'interpréter les résultats. Ces conditions sont les suivantes :

1. Lever en douceur
2. Lever des 2 mains dans le plan sagittal
3. Largeur modérée des charges (<75cm)
4. Aucune restriction lors de levée
5. Conditions ambiantes favorables

De plus, on assume que les activités suivantes sont minimales : maintenir, transporter, pousser ou tirer. L'individu est supposé au repos lorsqu'il n'effectue pas de manutention. La population est en bonne condition physique et accoutumée au travail physique.

### 7.2.3. Modèle

Le guide se résume à l'application de deux (2) équations, lesquelles permettent de déterminer le poids maximum de la charge pouvant être manutentionnée dans des conditions précises. Les conditions ou paramètres utilisés pour estimer ce poids maximum sont : la distance horizontale de la charge par rapport à la ligne médiane du corps (position horizontale); la hauteur de la charge à l'origine du mouvement (position verticale); la distance verticale de déplacement de la charge de l'origine du mouvement à la destination (distance verticale de transport) et enfin, la fréquence moyenne des levers par minute (fréquence des levers). Les équations de base sont les suivantes :

$$AL = 40 \left( \frac{15}{H} \right) \cdot (1 - 0.004 |V - 75|) \cdot \left( 0.7 + \frac{7.5}{D} \right) \cdot \left( 1 - \frac{F}{F_{\max}} \right) \quad (7.21)$$

$$MLP = 3(AL) \quad (7.22)$$

Les unités de chacun des paramètres des équations sont les suivants (voir aussi la figure de la page suivante) :

AL	= limite d'action (Kg)
MPL	= limite maximale permise (Kg)
H	= position horizontale (cm) (origine)
V	= position verticale (cm) (origine)
D	= distance verticale parcourue par la charge (cm) (destination – origine)
F	= fréquence des levers (lever/minute)
F <sub>max</sub>	= fréquence max. pouvant être maintenue

Où F<sub>max</sub> est déterminée comme suit :

	Période	V > 75 cm	V ≤ 75 cm
<b>Occasionnel</b>	>1 heure	18	15
<b>Continu</b>	1 à 8 heures	15	12

Nous verrons plus loin que la valeur AL (limite d'action) représente la limite à partir de laquelle nous devons procéder à une modification du poste de travail. De plus, le résultat de la deuxième équation donne la limite du poids maximum (MPL) à ne jamais dépasser. Lors de l'évaluation d'un poste de travail, l'objectif sera donc de maintenir le poids de la charge manutentionnée sous la valeur de la limite d'action (AL), fig(7.15).

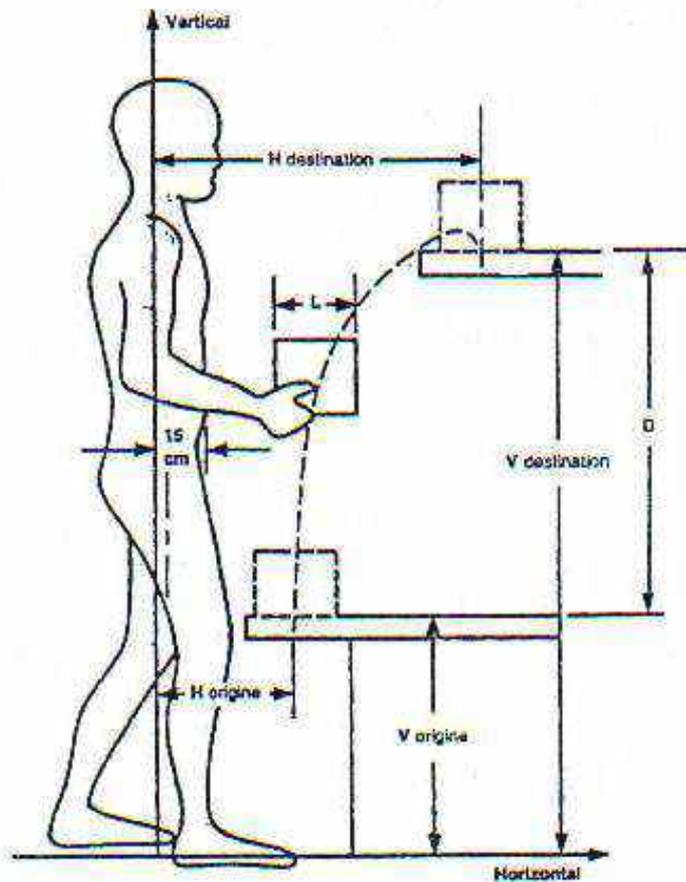


Fig 7.15

Lorsqu'on applique le guide, il peut parfois être difficile d'estimer avec précision la valeur du paramètre H. Pour contourner cette difficulté, il est possible de l'approcher à partir de l'équation suivante :

$$H = \left( \frac{L}{2} + 15 \right) \quad (7.23)$$

où 15cm est la distance entre la surface de l'abdomen et la ligne médian du corps, fig(7.16).

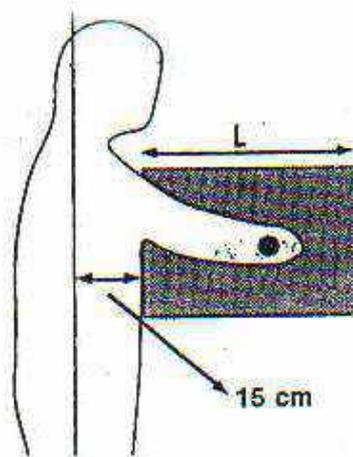


Fig 7.16

L'équation précédente n'est pas applicable dans deux (2) situations :

1. Lorsqu'un obstacle est placé entre la charge (à l'origine) et les pieds du travailleur, alors la valeur du paramètre H devient la distance réelle mesurée entre le centre de la charge à l'origine et la ligne médiane du corps (sur la fig(7.17),  $H = 60\text{cm}$ ).

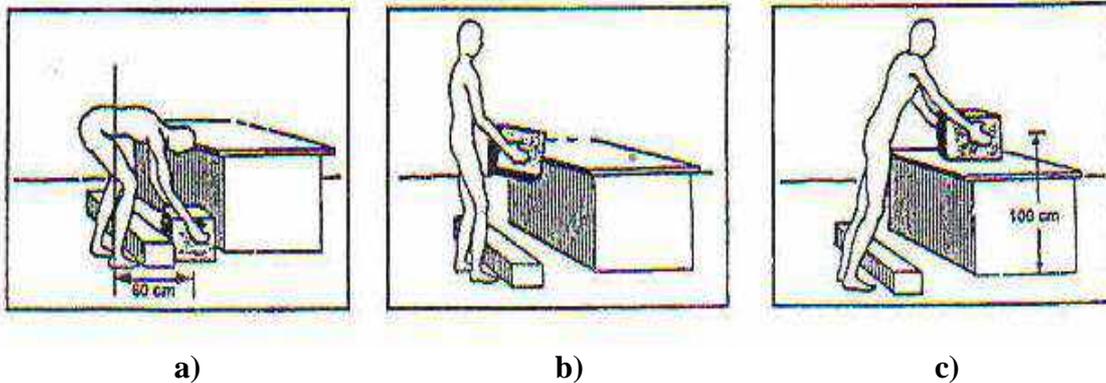


Fig 7.17

2. Lorsqu'à la destination, la charge est déposée en douceur (sans transfert de momentum), alors la valeur du paramètre H devient la distance réelle mesurée entre le centre de la charge à la destination et la ligne médiane du corps ( $H_{\text{destination}}$ ) (sur la fig(7.18),  $H = 60\text{cm}$ ).

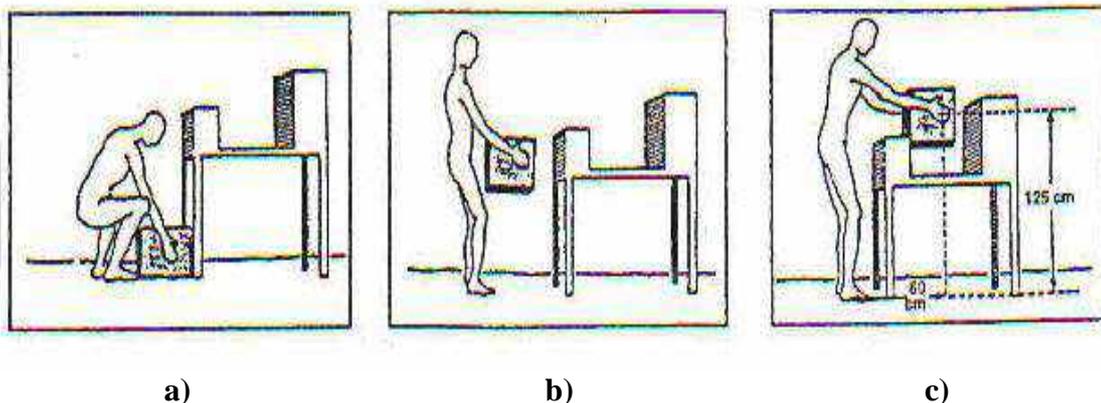


Fig 7.18

#### 7.2.4. Limites inférieures et supérieures des paramètres

**En plus des conditions d'application du guide énumérées précédemment, il faut aussi s'assurer que les valeurs des**

## paramètres se situent entre les bornes inférieures et supérieures suivantes :

H = entre 15 cm et 80 cm

V = entre 0 cm et 175 cm

D = entre 25 cm et  $(200 - V)$  cm (si  $D < 25$ cm : poser  $D = 25$ cm)

F = entre 0.2 (1 lever/5 min) et  $F_{max}$  (si  $F < 0.2$  : poser  $F=0$ )

### 7.2.5. Critères du guide

Puisque le guide est basé sur les approches physiologique, psychophysique et biomécanique, on en déduit que les valeurs AL et MPL correspondent aux critères de conception issus de ces approches. Ainsi,

#### MPL

- Taux d'incidence et de gravité des blessures musculosquelettiques augmentent significativement dans la population.
- $F_c > 6400N$
- Dépense énergétique  $> 5$  Kcal/min ( $\cong 33\% VO_{2max}$ )
- Seulement 25% des hommes et  $< 1\%$  des femmes peuvent effectuer le travail d'une façon sécuritaire.

#### AL

- Taux d'incidence et de gravité des musculosquelettiques augmentent d'une façon modérée.
- $F_c > 3400N$
- Dépense énergétique  $> 3.5$  Kcal/min.
- 75% des femmes et  $> 99\%$  des hommes peuvent effectuer le travail d'une façon sécuritaire.

L'interprétation des résultats s'effectue de la façon suivante :

#### i. Si la charge $> MPL$

Contrôles de type ingénierie (modification du poste de travail)

#### ii. Si $AL < Charge < MPL$

Contrôles administratifs (sélection ou entraînement) ou de type ingénierie

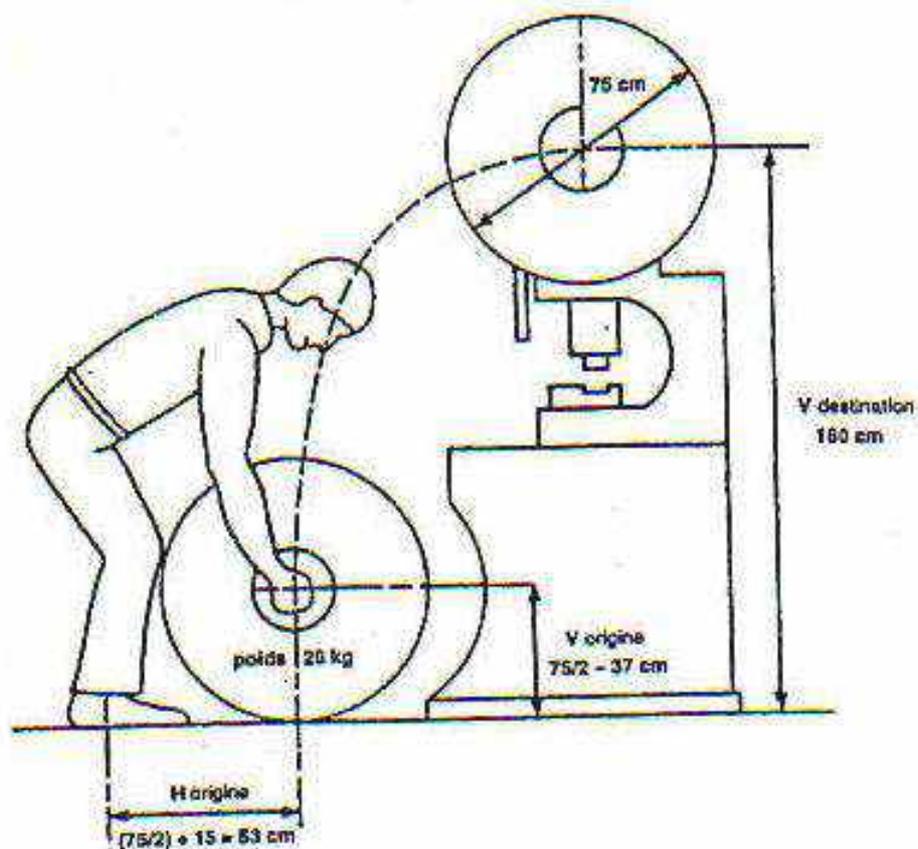
#### iii. Si la charge $< AL$

Situation représentant un risque minimal pour la plupart des travailleurs

**Application VII :**

Un opérateur de machines « Poinçon/matrice » manipule des petites pièces. Une fois par jour, il doit réalimenter sa machine en matière première. Celle-ci est constituée d'un rouleau d'acier de 75 cm de diamètre qui pèse 20Kg, fig (7.19).

Ce travail est-il acceptable ?



**Fig 7.19 Principaux paramètres de la tâche**

$$\text{Facteur H} \Rightarrow 15/H = 15/83 = 0.28$$

$$\text{Facteur V} \Rightarrow 1 - 0.004 |V - 75| = 1 - 0.004 |37 - 75| = 0.85$$

$$\text{Facteur D} \Rightarrow 0.7 + [7.5 / D] = 0.7 + [7.5 / (160 - 37)] = 0.76$$

$$\text{Facteur F} \Rightarrow 1 - F/F_{\max} = 1 - 0/15 = 1.0$$

$$AL = 40 \left( \frac{15}{H} \right) \left( 1 - 0.004 |V - 75| \right) \left( 0.7 + \frac{7.5}{D} \right) \left( 1 - \frac{F}{F_{\max}} \right)$$

$$AL = 40 (0.28) (0.76) (0.85) (1.0) = 7.2 \text{ Kg}$$

$$MPL = 3 (AL) = 3 (7.2) = 21.6 \text{ Kg}$$

Ainsi, le poids de la charge (20 Kg) se situe entre le AL (7.2 Kg) et le MPL (21.6Kg). On recommandera donc l'implantation de mesures de correction. Idéalement, le AL aurait dû être plus grand ou égale à 20 Kg.

### 7.2.6. NIOSH 1991

La dernière révision du **NIOSH lifting guide** a permis de modifier considérablement le modèle proposé en 1981. Deux modifications importantes retiennent notre attention ; l'introduction d'un paramètre **A** permettant de tenir compte d'une levée asymétrique (torsion) et d'un facteur **FC** tenant compte du type de couplage entre la charge et le travailleur (avec ou sans poignées). De plus, le facteur **FF** (fréquence des levées) est maintenant déterminé directement à partir d'une table.

Calcul du poids limite recommandé en kg (PLR) :

$$PLR = P \times FH \times FV \times FD \times FA \times FF \times FC \quad (7.24)$$

$$PLR = 23 \cdot \left( \frac{25}{H} \right) \cdot \left( 1 - (0.003 |V - 75|) \right) \cdot \left( 0.82 + \left( \frac{4.5}{D} \right) \right) \cdot [1 - (0.0032 A)] \cdot FF \cdot FC \quad (7.25)$$

P = Constante de poids (523kg)

H = Distance horizontale des mains par rapport au point médian entre les chevilles (cm) (estimation : H = (largeur de la charge + 25cm)).

V = Distance verticale des mains p/r au plancher. Mesurée à l'origine et à la destination du levage (cm)

D = Distance verticale parcourue par la charge (cm) (destination – origine)

A = Angle d'asymétrie – déplacement angulaire de la charge par rapport au plan sagittal. Mesurée à l'origine et à la destination du levage (en degrés).

F = Fréquence moyenne des levages (levage/min).

FH = Facteur pour la distance horizontale

FV = Facteur pour la distance verticale à l'origine

FD = Facteur pour le déplacement vertical

FA = Facteur pour l'asymétrie

FF = Facteur pour la fréquence des levages

FC = Facteur pour le couplage

*Critères utilisés pour développer les équations d'évaluation et de conception des tâches de manutention.*

Tableau 7.5

Approche	Critère de conception	Valeur critique
Biomécanique	Force de compression maximale sur le disque L5/S1	3.4 kN (770 lbs)
Physiologie	Dépense énergétique maximale	2.2-4.7 kcal/min
psychophysique	Poids maximum acceptable	acceptable pour 75% des travailleuses et 99% des travailleurs

Facteur de couplage (FC)

Tableau 7.6

Couplage	V < 75cm	V ≥ 75cm
	Facteur de couplage	
Bon	1.00	1.00
Moyen	0.95	1.00
Pauvre	0.90	0.90

Facteur fréquence (FF)

Tableau 7.7

Fréquence Lever/min.	Durée du travail					
	≤ 1 heures		≤ 2 heures		≤ 8 heures	
	V < 75	V ≥ 75	V < 75	V ≥ 75	V < 75	V ≥ 75
0.2	1.00	1.00	0.92	0.95	0.85	0.85
0.5	0.97	0.97	0.92	0.92	0.81	0.81
1	0.94	0.94	0.88	0.88	0.75	0.75
2	0.91	0.91	0.84	0.84	0.65	0.65
3	0.88	0.88	0.79	0.79	0.55	0.55
4	0.84	0.84	0.72	0.72	0.45	0.45
5	0.80	0.80	0.60	0.60	0.35	0.35
6	0.75	0.75	0.50	0.50	0.27	0.27

7	0.70	0.70	0.42	0.42	0.22	0.22
8	0.60	0.60	0.35	0.30	0.18	0.18
9	0.52	0.52	0.30	0.26	0.00	0.15
10	0.45	0.45	0.26	0.23	0.00	0.13
11	0.41	0.41	0.00	0.23	0.00	0.00
12	0.37	0.37	0.00	0.21	0.00	0.00
13	0.00	0.34	0.00	0.00	0.00	0.00
14	0.00	0.31	0.00	0.00	0.00	0.00
15	0.00	0.28	0.00	0.00	0.00	0.00
>15	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

### *Limites du modèle*

L'utilisation de l'équation révisée (1991) n'est pas appropriée dans l'une ou l'autre des conditions suivantes :

- ✓ L'équation révisée n'inclut pas de facteur de sécurité permettant de tenir compte de conditions imprédictibles (ex : glissade ou chutes) ou de conditions environnementales non-favorables (ex : température et humidité à l'extérieur des limites suivantes : 19°C – 26°C et 35° - 50%).
- ✓ L'équation assume que les activités suivantes : tenir, pousser, transporter, marcher et grimper sont minimales et qu'elles ne requièrent pas une dépense énergétique significative (et ce, surtout lorsque des tâches impliquant des levers répétitifs sont effectuées).
- ✓ L'équation n'a pas été développée pour tenir compte des tâches suivantes : lever d'une seule main, lever en position assis ou à genoux, lever dans un espace contraignant, lever des personnes, levers dans un environnement extrêmement chaud ou froid, pelleter ou des levers très rapides (ex : levers qui ne peuvent pas être effectués à partir de mouvements lents et graduels).
- ✓ L'équation assume un coefficient de friction statique d'au moins 0.4 (préférentiellement 0.5) entre le plancher et les souliers du travailleur. Un coefficient de 0.4 à 0.5 est comparable à la friction entre un plancher sec (uniforme) et la semelle d'un soulier standard de travail.
- ✓ L'équation assume que les levers et les baissers présentent un risque équivalent de blessure au dos (ex : lever une charge à partir du plancher jusqu'à la hauteur d'une table est équivalent en terme de risque à un baisser à partir de la hauteur de la table jusqu'au plancher). Cette hypothèse peut ne pas être vraie si le travailleur laisse tomber ou guide la charge lors du dépôt au lieu de la baisser continuellement jusqu'au plancher.
- ✓ l'équation n'est qu'un outil de base pour prévenir les risques de blessures au dos. Le lever (ou baisser) n'est qu'un des facteurs responsables des blessures lombaires. Il existe plusieurs autres facteurs, tels : vibrations, positions statiques et assise prolongée.

**Application VIII :**

Un préposé à l'expédition manutentionne des charges de 11 kg à une fréquence de une lever par minute. La durée de la tâche est de 8 heures. Déterminez le poids recommandé et l'indice de manutention.

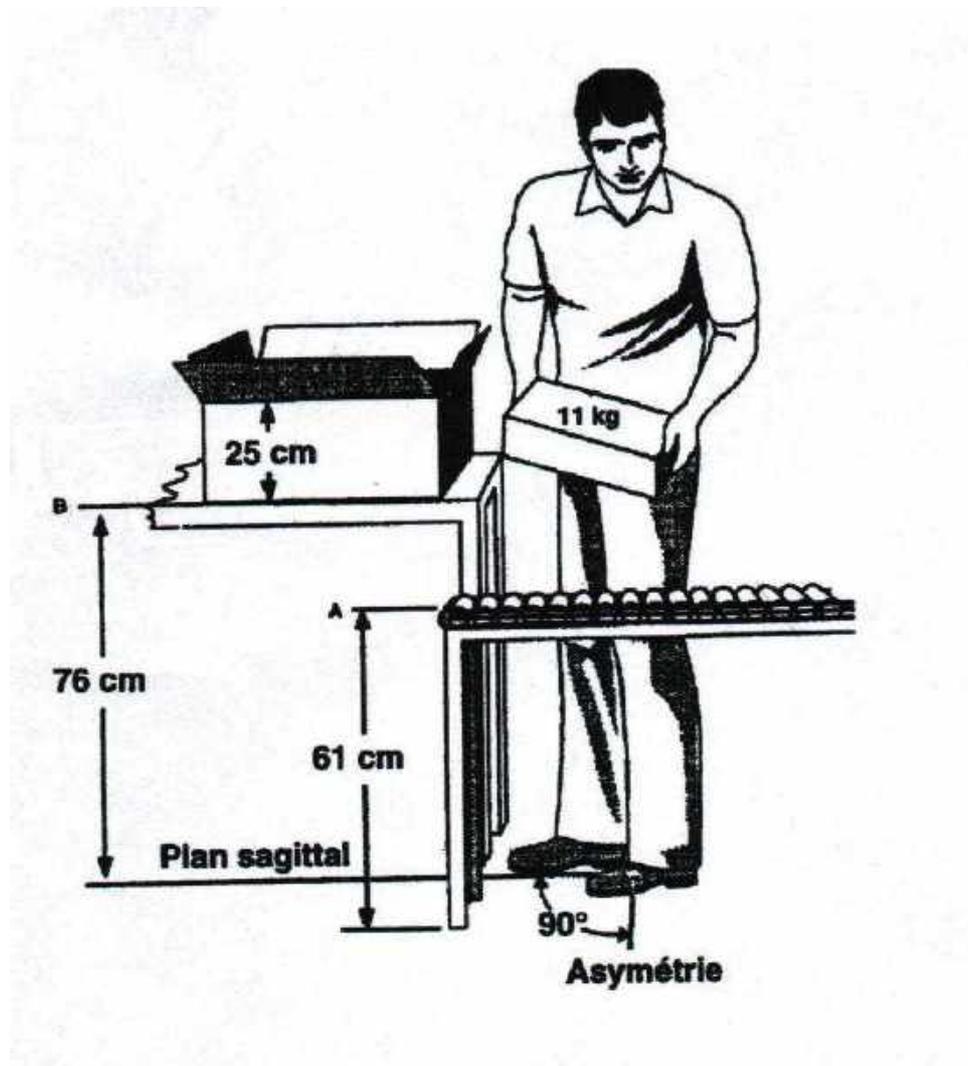


Fig 7.20

	Poids de la charge (kg)	Position mains (cm)		Distance vert.(cm)	Angle d'asymétrie (°)		Fréquence (lever/min)	Durée (hr)	Coupling
		Origine	Destination		Origine	destination			

#	Moy.	Max.	H	V	H	V	D	A	A	F	C
1	11	11	35	61	40	101		90	0	1	8 moyen

Assumez aucun contrôle à la destination

$$PLR = 23 \cdot \left( \frac{25}{H} \right) \cdot (1 - (0,003 | V - 75 | )) \cdot \left( 0,82 + \left( \frac{4.5}{D} \right) \right) \cdot (1 - (0,0032 A \cdot FF \cdot FC$$

$$PLR = 23 \cdot \left( \frac{25}{H} \right) \cdot (1 - (0,003 | 61 - 75 | )) \cdot \left( 0,82 + \left( \frac{4.5}{44} \right) \right) \cdot (1 - (0,0032 (90^\circ)) \cdot 0,75 \cdot 0,95$$

**PLR = 7.3Kg**

L'indice de manutention :

$$\text{Indice de manutention} = \frac{\text{poids actuel}}{\text{poids recommandé}} \tag{7.26}$$

$$\text{Indice de manutention} = \frac{11}{7.3} = 1.5$$

**Conclusion :**

Puisque l'indice de manutention est >1, il faut alors procéder à l'instauration des mesures de contrôle administratives et/ou de type ingénierie. Note : un indice de manutention compris entre 1 et 3 peut être interprété de la même façon qu'une charge comprise entre le AL et le MPL.

### 7.3. Synthèse

Le tableau suivant présente un sommaire des approches d'évaluation ouvertes dans ce module. Ce tableau renseigne sur les mesures directes pouvant être effectuées avec ces approches, les techniques d'estimation ou de prédiction couramment employées ainsi que les critères de conception à utiliser lors de l'évaluation d'un poste de travail. Enfin, nous présentons certaines suggestions pour les conditions d'utilisation des techniques et méthodes présentées dans ce module.

Tableau 7.8

	Approche physiologique	Approche psychophysique	Approche biomécanique	Autre approches
Mesure directe	*calorimétrie indirecte *fréquence cardiaque	*échelle psychophysique	*électromyographie (EMG)	
Techniques d'estimation ou de prédiction	*table de référence *mode empirique de Garg	*table de Snook et Ciriello	*modèle 2D *modèle 3D	*NIOSH Lifting guide
Critère de conception	Dépense énergétique *la dépense énergétique pour un travail effectué en continu sur 8 heures ne devrait pas dépasser 33% du VO2 max.  * <b>NIOSH recommande d'utiliser un VO2 max de</b>	*la charge manutentionnée ou la force appliquée ne devrait pas dépasser la limite acceptable maximum pour 99% des hommes et 75% des femmes (ou 90% de toute la population si on assume qu'il y a autant d'hommes que de femmes dans la population)	*le moment de force au niveau des articulations ne devrait pas dépasser 40% de la valeur maximale déterminée à partir des équations de Stobbe pour 75% de la population homme et 99% de la population femme. *la force maximale de compression au niveau du disque intervertébral L5/S1 ne devrait jamais dépasser 6400N. De plus, des modifications devraient être apportées au travail	NIOSH lifting guide *si la charge > MPL contrôles de type ingénierie (modification du poste de travail) * Si $AL < Charge < AL$ Situation représentant un risque minimal pour la plupart des travailleurs (75% femme et 99% homme)

	<p><b>9.5 kcal/min comme critère de conception (ainsi, 33%M de 9.5 kcal/min donne 3.1 kcal/min).</b></p> <p>*prévoir une alternance travail/repos spécifique lorsque les exigences de la tâche dépasse 50% du VO2 max.</p>		<p>si cette force dépasse 3400N/</p>	
--	--	--	--------------------------------------	--

Suite du Tableau 7.8

	Approche physiologique	Approche psychophysique	Approche biomécanique	Autre approches
<p>Critère de conception (suite...)</p>	<p>Charge cardiaque * les extra pulsations cardiaque moyennes occasionnées par le travail(travail continu sur 8 heures) doivent être inférieures à 35 pulsations/min pour les hommes et inférieures à 30 pulsations/min pour les femmes et inférieures à 30 pulsations/min pour les femmes. *le coût cardiaque relatif pour un travail effectué en continu sur 8 heures ne devrait pas dépasser 33%</p>			<p>NIOSH lifting Guide 1991 (d'après Garg) *si indice de manutention &gt;3 contrôles de type ingénierie (modification du poste de travail). (1% femme et 25% homme capable) *si 1 &lt; indice de manutention &lt; 3 contrôles administratifs (sélection ou entraînement) ou de</p>

	<p>* les pulsations après la première minute de repos ne devrait pas excéder 110 batt./min avec une chute d'au moins 10 battements entre la première(P1) et la troisième (P3) minute suivant l'arrêt du travail (récupération).</p>			<p>type ingénierie. (20% femme et 80% homme capables) *si indice de manutention &lt;1 situation représentant un risque minimal pour la plupart des travailleurs. (75% femme et 99% homme capables)</p>
<p>Conditions suggérées pour l'utilisation des approches</p>	<p>Dépenses énergétique</p> <p>Mesure directe *efforts répétés *pour tous les types de tâches</p> <p>tables de référence *efforts répétés *pour tous les types de tâches.</p> <p>Modèle empirique de Garg</p> <p>* efforts répétés *manutention manuelle seulement.</p> <p>Charge cardiaque</p> <p>*efforts répétés *pour tous les types de tâches. *efforts statiques *avec charge thermique.</p>	<p>Tables de Snook et Cirello</p> <p>*efforts répétés ou occasionnels. *manutention manuelle seulement *actions considérées ; lever, dépôt, pousser, tirer et transporter.</p>	<p>Modèles 2D et 3D</p> <p>*efforts occasionnels. *analyse statique seulement. *pour tous les types de tâches. *actions considérées ; lever, dépôt, pousser et tirer.</p>	<p>NIOSH liftin guide *efforts répétés ou occasionnels. *manutention manuelle seulement. *actions considérées : lever et dépôt. *lever en douceur. *lever des 2 mains dans le plan sagittal. *largeur modérée des charges (&lt;75cm). *aucune restriction lors de la levée. *conditions ambiantes favorables.</p> <p>NIOSH (1991)</p> <p>*efforts répétés ou occasionnels. *manutention manuelle seulement. *actions considérées : lever et dépôt. *lever en douceur. *lever des 2 mains symétrique ou asymétrique. *largeur modérée des charges (&lt;75cm). *aucune restriction lors de la levée. *conditions ambiantes favorables. *charges avec ou sans poignées.</p>

**BIBLIOGRAPHIE**

1. AMIT, B. OCCUPATIONAL ERGONOMICS (Theory and applications), printed in the United States of America, 1996.
2. ANDRESS, R.O. A BIODYNAMIC MODEL TO INVESTIGATE INDUSTRIEL PUSHING AND PULLING TASKS. Revised final report. Springfiches, Va : NTIS, 1989.
3. ANDREW, R. BLOOD PRESSURE, Printed in the United States, 1991.
4. ANDREW, T. CARDIAC OUTPUT, Printed in the United States, 1991.
5. BAXTER, C.E. RELATION OF PSYCHOPHYSICAL STRENGTH TESTING TO BACK PAIN, Taylor & Francis, Philadelphia 1985.
6. BEAUCHAMP, YVES. ERGONOMIE ET SECURITE EN MILIEU DE TRAVAIL. Notes de cours, Ecole de Technologie Supérieure de Montréal, 1995.
7. BEAUDET, Maurice et autres. HYGIENE DU TRAVAIL, Edition de Griffon d'Argile inc, Québec, Canada, 1994.
8. BEAUDOIN, L. CARACTERISATION MECANIQUE DES LIGAMENTS DE LA COLONNE LOMBAIRE. Ecole Polytechnique, 1986, Montréal.
9. BELLONE, Louis AMELIORATION DE LA CONDITION DE L'HOMME AU TRAVAIL, Editions d'Organisation, Paris, 1977.
10. BERNARD, C.P. DOULEURS, EFFORTS ET LUMBAGOS PROFESSIONNELS : (Contribution à la prévention des algies d'efforts en milieu de travail). Editions d'ergonomie, Marseille, 1990.
11. BRIDGER, R.S. INTRODUCTION TO ERGONOMICS, Edition, McGraw – Hill, inc, USA 1995.
12. CHAFFIN, D.B. OCCUPATIONAL BIOMECHANICS. N.Y; John Wiley & sons New-York, 1991.
13. DIVERREZ, Jean. AMELIORER LES CONDITIONS DE TRAVAIL, Edition Entreprise moderne, Paris, 1976.

14. Ernest, J.HMAN FACTORS IN ENGINEERING AND DESIGN, UNITED States, 1982.
15. ESCH, P. EVALUATION DE LA DEPENSE ENERGETIQUE APPLIQUEE AUX EBOUEURS D'UN DERVICE D'ENLEVEMENT DES IMMONCIDES COMME CRITERE DE BASE POUR LA RECHERCHE D'UNE ERGONOMIE CORRECTIVE. Belgian Ergonomics Society, Bruxelles, 1991.
16. FLOURY, R. INTRODUCTION A LA PSYCHOPHYSIQUE DU TRAVAIL, Presses Universitaires de Nancy, France, 1991.
17. GRANDJEAN. Etenne. PRECIS D'ERGONOMIE, traduit par Anne Javel Edition d'organisation, Paris, 1983.
18. GENDRIER, M. L'ERGONOMICITE : CORPS, TRAVAIL ET SANTE. Presses Universitaires, Grenoble, 1988.
- 19. HELANDER, M. DESIGN FOR MANUFACTURABILITY : A SYSTEMS APPROACH TO CONCURRE ENGINEERING AND ERGONOMICS. Taylor & Francis, London, 1992.**
20. IMBEAU. Daniel. Ergonomie industrielle, Université du Québec à Trois Révière, 1997.
21. KAPANDJI, I.A. PHYSIOLOGIE ARTICULAIRE Fascicule I : Membre supérieur. Maloine S.A. Paris, 1980.
22. KENDALL, F.P. LES MUSCLES : BILAN ET ETUDE FONCTIONNELS : ANOMALIES ET DOULEURS POSTURALES, Editions Pradel, Paris 1995.
23. KOLSKI, Christophe. INGENIERIE DES INTERFACES HOMME – MACHINE, CONCEPTION ET EVALUATION, Edition Hermès, Paris, 1993.
24. LA MOTHE, B. MAUX DE DOS : PEUT-ON PREDIRE LA RECUTE OU LE RETOUR AU TRAVAIL. Prévention de travail, Québec, 1997.
25. PREVENTION AU TRAVAIL. CSST et institut de Recherches en Santé et en Sécurité du Travail de Québec, vol 10, n°2, 1997.
26. PREVENTION AU TRAVAIL. CSST et Institut de Recherches en Santé et en sécurité du travail de Québec vol 10, n°1, 1997.
27. PREVENTION AU TRAVAIL. CSST et Institut de Recherches en Santé et en sécurité du travail de Québec vol 10, n°4, 1997.