

Titre: Anthropométrie et dimensionnement des postes de travail : projet Safework
Title: Safework

Auteurs: Robert Gilbert, & Christian Fortin
Authors:

Date: 1987

Type: Rapport / Report

Référence: Gilbert, R., & Fortin, C. (1987). Anthropométrie et dimensionnement des postes de travail : projet Safework. (Rapport technique n° EPM-RT-87-34).
Citation: <https://publications.polymtl.ca/9529/>

Document en libre accès dans PolyPublie

Open Access document in PolyPublie

URL de PolyPublie: <https://publications.polymtl.ca/9529/>
PolyPublie URL:

Version: Version officielle de l'éditeur / Published version

Conditions d'utilisation: Tous droits réservés / All rights reserved
Terms of Use:

Document publié chez l'éditeur officiel

Document issued by the official publisher

Institution: École Polytechnique de Montréal

Numéro de rapport: EPM-RT-87-34
Report number:

URL officiel:
Official URL:

Mention légale:
Legal notice:

26 OCT. 1987

Anthropométrie et dimensionnement
des postes de travail

Rapport technique.

Projet Safework.

Département de génie industriel.

École Polytechnique de Montréal.

Par Christian (Fortin)
Robert (Gilbert)

Sous la direction de: Robert Gilbert

(1987)

Remerciements

Les auteurs remercient pour son soutien le Conseil national de recherche du Canada. Ils remercient également pour leur participation les Consultants Génicom Inc. et Dominion Textile Inc.

Sommaire

Après avoir rappelé l'intérêt de l'adaptation des équipements et des activités de travail aux caractéristiques humaines, nous exposons brièvement les principaux concepts et les principales données qui, du simple point de vue de l'anthropométrie appliquée, rendent à la fois si difficile techniquement et si souhaitable une telle adaptation. Nous étudions en particulier les principaux motifs pour lesquels il est si difficile de concevoir un équipement adapté à une tranche très large d'une population, à recourir à des gammes de production. Nous soulignons les besoins particuliers du Québec en matière d'anthropométrie. Nous analysons enfin les principaux avantages et inconvénients des modèles anthropométriques actuellement utilisés à des fins de conception, notamment les modèles informatisés. La modélisation proprement dite fera l'objet du prochain rapport.

TABLE DES MATIERES

	Page
Remerciements	ii
Sommaire	iii
Table des matières	iv
Liste des tableaux	vi
Liste des figures et graphiques	viii
1.0 INTRODUCTION	x
2.0 ANTHROPOMETRIE ET DIMENSIONNEMENT DES POSTES DE TRAVAIL	1
2.1 Adaptation à l'Homme	1
2.2 Adaptation à la tranche la plus large d'une population	5
2.2.1 Le concept de l'individu moyen	5
2.2.2 Percentiles et accommodation	13
2.3 Quatre sources importantes de variabilité anthropométrique	35
2.3.1 L'âge	35
2.3.2 Le sexe	40
2.3.3 L'origine ethnique et culturelle	46
2.3.4 Les changements séculaires	52
2.4 Autres facteurs à considérer	59
2.4.1 Asymétrie gauche-droite	60

2.4.2 Variation quotidienne de la stature et du poids	61
2.4.3 Posture relâchée VS posture redressée	61
2.4.4 Vêtements protecteurs et trousses de travail	64
2.5 Mannequins anthropométriques	67
2.5.1 Mannequins plats. Règles à calcul anthro- pométriques	67
2.5.2 Mannequins tridimensionnels	75
2.5.3 Mannequins informatisés	75
2.5.3.1 Définition	75
2.5.3.2 Utilité	76
2.5.3.3 Coûts	77
2.5.3.4 Modèles informatisés actuels	79
2.5.3.5 Trois phases de développement	84
30. CONCLUSION	90
BIBLIOGRAPHIE	92

L I S T E D E S T A B L E A U X

	P a g e
Tableau I : Caractéristiques de l'échantillon de G.S. Daniels (1952)	7
Tableau II a): L'"homme moyen"	8
Tableau II b): L'"homme moyen"	9
Tableau III : Comparaisons entre des sommes de percentiles de segments de la stature	25
Tableau IV : Distribution des coefficients de corrélation par variable, par groupe de variables et pour l'ensemble des variables	15
Tableau V : Relations entre les percentiles et l'écart- type	16
Tableau VI : Difficulté d'accorder un pourcentage toujours croissant d'usagers, en unités médianes	24
Tableau VII : Nombre et pourcentage des individus exclus et nombre des variables pour lesquelles ils le sont	31
Tableau VIII : Intercorrelations entre 13 traits anthropo- métriques	32
Tableau IX : Modifications moyennes du corps avec l'âge ..	39

Tableau X :	Tableau documentant le règle du 92% entre les dimensions moyennes des femmes et celles des hommes	44
Tableau XI :	Tableau documentant la règle du 81% entre le 5ième percentile chez la femme et le 95ième chez l'homme	45
Tableau XII :	Stature, poids et rapport de la stature au poids pour différentes populations du monde	47
Tableau XIII :	Accroissement moyen de la stature en fonction de l'âge entre 17 et 21 ans de la population mâle américaine	55
Tableau XIV :	Differences anthropométriques entre les côtés gauche et droit du corps	61
Tableau XV :	Differences anthropométriques entre les côtés gauche et droit chez les femmes dans les postures droites et relaxées	63
Tableau XVI :	Encombrement des vêtements pour diverses applications	66
Tableau XVII :	Caractéristiques notées ou prévues en 1975 de certains modèles anthropométriques informatisés	81

LISTE DES FIGURES ET GRAPHIQUES

	Page
Graphique I : Distribution des 7626 coefficients de corrélation de Clauser et al. (1972)	16
Graphique II : Trois profils individuels de percentiles ...	17
Graphique IV : Variabilité du poids et de la stature en fonction de la taille du groupe autour de la moyenne	26
Graphique III: Réduction potentielle du bassin de recrutement occasionnée par un ensemble de critères anthropométriques de sélection	30
Graphique V : Modification de la croissance de la population américaine blanche masculine en fonction de l'âge depuis la guerre de Corée ...	37
Graphique VI : Stature et poids moyens des adultes américains en fonction de l'âge et du sexe	38
Graphique VII: Distributios de la stature et du poids du personnel de l'U.S. Air Force en fonction du sexe	41
Figure VIII : Différences de proportions interraciales ...	48
Graphique IX : Accroissement séculaire en stature de diverses populations mâles européennes et japonaise	54

Graphique X : Comparaison des statures moyennes des mâles américains noirs et blancs, en fonction de l'âge	55
Figure XI : Encombrement des vêtements	65

1.0 INTRODUCTION

Ce rapport a été rédigé dans le cadre du projet Safework. Ce projet consiste à élaborer un logiciel d'aide à l'analyse et à la conception ergonomique des postes de travail et touchant notamment les aspects anthropométriques, visuels, gestuels et biomécaniques.

Le présents rapport ne traite essentiellement que de certains aspects de l'anthropométrie appliquée. Son but est quadruple:

- 1) faire saisir le difficulté et la complexité technique du problème de l'adaptation anthropométrique des équipements, en dehors même des problèmes de modélisation mathématique ou statistique;
- 2) montrer l'intérêt et la nécessité d'un modèle du genre de SAFEWORK;
- 3) servir de base au manuel d'anthropométrie appliquée qui devra vraisemblablement accompagner le manuel de l'usager du logiciel SAFEWORK;
- 4) servir d'introduction ou de complément au rapport technique intitulé «modélisation des données anthropométriques», écrit dans le cadre du même projet.

2.0 ANTHROPOMETRIE ET DIMENSIONNEMENT DES POSTES DE TRAVAIL

2.1 ADAPTATION A L'HOMME

Pour réaliser l'adaptation maximale ou, à tout le moins convenable, du poste de travail à l'Homme, il faut en particulier tenir compte de ses caractéristiques anthropométriques. Cette adaptation est nécessaire pour des raisons de santé, de sécurité, de confort, d'efficacité et de productivité au travail. Le poste de travail comprend notamment: les machines, les outils, les équipements, les tables, les sièges, les accessoires, les véhicules et le matériel utilisé au cours du travail.

En pratique, le dimensionnement et l'aménagement d'un poste de travail, ainsi que son articulation aux autres postes de travail, constituent toujours un compromis entre de nombreuses exigences humaines, techniques, économiques et sociales. Il n'est jamais facile de trouver un compromis satisfaisant simultanément à toutes ces exigences. On peut même douter à juste titre que ce soit possible dans la grande majorité des cas. Un tel compromis sera jugé satisfaisant en général dans la mesure où il paraît acceptable (étant donné certains critères d'hygiène, de sécurité, de coûts, de confort, etc) et donne l'impression qu'il serait très difficile d'en trouver un meilleur.

Le compromis réalisé à un moment donné pourra donc être fort différent de celui réalisé à un moment ultérieur, selon:

- l'état d'avancement de la technologie;
- les coûts impliqués;
- l'amélioration de nos connaissances et de nos méthologies concernant les exigences humaines;
- l'importance attachée par la société au respect de ces exigences;
- l'importance attachée par les divers groupes concernés par l'intervention au respect de ces exigences;



- la situation d'intervention elle-même;
- le concepteur du compromis;
- les connaissances et l'expertise du concepteur et des divers groupes concernés;
- les possibilités de concertation entre les divers groupes, afin que chacun puisse bien faire ressortir ses besoins spécifiques étant donné, en particulier, les tâches qu'il doit réaliser;
- une foule d'autres facteurs.

Les exigences humaines comprennent bien sûr les exigences physiologiques, psychologiques et sociologiques. Cependant, en ce qui concerne le dimensionnement et l'aménagement du poste de travail, les exigences biomécaniques, circulatoires, articulaires, visuelles et anthropométriques sont particulièrement importantes.

Les dimensions anthropométriques d'un opérateur donné déterminent souvent les postures qu'il peut utiliser et les forces qu'il doit exercer au cours de son travail, étant donné les contraintes générées par plusieurs facteurs, notamment:

- le dimensionnement et l'aménagement du poste de travail;
- la finesse des détails à observer, le punctum proximum et l'acuité visuelle de l'opérateur;
- l'amplitude et le sens des forces à exercer au niveau du plan de travail;
- les points d'appui disponibles;
- la conservation de l'équilibre anti-gravitaire;
- l'aménagement de l'atelier au plan:
 - de l'approvisionnement et de l'évacuation des pièces;
 - de l'éclairage;
 - de l'articulation du poste aux autres postes;
- les exigences de précision et de rapidité dans l'exécution;

- les angles articulaires limites et ceux de confort de l'opérateur;
- le confort ou l'inconfort relatif de chacune des postures;
- la gamme des activités à réaliser et celle des postures possibles pour chacune des activités;
- la durée et la fréquence de maintien de chacune des postures utilisées pendant le travail.

Il est particulièrement important que l'opérateur puisse utiliser diverses postures pour exécuter les mêmes tâches. En effet, toute posture, même la plus confortable, devient rapidement pénible lorsqu'elle doit être maintenue plus de quelques minutes. Cette sensation de pénibilité augmente, par ailleurs, d'autant plus rapidement que la posture doit être maintenue plus rigidement. A son tour, la rigidité posturale est d'autant plus forte que la gamme des activités à réaliser est étroite et répétitive et que les exigences de précision et de rapidité sont élevées.

L'évaluation de l'adaptation anthropométrique d'un poste de travail existant ou en projet doit comporter l'examen attentif de chacune des contraintes que nous avons énumérées précédemment et de leurs interrelations. Elle doit donc comporter en particulier une analyse ergonomique du travail, afin de bien mettre en évidence ces contraintes et ces interrelations.

L'idéal serait que le dimensionnement et l'aménagement du poste, ainsi que les exigences de la tâche (notamment les exigences visuelles et les exigences de force, de rapidité et de précision), soient adaptés à l'individu de manière à lui permettre de ne travailler que dans des postures variées et confortables.

En pratique, par suite du coût et de la complexité des équipements, des nécessités de la fabrication en grande série, et de la rotation du personnel, on ne peut pas songer en général à adapter chaque poste de travail à son titulaire. Il faut plutôt viser à ce que les postes de travail soient "convenablement" adaptés à la tranche la plus large possible de la population potentielle des titulaires de ces postes. Cependant, comme nous le verrons plus loin, cette adaptation n'est pas toujours facile à réaliser, et la tranche de population que l'on peut accommoder parfaitement avec un dispositif donné, est souvent beaucoup plus réduite qu'on ne pense.

2.2 ADAPTATION A LA TRANCHE LA PLUS LARGE D'UNE POPULATION

2.2.1 Le concept de l'individu moyen

Lorsqu'on parle de l'adaptation d'un équipement à une tranche de population, le concept d'individu moyen est toujours populaire. D'abord, c'est un concept facile à comprendre et puis, a priori, en prenant l'individu moyen comme base de référence, on ne défavorisera pas plus de petits que de grands. Néanmoins, il s'agit là d'un concept qu'on sait depuis longtemps particulièrement inadapté dans la majorité des situations. Par exemple, si la hauteur des portes était choisie pour l'individu moyen, la moitié de la population devrait se pencher à chaque fois pour passer. De même, des pédales ou des commandes positionnées uniquement en fonction de l'individu moyen pourraient ne pas pouvoir être actionnées sans problèmes par une grande partie de la population.

Par ailleurs, si on examine la très grande variabilité des dimensions corporelles entre les individus, qu'ils soient de même stature ou non, on se rendra compte rapidement qu'il est virtuellement impossible de trouver dans une population quelconque un individu moyen, même approximativement.

Churchill et Daniels, en 1952, ont illustré ceci de manière particulièrement frappante (Daniels, 1952). A partir de dix dimensions utiles dans le design des vêtements et des données de l'étude anthropométrique de 1950 du personnel des forces aériennes des Etats-Unis, laquelle portait sur 4063 sujets, ils démontrèrent clairement que l'individu moyen est, en fait, si rare qu'il n'existe pas dans cette population de sujets. Afin que leur démonstration soit

particulièrement convaincante, ils acceptèrent comme sujets approximativement moyens pour une dimension donnée tous les sujets qui, pour cette dimension, étaient à l'intérieur des limites définies par la moyenne $\pm 0,3s$ (s = estimé de l'écart-type) et arrondies ensuite au centimètre le plus près.

Ceci signifie que, pour une dimension donnée, entre environ le 1/4 et le 1/3 central de la population sera classé dans la catégorie des sujets moyens (Voir tableau I, page 7). Naturellement, la proportion de sujets qui sont moyens par rapport à plusieurs variables simultanément, sera d'autant plus petite que le nombre de variables considérées sera élevé. De plus, comme les corrélations entre dimensions anthropométriques sont souvent faibles, on peut même s'attendre à ce que cette proportion diminue rapidement. Les résultats de Churchill et Daniels (Voir tableau II, pages 8 et 9), illustrent parfaitement la rapidité de cette décroissance. Après 5 variables, il ne reste plus dans l'échantillon qu'une proportion infime de sujets. Après 10 variables, il ne reste plus un seul sujet dans l'échantillon, sur les 4063 qu'il y avait au départ.

TABLE I

Caractéristiques de l'échantillon de G.S. Daniels (1952)

MEASUREMENT	MEAN	STD. DEV.	RANGE OF "AVERAGE"	N FOR RANGE OF "AVERAGE" **	%
Stature	175.5 cm	6.2 cm	173.95-177.95 cm	1055	26
Chest					
Circumference	98.6 cm	6.2 cm	96.95-100.95 cm	1023	25,2
Sleeve length	85.5 cm	3.8 cm	83.95- 86.95 cm	1253	30,8
Crotch height	83.4 cm	4.4 cm	81.95- 84.95 cm	1105	27,2
Vertical trunk circ.	164.6 cm	7.3 cm	162.95-166.95 cm	1093	26,9
Hip Circumfe- rence (Sit.)	106.0 cm	7.2 cm	103.95-108.95 cm	1113	27,4
Neck					
Circumference	38.0 cm	1.9 cm	36.95- 38.95 cm	1713	42,2
Waist					
Circumference	81.4 cm	7.7 cm	78.95- 83.95 cm	990	24,4
Thigh					
Circumference	56.9 cm	4.4 cm	54.95- 57.95 cm	1114	27,4
Crotch length	71.6 cm	5.1 cm	69.95- 72.95 cm	1008	24,8
			POURCENTAGE MOYEN:		28,2

** Based on the original group of 4,063 men

Source: The "Average Man" ?

Gilbert S. Daniels, 1952

TABLE IIA
"THE AVERAGE MAN"

VARIABLE	RANGE DEFINING AVERAGE (cm)	NO. INCLUDED	PERCENT OF SAMPLE
Stature	173.95 - 177.95	1055	25.97
Chest Circ	96.95 - 100.95	302	7.43
Sleeve length	83.95 - 86.95	143	3.52
Crotch height	81.95 - 84.95	73	1.80
Vert. Torso Circ	162.95 - 166.95	28	0.69
Hip Circ	103.95 - 108.95	12	0.30
Neck Circ	36.95 - 38.95	6	0.15
Waist Circ	78.95 - 83.95	3	0.07
Thigh Circ	54.95 - 57.95	2	0.05
Crotch length	69.95 - 72.95	0	--

Source: The "Average Man"?

Gilbert S. Daniels, 1952

TABLE IIB

1. of the original 4063 men
1055 were of approximately average stature
2. of these 1055 men
302 were also of approximately average chest circumference
3. of these 302 men
143 were also of approximately average sleeve length
4. of these 143 men
73 were also of approximately average crotch height
5. of these 73 men
28 were also of approximately average torso circumference
6. of these 28 men
12 were also of approximately average hip circumference
7. of these 12 men
6 were also of approximately average neck circumference
8. of these 6 men
3 were also of approximately average waist circumference
9. of these 3 men
2 were also of approximately average thigh circumference
10. of these 2 men
0 were also of approximately average in crotch length

As a further step, 100 measurements made on one of the two men remaining after the ninth step were examined. Of these only 62 fell within the range of the middle 40% of the total population: 29 were smaller (below the 30th percentile) and 9 were decidedly high (above the 70th percentile). A large group of measurements made on the other of these two "most nearly average" men showed much the same pattern.

Nous verrons plus loin, à propos d'un autre problème, pour un ensemble différent de variables de départ, une illustration fournie par Roebuck, en 1975, et qu'on peut interpréter exactement de la même façon (Voir pages 15 à 18).

Ainsi, il est clair que le concept d'individu moyen n'est pas un critère valide en design. Il est essentiel de tenir compte le plus possible de la variabilité des dimensions anthropométriques. En pratique, cela se traduira soit par la fabrication d'un éventail de lots différents du point de vue dimensionnel, comme dans le cas des chaussures ou des vêtements, soit par des plages d'ajustement, comme dans le cas des postes de conduite ou de pilotage des véhicules. Dans le premier cas, la notion d'individu moyen est complètement inutile. Dans le second cas, elle peut servir à maximiser le pourcentage de personnes qui seront accommodées par une plage d'ajustement donnée. En effet, étant donné que la plupart des dimensions corporelles sont distribuées selon une loi de probabilité normale, et étant donné aussi la symétrie et la forme de cette loi autour de la moyenne, il suffit pour cela de centrer cette plage sur l'individu moyen. De plus, comme l'hypothèse que tout couple de dimensions est distribué binormalement semble satisfaite, certains n'hésitent pas à généraliser et à faire l'hypothèse que les dimensions corporelles sont distribuées multinormalement. Cette hypothèse est intéressante à faire parce que, si elle est vraie, alors:

- a) chaque variable et chaque combinaison linéaire des variables de départ sera aussi distribuée multinormalement;
- b) on n'aura besoin pour définir cette distribution que de la matrice des coefficients de corrélation deux à deux entre les variables. De plus,

- c) on ne trouve pas d'autres coefficients que ceux-là à toute fins pratiques, dans la littérature, à quelques rares exceptions près;
- d) il est suffisant en pratique que cette hypothèse ne soit vraie qu'approximativement;
- e) il est vraisemblable qu'elle soit vraie pour un ensemble assez important de dimensions anthropométriques;
- f) certaines variables qui ne sont pas distribuées normalement pourraient le devenir à l'aide d'une transformation appropriée ou à la suite d'une redéfinition de la population. Alors, si l'on adopte l'hypothèse d'une distribution multinormale des dimensions corporelles, l'individu moyen peut continuer à servir de point de référence pour centrer simultanément les plages retenues dans un problème multidimensionnel particulier.

Cependant, il arrive fréquemment que, pour des raisons techniques ou économiques, on ne puisse pas adopter des plages d'ajustement permettant d'accorder une fraction suffisante de la population visée. Dans ce cas, il est nécessaire de concevoir et de fabriquer des modèles différents pour des tranches différentes de population. La notion d'individu moyen perd alors toute utilité sauf, le cas échéant, pour une tranche de population centrée sur la moyenne.

Par exemple, pour les chaises de bureau, on trouve sur le marché deux longueurs différentes de cylindre pneumatique. Il n'est pas possible, en effet, d'accorder à la fois les petits et les grands avec un seul modèle de cylindre, à moins d'utiliser la solution beaucoup plus coûteuse du double cylindre.

On en fabrique donc de deux longueurs différentes. La première permet aux individus petits et moyens de bien ajuster la hauteur de leur chaise, tandis que la seconde le permet aux moyens et aux grands.

La notion d'individu moyen d'une tranche de population n'est pas non plus une notion très utile. D'abord, parce que le plus important dans ce cas, ce sont les limites d'accommodation de la tranche. L'individu moyen d'une tranche n'existe pas plus que l'individu moyen d'une population. Et puis, dans le cadre d'un modèle multinormal, il serait préférable de prendre comme point de référence l'individu médian de la tranche, plutôt que l'individu moyen. Car, dans ce cadre, il est évident que la distribution des valeurs des dimensions d'une tranche de la population ne sera pas symétrique en général par rapport à la moyenne de la tranche, à moins que celle-ci ne soit centrée sur la moyenne de la population. Dans ce cas, l'individu médian est plus représentatif du centre de la tranche que l'individu moyen. Tout ceci provient de ce que la distribution multinormale est parfaitement symétrique autour de la moyenne. Cette symétrie est évidente dans le cas univariable. Dans le cas multidimensionnel, il s'agit d'une symétrie quadratique ou, si l'on préfère, hyperellipsoïdale.

2.2.2 Percentiles et accommodation

On utilise fréquemment les percentiles pour définir des limites de design et des normes de sélection du personnel.

Un percentile est un point sur l'échelle cumulative en pourcent où, par rapport à une certaine variable, mesure ou dimension, les individus d'une population donnée ont été classés du plus petit au plus grand. Ainsi, l'individu du 5ième percentile de la stature a une stature telle que 5% des individus de la population à laquelle il appartient en ont une plus petite, et 95% une plus grande. De même, l'individu du 95ième percentile de périmètre thoracique a un périmètre thoracique tel que 95% des individus en ont un plus petit et 5% un plus grand.

Une expression telle: "l'individu du 95ième percentile" n'a aucun sens en anthropométrie si on n'indique pas par rapport à quelle variable il est ainsi classé. En effet, une telle expression n'aurait un sens que si les corrélations entre les variables ou les dimensions considérées dans un contexte particulier étaient toutes voisines de un en valeur absolue. Or, en anthropométrie, les corrélations entre les dimensions corporelles sont en général faibles ou inexistantes, à part quelques exceptions (Voir tableau V et graphique I, pages 15 et 16), de telle sorte que les dimensions d'un individu donné formeront toujours en général un ensemble plutôt disparate de percentiles (Voir graphique II, page 17).

Néanmoins, de telles expressions sont fréquemment utilisées dans la littérature et prennent alors, selon les auteurs et les contextes, des significations complètement

différentes. Par exemple, l'expression précédente peut désigner tout aussi bien:

- soit l'individu moyen fictif du 95ième percentile de stature, c'est-à-dire dont toutes les autres dimensions correspondent à l'espérance mathématique conditionnelle à cette stature (1).
- soit l'individu fictif formé à partir d'un petit nombre de dimensions fixées au 95ième percentile et choisies en fonction du problème à résoudre, les autres dimensions étant ajustées si possible à l'aide des proportions de l'individu moyen de la population et, sinon, le plus "harmonieusement possible (2)".
- soit l'individu fictif formé par l'ensemble des dimensions du 95ième percentile obtenues à un certain niveau de décomposition segmentaire du corps humain ou de chacun de ses segments.

En général, cependant, à moins d'indication contraire, les percentiles réfèrent toujours en anthropométrie à une seule variable.

NOTES: (1) Chacune de ces dimensions sera alors en général assez éloignée de son propre 95ième centile.

(2) Dans la conception et la fabrication des mannequins plats ou des règles à calcul anthropométrique, c'est cette seconde définition qui est le plus souvent utilisée.

TABLEAU IV

DISTRIBUTION OF CORRELATION COEFFICIENTS BY VARIABLES, GROUPS OF VARIABLES, AND ENTIRE GROUP
 (from Anthropometry of Air Force Women by Clauser et al., 1972)

I. Total Series Summary

	Percentiles												
	MIN	1	5	10	25	50	75	90	95	99	MAX	N	
	-.21	-.02	.05	.08	.15	.24	.39	.62	.73	.88	1.00	7626	

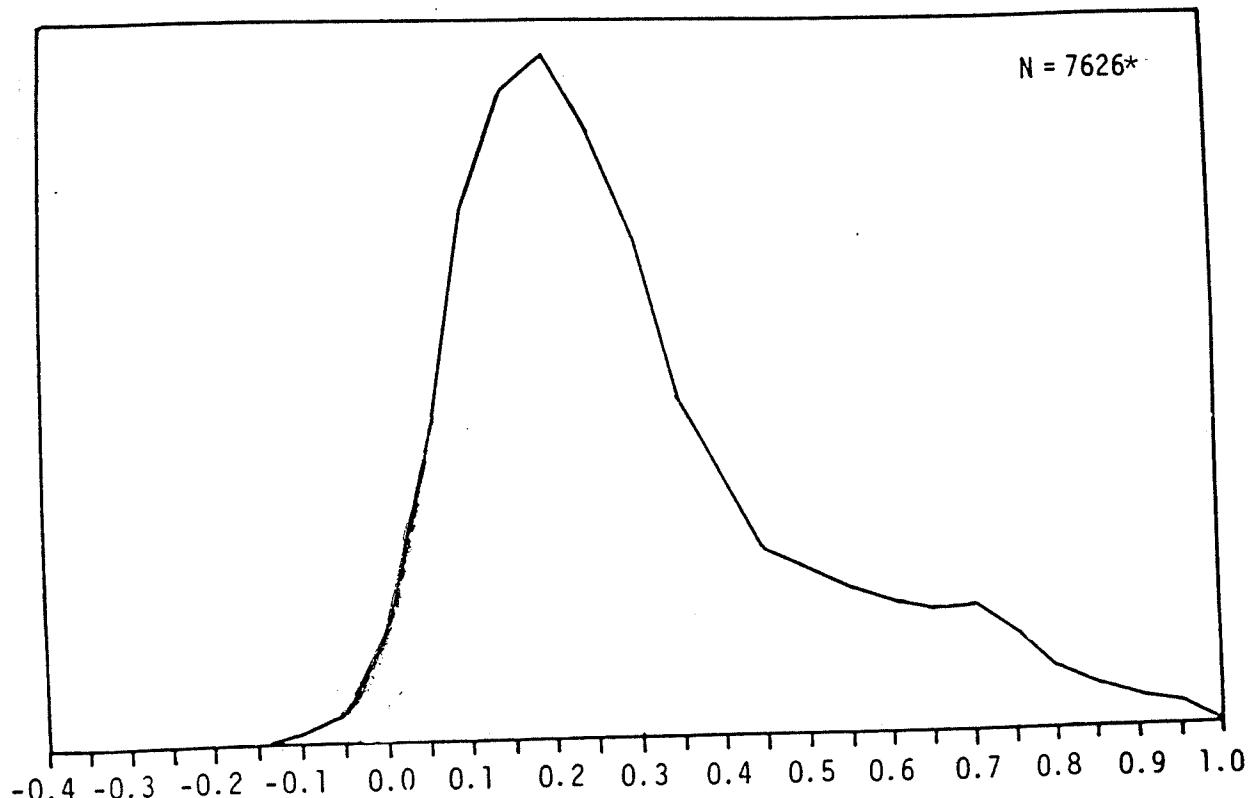
II. Major Groups Summaries

Group	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1. Age	-.08		-.02	.00	.05	.12	.19	.28	.29		0.33	123
2. Weight	0.08		.17	.22	.31	.50	.74	.80	.82		0.90	123
3. Skinfolds	-.10	-.07	-.02	.00	.04	.12	.36	.56	.61	.68	0.72	486
4. Heights	-.21	-.05	-.04	.09	.16	.25	.36	.58	.72	.90	1.00	3531
5. Breadths	-.08	.04	.08	.12	.19	.29	.49	.66	.72	.84	0.89	1298
6. Circumferences	-.10	.03	.08	.11	.19	.30	.47	.65	.73	.84	0.94	2166
7. Limb C's & B's	-.06	.03	.08	.12	.19	.31	.45	.64	.72	.81	0.98	2270
8. Hand & Foot	-.07	.00	.06	.10	.18	.26	.35	.46	.57	.68	0.74	723
9. Head & Face	-.14	-.02	-.03	.06	.11	.16	.23	.28	.31	.62	0.95	3161

III. Cross Group Summaries

1 & 4					.00	.05	.08					33	
1 & 5						.23						11	
1 & 6						.23						19	
1 & 7						.15						20	
1 & 9						.07	.09	.14				29	
2 & 4						.41	.46	.53				33	
2 & 5							.77					11	
2 & 6							.79					19	
2 & 7							.78					20	
2 & 9							.26	.30				29	
3 & 4	-.08		-.03	-.01	.02	.05	.10	.18	.22		0.29	132	
3 & 5						.36	.47	.57				44	
3 & 6					.16	.26	.37	.54	.61			76	
3 & 7					.20	.28	.41	.54	.63			80	
3 & 8						.04	.05	.08				24	
3 & 9	-.10		-.03	-.02	.01	.05	.10	.16	.21		0.27	116	
4 & 4	-.21	-.09	.16	.25	.39	.63	.75	.87	.91	.97	1.00	528	
4 & 5			.08	.13	.18	.24	.31	.38	.42		0.59	363	
4 & 6			-.10	.06	.11	.15	.20	.27	.35	.44	.53	627	
4 & 7			-.06	.01	.08	.11	.18	.29	.35	.42	.45	660	
4 & 8			0.01		.16	.21	.29	.34	.46	.60	.66	198	
4 & 9			-.13	-.05	.03	.07	.12	.17	.22	.27	.29	957	
5 & 5						.31	.50	.59	.67	.71		55	
5 & 6	0.09		.26	.33	.44	.56	.69	.76	.83		0.89	209	
5 & 7	0.25		.29	.31	.37	.50	.64	.70	.72		0.84	220	
5 & 8					.11	.19	.23	.30	.35			66	
5 & 9	-.02		.05	.07	.11	.17	.22	.26	.29		0.35	319	
6 & 6	0.07		.21	.29	.44	.54	.66	.79	.83		0.94	171	
6 & 7	0.11		.23	.29	.37	.48	.62	.73	.76		0.89	380	
6 & 8	0.08		.12	.13	.19	.26	.32	.36	.40		0.49	114	
6 & 9	-.03	.00	.04	.07	.10	.16	.22	.27	.30	.33	0.37	531	
7 & 7	0.33		.37	.39	.43	.54	.69	.80	.92		0.98	190	
7 & 8	0.07		.11	.17	.23	.32	.39	.49	.55		0.71	120	
7 & 9	0.00	.03	.06	.08	.12	.17	.23	.26	.29	.32	0.36	580	
8 & 8							.47					15	
8 & 9	-.04				.05	.08	.13	.19	.23	.28	.31	0.40	174
9 & 9	-.14				.01	.04	.10	.16	.20	.33	.78	0.95	406

Source: Clauser et al., 1972. Repris de NASA (1978), Volume I.

GRAPHIQUE I

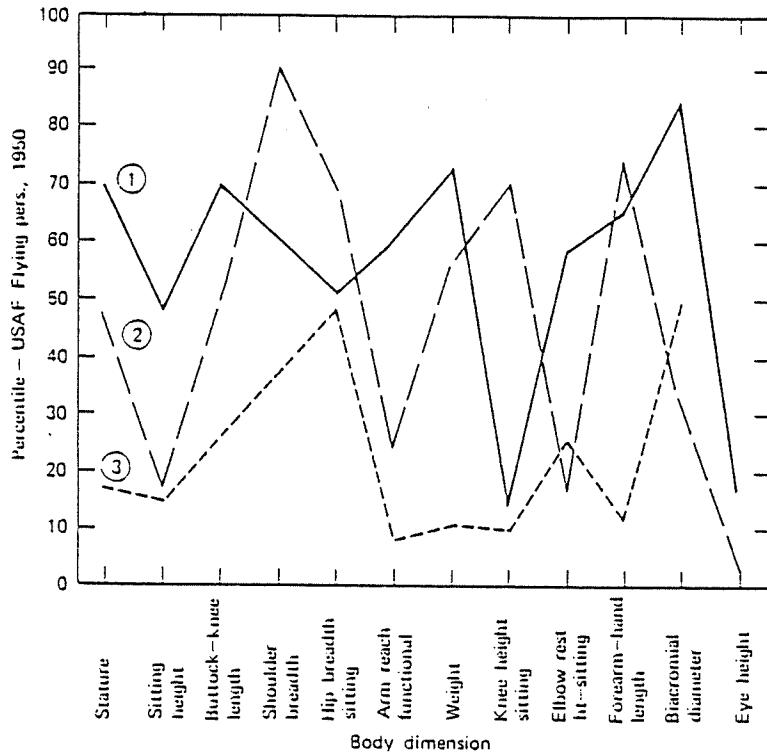
Distribution of Correlation Coefficients
(from the WAF 1968 anthropometric survey
Clauser, et al., 1972, p. 247).

- * This distribution includes a total of 7626 correlation coefficients.

Source: Clauser et al., 1972. McConville et Churchill (1976).

GRAPHIQUE II

Trois profils individuels de percentiles



Examples of profile chart analysis of individual subject percentiles. The graph lines connect points that indicate the magnitude, on the vertical scale, of percentiles for the various body dimensions of 3 actual individuals listed along the horizontal scale.

Source: Roebuch et al. (1975).

TABLEAU V

PERCENTILE-STANDARD DEVIATION RELATIONSHIPS

<u>Percentile</u>	<u>Percentile</u>	<u>Percentile</u>	<u>Percentile</u>
1st	$M^* \pm 2.326 SD^{**}$	99th	
2nd	$M \pm 2.054 SD$	98th	
3rd	$M \pm 1.881 SD$	97th	
4th	$M \pm 1.751 SD$	96th	
5th	$M \pm 1.645 SD$	95th	
6th	$M \pm 1.555 SD$	94th	
7th	$M \pm 1.476 SD$	93rd	
8th	$M \pm 1.405 SD$	92nd	
9th	$M \pm 1.341 SD$	91st	
10th	$M \pm 1.282 SD$	90th	
11th	$M \pm 1.227 SD$	89th	
12th	$M \pm 1.175 SD$	88th	
13th	$M \pm 1.126 SD$	87th	
14th	$M \pm 1.080 SD$	86th	
15th	$M \pm 1.036 SD$	85th	
16th	$M \pm 0.994 SD$	84th	
17th	$M \pm 0.954 SD$	83rd	
18th	$M \pm 0.915 SD$	82nd	
19th	$M \pm 0.878 SD$	81st	
20th	$M \pm 0.842 SD$	80th	
21st	$M \pm 0.806 SD$	79th	
22nd	$M \pm 0.772 SD$	78th	
23rd	$M \pm 0.739 SD$	77th	
24th	$M \pm 0.706 SD$	76th	
25th	$M \pm 0.674 SD$	75th	
		26th	$M \pm 0.643 SD$
		27th	$M \pm 0.613 SD$
		28th	$M \pm 0.583 SD$
		29th	$M \pm 0.553 SD$
		30th	$M \pm 0.524 SD$
		31st	$M \pm 0.496 SD$
		32nd	$M \pm 0.468 SD$
		33rd	$M \pm 0.440 SD$
		34th	$M \pm 0.412 SD$
		35th	$M \pm 0.385 SD$
		36th	$M \pm 0.358 SD$
		37th	$M \pm 0.332 SD$
		38th	$M \pm 0.305 SD$
		39th	$M \pm 0.279 SD$
		40th	$M \pm 0.253 SD$
		41st	$M \pm 0.228 SD$
		42nd	$M \pm 0.202 SD$
		43rd	$M \pm 0.176 SD$
		44th	$M \pm 0.151 SD$
		45th	$M \pm 0.126 SD$
		46th	$M \pm 0.100 SD$
		47th	$M \pm 0.075 SD$
		48th	$M \pm 0.050 SD$
		49th	$M \pm 0.025 SD$
		50th = M	

* Mean

** Standard Deviation

Référence: NASA Anthropometric Source Book, Volume I, (1978).

En principe, l'utilité des percentiles réside en ce qu'ils nous permettent d'évaluer rapidement, par rapport à une dimension donnée, le pourcentage de personnes accommodées par un ajustement particulier. Par exemple, si on dit que l'ajustement de la hauteur de tel siège accomoderait tous les sujets ayant une hauteur sous la cuisse située entre le 5ième et le 95ième percentile, on comprend immédiatement que ce siège est sensé accommoder, dans la situation étudiée, environ 90% des sujets de la population considérée.

De plus, dans le cas d'une distribution normale, on a l'avantage qu'il est facile de calculer un percentile donné à partir de la moyenne et de l'écart type de la distribution. Il suffit d'utiliser la formule:

$$t = \bar{x} + z_{\epsilon} s$$

où t est le percentile cherché

\bar{x} est l'estimé de la moyenne de la population

z_{ϵ} est la valeur de la distribution cumulative normale trouvée dans une des tables de cette distribution ou calculée à partir d'un polynôme d'interpolation.

s est l'estimé de l'écart type de la population à laquelle on s'intéresse.

On trouvera au tableau V, à la page précédente, les différentes valeurs de z_{ϵ} pour les 99 premiers percentiles.

Il est à noter que rien ne nous empêche de calculer des percentiles intermédiaires tels, par exemple, le

24,58ième ou le 99,99ième. Il suffit de se servir de la formule donnée précédemment.

Pour calculer un percentile donné d'une somme de variables normales dont le résultat est aussi distribué normalement, on utilise la même formule, après avoir calculé la moyenne et l'écart type de la somme à l'aide des formules suivantes:

$$\text{si } Y = \sum_{i=1}^n X_i$$

$$\text{alors } \bar{Y} = \sum_{i=1}^n \bar{X}_i$$

$$\text{et } s_Y^2 = \sum_{i=1}^n s_i^2 + 2 \sum_{i=1}^n \sum_{j=1, i < j}^n \rho_{i,j} s_i s_j$$

où Y est la somme de n variables aléatoires X_i

\bar{Y} est la moyenne de Y

\bar{X}_i est la moyenne de X_i , $i = 1, \dots, n$

s_Y est l'estimé de l'écart type de Y

s_i est l'estimé de l'écart type de X_i , $i = 1, \dots, n$

$\rho_{i,j}$ est l'estimé du coefficient de corrélation entre X_i et X_j , $i, j = 1, \dots, n$

Si Y correspond à la différence entre deux sommes de variables ou à une autre combinaison linéaire quelconque des X_i , il faut alors utiliser les formules plus générales suivantes. Avec des notations évidentes:

$$\text{si } Y = \sum_{i=1}^n a_i X_i$$

$$\text{alors } \bar{Y} = \sum_{i=1}^n a_i \bar{X}_i$$

$$\text{et } s_Y^2 = \sum_{i=1}^n a_i^2 s_i^2 + 2 \sum_{i=1}^n \sum_{j=1, i < j}^n \gamma_{ij} a_i a_j s_i s_j$$

En particulier, si $Y = X_1 + X_2$, alors:

$$\bar{Y} = \bar{X}_1 + \bar{X}_2$$

$$\text{et } s_Y^2 = s_1^2 + s_2^2 + 2 \gamma_{12} s_1 s_2$$

Par contre, si $Y = X_1 - X_2$, alors:

$$\bar{Y} = \bar{X}_1 - \bar{X}_2$$

$$\text{et } s_Y^2 = s_1^2 + s_2^2 - 2 \gamma_{12} s_1 s_2$$

On peut également se servir de la formule:

$$t = \bar{x} + z_t s$$

pour, à l'inverse, trouver le percentile d'une valeur donnée. Il suffit de calculer:

$$z_t = (t - \bar{x}) / s$$

et d'aller voir dans la table de la cumulative de la loi normale à quel percentile cette valeur correspond ou de la calculer directement à l'aide d'un polynôme d'interpolation. Il est donc possible, sous certaines

conditions, de calculer facilement à quel percentile d'une somme correspond la somme de percentiles donnés de différentes variables. Il suffit de calculer ces percentiles, d'en faire la somme puis de calculer à quel percentile cette somme correspond:

$$t_Y = \sum_{i=1}^n t_i = \sum_{i=1}^n x_i + \sum_{i=1}^n z_{e_i} s_i$$

$$z_{e_Y} = \frac{t_Y - Y}{s_Y} = \frac{t_Y - \sum_{i=1}^n x_i}{s_Y}$$

$$t_Y = \sum_{i=1}^n x_i$$

$$= \frac{\sum_{i=1}^n s_i + 2 \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \gamma_{i,j} s_i s_j}{i < \star^{1/2}}$$

$$\text{d'où } \Phi(z_{e_Y}) = \Phi \left[\frac{\sum_{i=1}^n z_{e_i} s_i}{(\sum_{i=1}^n s_i + 2 \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \gamma_{i,j} s_i s_j)} \right]$$

Si tous les termes de la somme sont fixés au même percentile, alors tous les z_{e_i} sont égaux à une certaine constante z_e qu'on peut alors sortir de la somme au numérateur.

On remarque ainsi que l'échelle des percentiles n'est pas une échelle linéaire. Le Sième percentile de la somme de deux variables, par exemple, n'est pas donné par la somme du Sième percentile d'une variable et celle du Sième percentile de l'autre. Il faut tenir compte d'abord de la relation entre les variables considérées. Dans notre cas,

puisque il s'agit de variables aléatoires généralement normales, le résultat sera plus petit que le 5ième centile de la somme. Ceci se comprend facilement puisqu'un individu du 5ième percentile de stature, par exemple, peut aussi bien avoir des jambes longues et un tronc court, par rapport à sa stature, que l'inverse. Par conséquent, si on additionne des jambes courtes à un tronc court, l'individu obtenu sera plus petit que le percentile de départ. De manière analogue, la somme du 95ième percentile d'une variable avec celui d'une autre variable donnera une valeur plus grande que le 95ième percentile de la somme.

La différence entre les deux valeurs sera d'autant plus grande que chaque percentile sera loin de la moyenne et que la somme comportera davantage de termes. Cette différence peut même devenir très importante comme l'a démontré Churchill (1978). Celui-ci, après avoir décomposé la stature en 14 segments verticaux, fait la somme de tous ces segments en les fixant tous d'abord au 5ième percentile, puis à leur valeur moyenne, et enfin au 95ième percentile (Voir tableau III, page 25). Il obtient ainsi d'abord une stature inférieure de près de un pied au 5ième percentile de la stature, puis la stature moyenne, et enfin une stature supérieure de près de un pied au 95ième percentile de la stature. L'obtention de la stature moyenne à partir des segments moyens est tout à fait normale, car la moyenne d'une somme de variables aléatoires est égale à la somme des moyennes. D'un autre côté, la symétrie des résultats provient de la symétrie de la distribution normale puisqu'une somme de variables aléatoires normales est normale.

L'échelle des percentiles est, par ailleurs, une échelle ordinale qui ne tient aucun compte de la forme de la distribution des valeurs auxquelles on s'intéresse. Un percentile d'augmentation correspondra à un petit intervalle

dans les régions où la distribution est dense et à un grand intervalle dans les régions où la densité est faible. Dans le cas de la distribution normale, ces intervalles sont plus petits près de la moyenne, s'accroissent lentement à mesure qu'on s'en éloigne, puis s'accroissent ensuite très rapidement au delà d'un certain point. On peut constater cette évolution en examinant le tableau VI et la figure à la page 26.

TABLEAU VI

COST OF ACCOMMODATING ADDITIONAL PERCENTAGES OF A USER-POPULATION
IN MID-RANGE UNITS

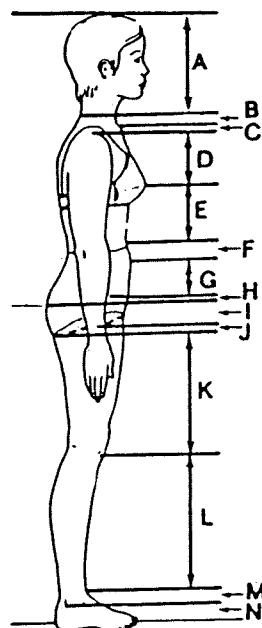
<u>Population Percentage</u>	<u>Cost in Mid-Range Units*</u>
50th to 51st	1.00 unit
60th to 61st	1.04 units
70th to 71st	1.16 units
75th to 76th	1.27 units
80th to 81st	1.45 units
85th to 86th	1.75 units
90th to 91st	2.36 units
91st to 92nd	2.56 units
92nd to 93rd	2.82 units
93rd to 94th	3.15 units
94th to 95th	3.59 units
95th to 96th	4.22 units
96th to 97th	5.18 units
97th to 98th	6.88 units
98th to 99th	10.86 units
(99th to 99.5th)	19.88 units/percent
(99.5th to 99.9th)	51.24 units/percent

*i.e., the width of the interval required for a particular percent expressed as multiples of the width of a similar interval near the center of the distribution.

Référence: NASA Anthropometric Source Book, Volume I, (1978).

TABLEAU III

FIFTH PERCENTILES, MEANS AND NINETY-FIFTH PERCENTILES FOR STATURE SEGMENTS
 (Based on Clauser et al., 1972)



<u>Stature Segment</u>	<u>5%ile</u>	<u>Mean</u>	<u>95%ile</u>
A Cervicale Level to Vertex	20.8	22.91	25.1
B Suprasternale Level to Cervicale Level	5.1	7.19	9.4
C Acromial Level to Suprasternale Level	- 2.1	0.14	2.4
D Bustpoint Level to Acromial Level	10.4	13.54	16.8
E Waist Level to Bustpoint Level	14.3	18.04	21.9
F Abdominal Extension Level to Waist Level	4.9	7.13	9.7
G Trochanteric Level to Abdominal Ext. Level	7.1	10.48	13.6
H Buttock Level to Trochanteric Level	- 2.8	0.46	3.9
I Crotch Level to Buttock Level	. 4.7	7.71	10.5
J Gluteal Furrow Level to Crotch	- 1.3	1.80	5.1
K Tibiale Level to Gluteal Furrow Level	26.7	30.72	34.8
L Ankle Level to Tibiale Level	27.4	30.80	34.4
M Lateral Malleolus Level to Ankle Level	2.4	4.41	6.8
N Floor to Lateral Malleolus	<u>5.8</u>	<u>6.77</u>	<u>7.8</u>
O TOTALS	123.4	162.10	202.2
	(48.6")	(63.8")	(79.6")

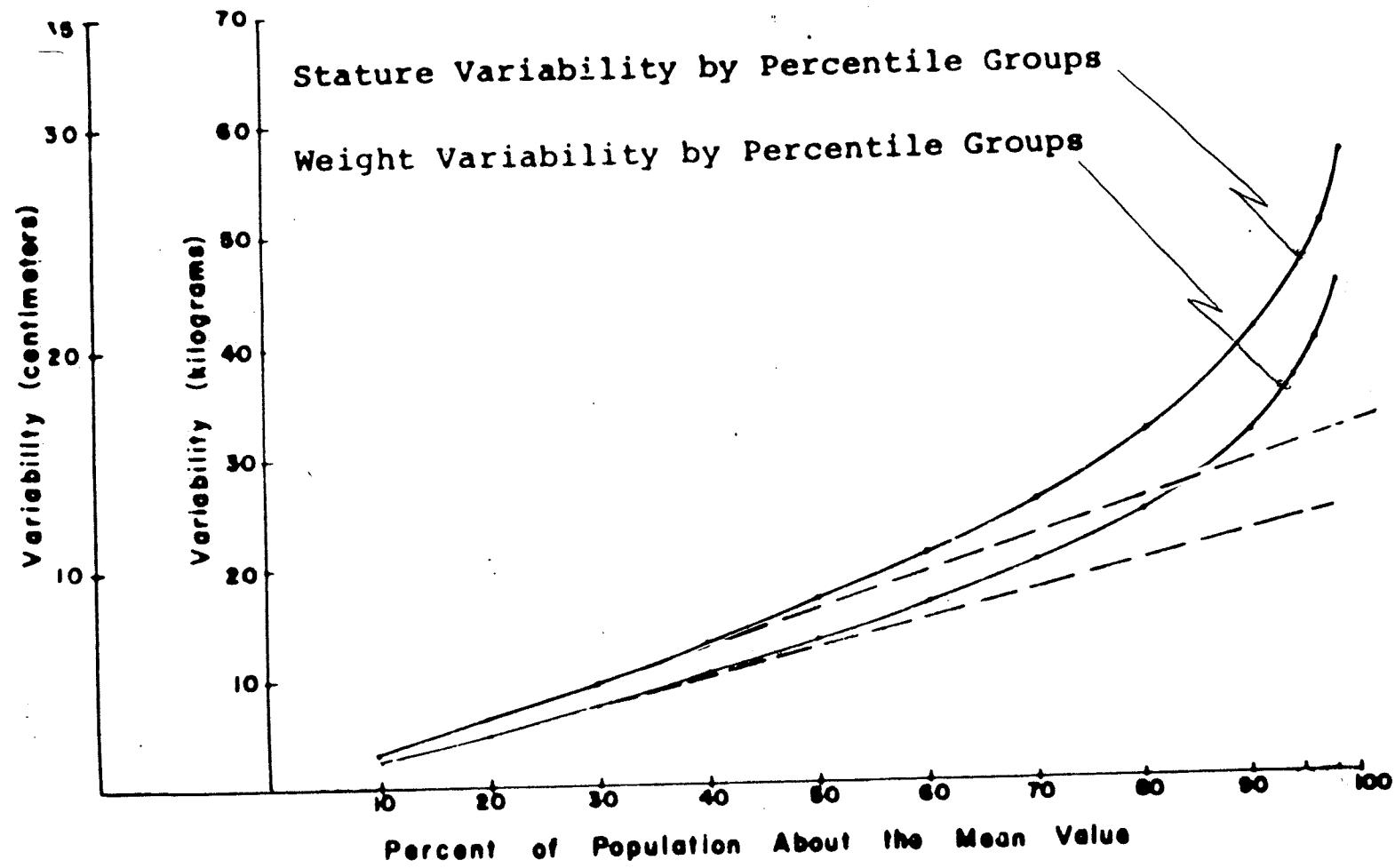
STATURE REELLE (60,0") (63,8") (67,8")

IX,56

Référence: Churchill, Edmond (1978).

GRAPHIQUE III

Variabilité du poids et de la stature en fonction de la taille du groupe autour de la moyenne.



Source: Adopted from Daniels (1952)

Ce tableau illustre bien aussi le fait qu'il est de plus en plus difficile d'accommoder une fraction supplémentaire de sujets, à mesure que la fraction accommodée totale se rapproche de 100%. Les plages d'ajustement nécessaires (ou le nombre de lots à fabriquer) augmentent si rapidement qu'il n'est pas économiquement possible en général, sauf pour certains produits sur mesures d'accommoder tous les individus d'une grande population. C'est pourquoi on parle plutôt d'accommoder la tranche la plus large possible de population. Le problème d'accommodation d'une tranche de la population par des limites de design et des plages d'ajustement est tout à fait analogue à celui des tolérances de jeu et des ajustements dans le design des pièces de machinerie. Une tolérance trop serrée, d'une part, exclura trop d'individus (par sélection ou par autosélection) et entraînera une augmentation exagérée des coûts: baisse de productivité, augmentation des pièces manquées, absentéisme et rotation élevés du personnel, augmentation consécutive des frais de sélection et d'entraînement du personnel, augmentation des accidents en général, etc. Un design qui, d'autre part, accorde une proportion très forte d'individus sera exagérément coûteux à produire, par suite du nombre et de la complexité des ajustements requis, soit au niveau du design lui-même, soit au niveau de la fabrication.

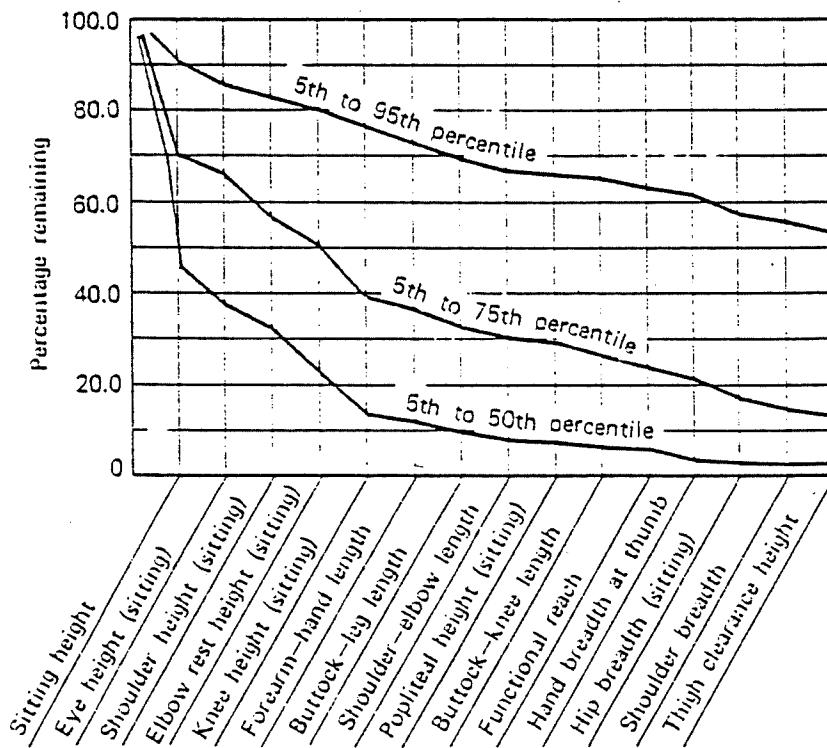
Dans les problèmes à une dimension, il semble réaliste, du point de vue économique, de se fixer pour objectif l'accommodation des individus situés entre le 5ième et le 95ième centile, ou entre le 2,5ième et le 97,5ième, de la dimension pertinente ou critique. Autrement dit, on essaie d'accommoder 90 à 95% des individus environ.

Dans les cas où on doit accommoder les individus par rapport à plusieurs dimensions simultanément, il sera très difficile de conserver cet objectif. Il faudra cependant le respecter et même le dépasser sur le maximum de dimensions possible, si l'on ne veut pas trop réduire la fraction de population finalement accommodée. On comprend facilement que plus il y a de contraintes et plus elles sont sévères, moins il y aura de sujets les satisfaisant toutes simultanément. Roebuck (1975) a étudié la réduction potentielle dans la population des pilotes par des normes anthropométriques de sélection. On peut voir ce qui se passe lorsqu'on ajoute des critères les uns à la suite des autres sur le graphique III à la page 30. Pour chaque critère, on accepte les individus qui se situent entre le 5ième et le 95ième percentile, pour la courbe du haut, entre le 5ième et 75ième, pour la courbe du milieu, et le 5ième et 50ième percentile, pour la courbe du bas. La réduction est d'autant plus forte que l'intervalle en percentile est étroit et que le nombre de dimensions s'accroît. On constate que même si on peut accepter pour chaque dimension toutes les valeurs entre le 5ième et le 95ième centile, on élimine tout de même environ 46% de la population de départ. Le jeu des corrélations entre les dimensions est également tout à fait notable. D'un critère à l'autre, la réduction sera d'autant plus forte que la corrélation entre deux critères sera faible. Or, si toutes les corrélations étaient nulles, le pourcentage d'individus accommodables simultanément entre le 5ième et le 95ième percentile de chaque dimension atteindrait seulement $(0,9)^{15} * 100 = 21\%$ environ pour les quinze critères retenus au lieu des 56% réellement observés.

Le tableau VII, à la page 31, tiré d'une étude analogue réalisée par Moroney et al (1972), nous donne le

pourcentage d'individus en dehors des limites de design, en fonction du nombre de variables parmi onze. D'après ce tableau, 23% des individus tombent en dehors de l'intervalle du 5ième au 95ième centile de l'une des onze variables et 46% pour une, deux ou trois variables sur les onze. On peut y remarquer aussi que le passage à un intervalle d'accommodation situé entre le 3ième et 98ième centile permet une réduction très importante du pourcentage d'individus potentiellement rejétés, ce dernier passant de 52,6% à 32,3%. Le tableau VIII, à la page 32, nous donne les intercorrélations entre les variables utilisées dans le tableau précédent.

GRAPHIQUE III



Potential reduction in pilot population due to anthropometric selection standards.

Three different percentile limit criteria are plotted as a function of selected body dimensions. The more restrictive the range of percentiles and the more the number of dimensions used in selection, the smaller the percentage remaining in the qualifying pilot population. Correlations between dimensions also have a strong effect on these results: the lower the correlation coefficient, the greater the reduction in percentage remaining.

Référence: Roebuch et al. (1975)

TABLE VII

NUMBER AND PER CENT OF INDIVIDUALS EXCLUDED AND
NUMBER OF VARIABLES ON WHICH THEY WERE EXCLUDED

Number and Per cent of Individuals
Falling Outside Critical Limits

Number of Variables on Which an
Individual Fall Outside Critical Limits Percentile Limits

5th-95th 3rd-98th

	N	%*	N	%*
1	355	22.95	256	16.55
2	168	10.86	127	8.21
3	107	6.91	49	3.17
4	72	4.65	41	2.65
5	52	3.36	11	.71
6	32	2.07	5	.32
7	15	.97	5	.32
8	6	.39	3	.19
9	3	.19	2	.13
10	2	.13		
11	2	.13		
TOTAL		52.6%		32.3%

TABLE VIII

INTERCORRELATIONS BETWEEN THIRTEEN ANTHROPOMETRIC FEATURES

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1. Sitting													
Height	.93	.79	.38	.26	.38	.31	.32	.45	.44	.41	.47	.36	
2. Eye Height,													
Sitting		.79	.36	.29	.39	.32	.33	.47	.40	.43	.44	.54	
3. Shoulder Height,													
Sitting			.28	.23	.40	.31	.38	.46	.34	.48	.40	.73	
4. Functional													
Reach				.26	.59	.52	.22	.60	.63	.56	.73	-.08	
5. Bideltoid													
Diameter					.44	.32	.58	.38	.14	.31	.28	.01	
6. Buttock-Knee													
Length, Sitting						.81	.52	.78	.62	.68	.66	-.05	
7. Buttock-Popliteal													
Length, Sitting							.39	.67	.56	.57	.55	-.06	
8. Hip Breadth,													
Sitting								.42	.13	.34	.28	.17	
9. Knee Height,													
Sitting									.78	.75	.74	-.05	
10. Popliteal													
Height, Sitting										.59	.74	-.04	
11. Shoulder													
Elbow Length											.67	-.15	
12. Forearm-Head													
Length												-.03	
13. Elbow Rest													
Height													

Source: MORDNEY et al. (1972)

On pourra dire que dans le monde industriel, les situations ne sont pas en général aussi contraignantes que dans les postes de pilotage de l'aviation militaire. En particulier, les contraintes n'y sont pas aussi nombreuses, ni aussi fortes; il y a davantage de latitude pour adopter des stratégies de compensation, et les opérateurs se permettent fréquemment d'adapter leur poste de travail à leurs caractéristiques en les modifiant de façon ad hoc. De plus, l'opérateur pourra supporter plus ou moins longtemps une certaine dose d'inadaptation, si celle-ci ne se traduit pas par un inconfort trop grand ou des risques trop élevés.

Cependant, il ne faut pas oublier que dans le cas multidimensionnel, il ne sera pas toujours possible de trouver un compromis permettant d'atteindre ou de dépasser l'objectif de 90 à 95% pour chaque dimension ou critère. Ce sera même plutôt difficile en général, dans la mesure où les critères sont souvent conflictuels. Les compromis à faire ne sont que rarement évidents, et le compromis satisfaisant n'est probablement pas unique. Or, si pour une seule dimension, l'objectif doit être sévèrement réduit, le pourcentage d'individus parfaitement accommodés sera sévèrement réduit lui aussi. Sur un graphique analogue à celui de Roebuck (1975), on chuterait, par exemple, du niveau de la première à celui de la dernière courbe, à partir de ce critère. De plus, il existe fréquemment d'autres contraintes qui viennent réduire encore davantage le pourcentage d'individus qui pourront être accommodés par un poste de travail.

Les pilotes de chasse, par exemple, doivent encore répondre à des critères précis de bonne vision, ils doivent être à l'aise dans l'un des dix à douze modèles de combinaison de vol à haute altitude, et ils doivent avoir

acquis une bonne formation technique avant le début de leur entraînement.

Les modifications du poste de travail par l'opérateur ne sont pas toujours optimales, ni même souhaitables, du point de vue de la sécurité ou du confort.

Ces modifications sont en fait le plus souvent des signes d'une inadaptation du poste à la population potentielle des opérateurs ou au travail qui y est fait et, parfois, à l'opérateur lui-même. Enfin, l'inconfort à un poste de travail se traduira souvent, mais pas nécessairement, chez l'opérateur, à court ou à long terme, par diverses pathologies bien connues. Il existe peut-être des plages d'indifférence entre la sensation de confort et la sensation d'inconfort, entre l'individu parfaitement accommodé et celui qui est nettement incommodé. Il vaut mieux cependant ne pas s'y fier car ces plages risquent trop de dépendre fortement des contraintes sur le positionnement des yeux, des mains et des pieds au cours de l'exécution de la tâche.

Ainsi, par exemple, dans une expérimentation sur la hauteur optimale d'un marchepied dans le travail des tisserands sur métiers Sulzer, il suffisait d'une variation de 2 cm, en plus ou en moins, pour que la sensation rapportée par les tisserands passe du plein confort à l'inconfort net.

2.3 QUATRE SOURCES IMPORTANTES DE VARIABILITE ANTHROPOMETRIQUE

Il existe essentiellement quatre sources majeures de variabilité anthropométrique entre les individus:

- l'âge
- le sexe
- l'origine ethnique
- les changements séculaires

2.3.1 L'âge

Nous sommes tous conscients de l'ampleur des changements anthropométriques et morphologiques depuis le plus jeune âge jusqu'à l'âge adulte, et de la nécessité qu'il y a en général de concevoir des dispositifs différents pour des classes d'âge différentes lorsqu'on veut accommoder simultanément des enfants et des adultes.

On est moins conscients cependant de l'importance des changements entre la fin de la vingtaine et la soixantaine, puis entre la soixantaine et le plus grand âge. Ces changements sont pourtant très significatifs. Il est donc nécessaire d'en tenir compte dans la conception de postes de travail.

Ceci est évident du fait que ces derniers se distribuent d'ordinaire sur une plage d'âge très large. Quand ce n'est pas le cas, il faut en chercher l'explication. Celle-ci tient peut-être à un contexte particulier, à un processus précis de sélection ou de promotion, mais, la plupart du temps, on trouve l'explication du côté des mauvaises conditions de travail ou de celui des problèmes d'inadaptation de la tâche et des

équipements aux caractéristiques humaines. De fortes contraintes posturales, par exemple, peuvent être induites par de fortes exigences de productivité et l'inadaptation anthropométrique des équipements de travail. Il peut alors en résulter une autosélection très marquée des travailleurs en fonction de l'âge.

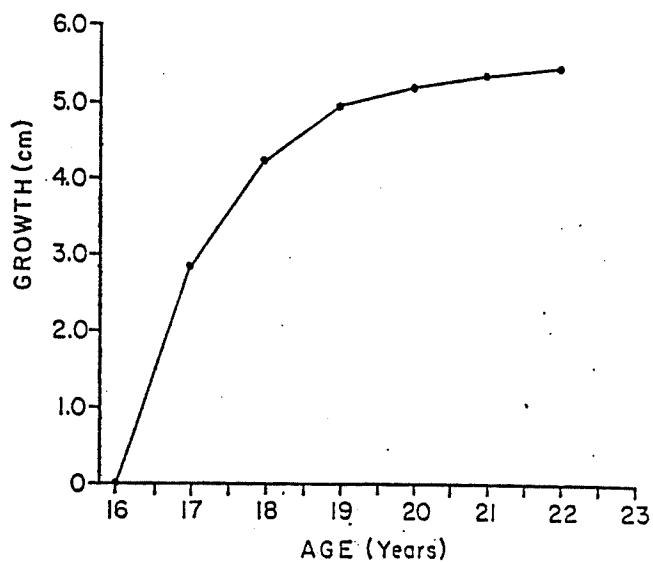
Du point de vue de l'ergonomie, on peut citer, parmi les changements importants, en fonction de l'âge:

- a) l'accroissement de la stature jusque vers 25 ans, puis sa décroissance de plus en plus rapide avec l'âge, au dessus de 30 ans environ (Voir figures pages 38 et 39);
- b) l'accroissement du poids jusque dans la soixantaine, comprenant un accroissement particulièrement marqué entre 30 et 40 ans, suivi éventuellement d'une décroissance sous le niveau de 30 ans (pages 39 et 40);
- c) la tendance du périmètre thoracique à s'accroître jusqu'au moins dans la soixantaine (page 40);
- d) la tendance du périmètre abdominal à s'accroître aussi jusqu'au moins dans la soixantaine (page 40);
- e) la décroissance de la force musculaire maximale, par suite d'une diminution du tissu maigre et, donc, du nombre de fibres musculaires;
- f) l'augmentation du pourcentage de tissu gras.

Le tableau de la page 40 résume les changements moyens observés par décade entre 20 et 60 ans.

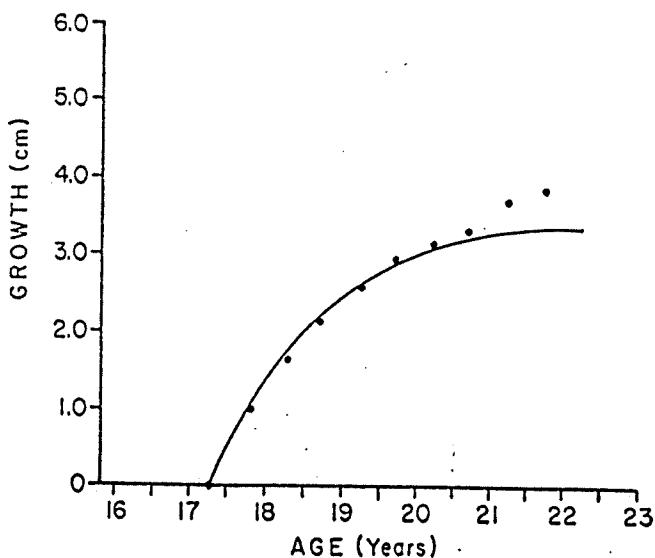
GRAPHIQUE V

a)



Growth curve based on longitudinal study of 44 American White males
(Child Research Council of the University of Colorado).

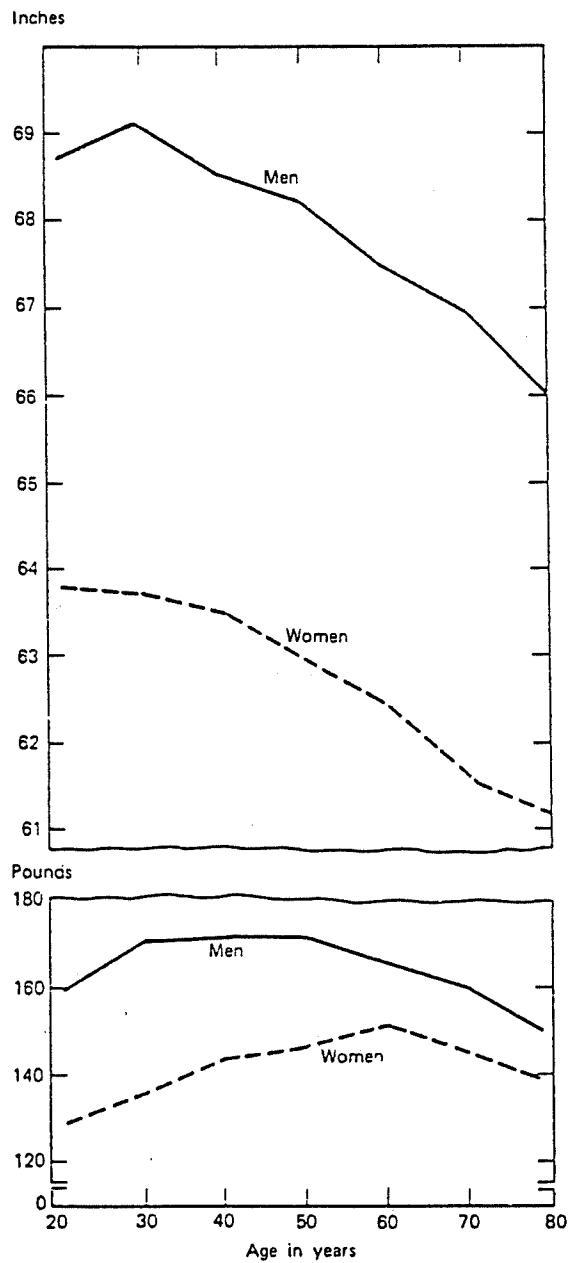
b)



Average increments of growth of White males of Korean War series
(in one-half year intervals) from age 17 to 22 years and fitted theoretical
curve, $s_x - s_{17.5} = 3.50 [1 - e^{-(x-17.5)}]$ where x equals age.

Source: Trotter and Gleser (1958).

GRAPHIQUE VI



Average Height and Weight as a function of age for U.S. adults 18-79 years, circa 1960-1962 (from Stoudt, Damon, McFarland, and Roberts, 1965).

Source: Annis, J.F. (1979)

AVERAGE BODY CHANGES WHICH OCCUR WITH AGING BASED ON GSELL (1967)*

Age in years	Body Length	Body Weight	Chest Circ. (minimum)	Abdominal Circ.
20-30	+ till age 25	---	+6.8 (2.7)	+5.4 (2.1)
30-40	- 0.6 (0.2)	+3.4 (7.5)	+2.4 (0.9)	+4.6 (1.8)
40-50	- 1.4 (0.6)	+2.5 (5.5)	+1.7 (0.7)	+3.2 (1.3)
50-60	- 1.7 (0.7)	+2.1 (4.6)	---	---

*Data given in kilograms and centimeters with pounds and inches in parentheses.

Référence: Annis, J.F. (1979)

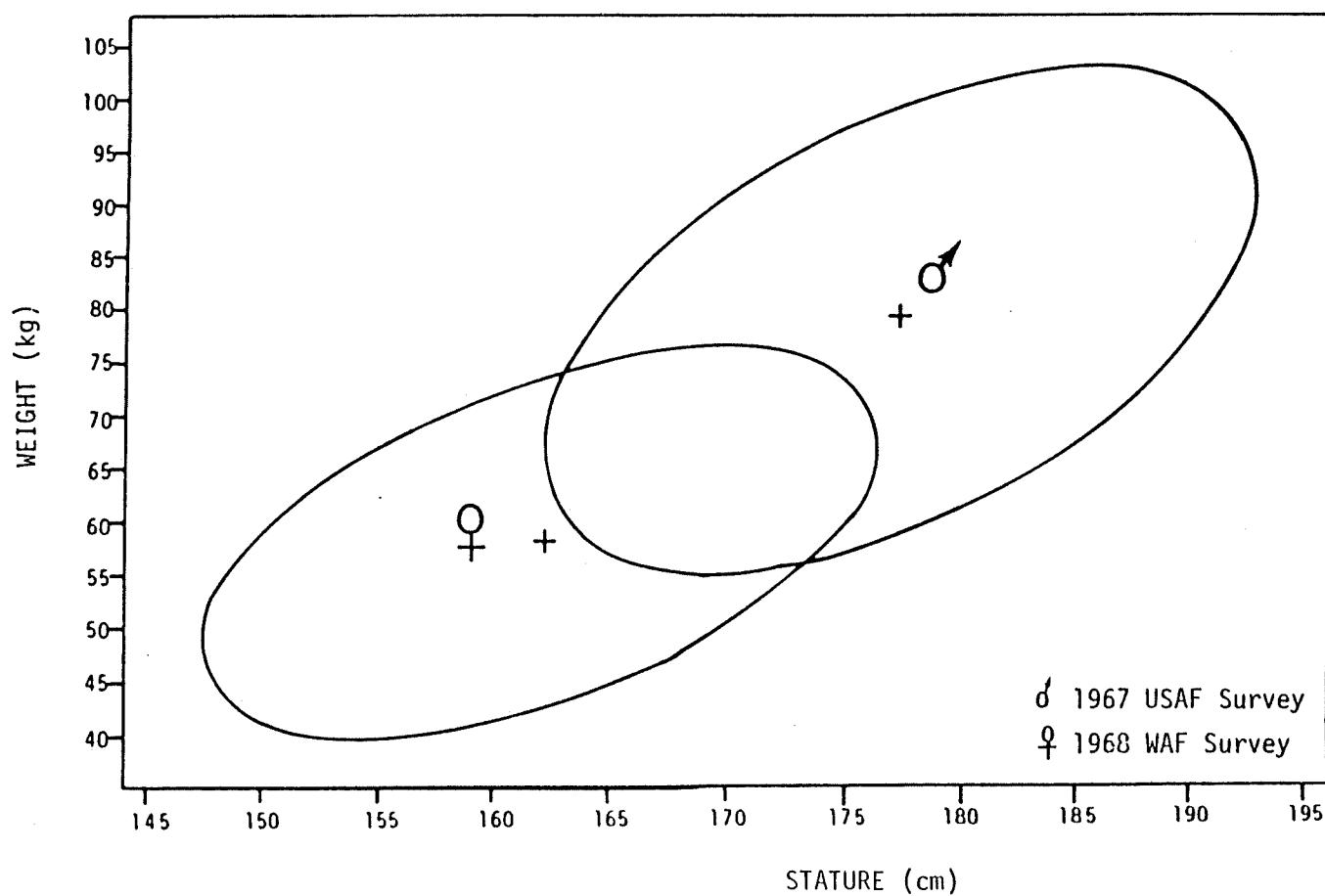
2.3.2 Le sexe

Le sexe est évidemment lui aussi une source très importante de variation anthropométrique entre les individus. Ceci peut être illustré à l'aide du graphique 7 à la page suivante. A l'intérieur de la première ellipse, on retrouve 95% des femmes, tandis qu'à l'intérieur de la seconde, on retrouve 95% des hommes. On savait déjà, bien entendu, que les femmes sont en général plus petites et plus légères que les hommes. Cependant, ce graphique précise assez bien la très nette différence entre les deux populations et, en particulier, il indique clairement l'étendue considérable de la variation entre, par exemple, la femme du 5ième centile et l'homme du 95ième centile de taille ou de poids. Les tableaux 9 et 10 aux pages 45 et 46 fournissent une autre illustration très claire des différences marquées entre les sexes du point de vue anthropométrique.

Tout ceci nous démontre qu'il y aurait un avantage certain à connaître aussi bien la population féminine que la population masculine. Malheureusement, il existe beaucoup moins d'études et de données anthropométriques utiles sur les femmes que sur les hommes. De plus, ces études sont en général plus vieilles et plus limitées que celles portant sur les hommes. Ceci provient de ce que la plupart des études d'envergure ont été réalisées pour les besoins militaires, en matière notamment de conception et de fabrication des équipements, des vêtements et des protecteurs personnels ⁽¹⁾. Or, jusqu'à récemment, les problèmes d'adaptation anthropométrique du matériel militaire ne concernaient, presque exclusivement, que les hommes, dans la mesure où les femmes étaient cantonnées dans des travaux de bureau ou d'arrière-ligne.

⁽¹⁾ Pour les diverses fonctions stratégiques: surveillance, transport, communications, combats, secours, intendance et entretien.

GRAPHIQUE VII



Distributions of stature and weight for U.S. Air Force personnel - male and female.

* Approximately 95% of each group is contained within the appropriate ellipse.

Sources: Annis, J.F. (1978). Churchill, E. (1978).

Il existe cependant une règle pratique qui nous permet d'estimer approximativement une donnée manquante pour les femmes à partir d'une donnée existante pour les hommes. C'est la règle dite du 92%.

Cette règle ne s'applique pas, bien entendu, à ces rotundités qui, chez la femme, diffèrent nettement de celles de l'homme, mais elle semble fournir en général des estimations assez proches de la réalité. Cette règle peut être énoncée de la façon suivante:

1. pour estimer la stature ou toute autre longueur chez une femme, multiplier par 0,92 la stature ou la longueur correspondante chez l'homme.
2. pour estimer un périmètre féminin, multiplier le périmètre masculin correspondant par $(0,92)^2 = 0,85$
3. pour estimer le poids d'une femme, multiplier le poids de l'homme correspondant par $(0,92)^3 = 0,78$

ou, autrement dit:

$$\left(\frac{L_f}{L_h} \right) = \left(\frac{P_f}{P_h} \right)^{1/2} = \left(\frac{W_f}{W_h} \right)^{1/3} = 92\%$$

Cette règle a été documentée en particulier à l'aide du tableau 9 de la page 45. Le tableau 10 de la page 46 fournit une règle semblable pour estimer une donnée féminine du 5ième percentile à partir de la donnée masculine au 95ième percentile: au lieu de 0,92, il conviendrait de prendre 0,79. Il est vraisemblablement préférable cependant

d'appliquer la règle précédente à l'homme moyen, puis de déduire la donnée du 5ième percentile et celle du 95ième percentile de la femme en utilisant soit le même coefficient de variation que celui de la population masculine, soit la même variance, soit un estimé de la variance féminine effectué par exemple, à partir des variances mesurées pour d'autres populations féminines ou pour des variables analogues à celle qui est considérée.

TABLEAU X

SELECTED DIMENSIONS OF MALES AND FEMALES IN THE U.S. POPULATION
(BASED ON STOUDT ET AL. 1965)*

<u>Variable</u>	<u>Males</u> (25.5-34.5 years)		<u>Females</u> (18.5-24.5 years)		<u>Ratio**</u>
	<u>Mean</u>	<u>S.D.</u>	<u>Mean</u>	<u>S.D.</u>	
Arm circumference (biceps)	31.14 (12.26)	3.20 1.26	26.10 (10.28)	3.40 (1.34)	.84
$\sqrt{\text{---}}/\sqrt{\text{---}}$.92
Biacromial diameter	40.1 (15.79)	2.10 (.83)	35.50 (13.98)	1.90 (.75)	.89
Buttock-knee length	59.79 (23.54)	2.95 (1.16)	56.67 (22.31)	3.18 (1.25)	.95
Buttock-popliteal length	49.81 (19.61)	3.18 (1.25)	47.80 (18.82)	3.15 (1.24)	.96
Chest circumference	99.2 (39.06)	8.30 (3.27)	83.7 (32.95)	6.20 (2.44)	.84
Elbow-elbow breadth	41.55 (16.36)	4.52 (1.78)	33.66 (13.25)	4.11 (1.62)	.81
$\sqrt{\text{---}}/\sqrt{\text{---}}$.90
Elbow rest height	24.64 (9.70)	2.77 (1.09)	22.76 (8.96)	2.69 (1.06)	.92
Knee height	54.84 (21.59)	2.82 (1.11)	50.09 (19.72)	2.59 (1.02)	.90
Popliteal height	45.34 (17.85)	2.69 (1.06)	40.59 (15.98)	2.46 (.97)	.90
Seat breadth	35.46 (13.96)	2.87 (1.13)	35.10 (13.82)	3.28 (1.29)	.99
Sitting ht. (erect)	91.44 (36.0)	3.45 (1.36)	85.29 (33.58)	3.20 (1.26)	.92
Sitting ht. (relaxed)	87.12 (34.30)	3.58 (1.41)	82.37 (32.43)	3.45 (1.36)	.95
Stature	175.3 (69.02)	7.00 (2.76)	162.0 (63.78)	6.20 (2.44)	.93
Thigh clearance height	14.71 (5.79)	1.78 (.70)	13.46 (5.30)	1.68 (.66)	.92
Waist circumference	86.69 (34.13)	10.69 (4.21)	69.55 (27.38)	9.35 (3.68)	.80
Weight	77.4 (170.45)	13.10 (28.95)	58.9 (129.8)	11.00 (24.33)	.76
$\sqrt[3]{\text{---}}/\sqrt[3]{\text{---}}$.91

*Data given in centimeters and kilograms (for weight) with inches and pounds in parentheses.

**Female \bar{X} /Male \bar{X} .

TABLEAU XI

COMPARISON OF MALES AND FEMALES FOR SELECTED DIMENSIONS
5TH AND 95TH PERCENTILE VALUES*
(FROM 1967 USAF SURVEY UNPUBLISHED AND CLAUSER ET AL. 1972)

<u>Variable</u>	Males		Females		<u>Ratio**</u>
	<u>5th%</u>	<u>95th%</u>	<u>5th%</u>	<u>95th%</u>	
Weight	63.6 (140.2)	95.6 (210.8)	46.4 (102.3)	70.9 (156.3)	.49
Stature	167.2 (65.8)	187.7 (73.9)	152.4 (60.0)	172.1 (67.8)	.81
Sitting height	88.1 (34.7)	98.6 (38.8)	80.4 (31.7)	90.9 (35.8)	.82
Acromial height	135.7 (53.4)	154.8 (60.9)	123.0 (48.4)	141.1 (55.6)	.79
Waist height	98.7 (38.9)	114.3 (45.0)	93.1 (36.7)	107.9 (42.5)	.81
Crotch height	78.3 (30.8)	92.0 (36.2)	68.1 (26.8)	81.4 (32.0)	.74
Popliteal height	40.1 (15.8)	47.5 (18.7)	38.0 (15.0)	44.1 (17.4)	.80
Thigh clearance height	14.3 (5.6)	18.8 (7.4)	10.4 (4.1)	14.6 (5.7)	.55
Buttock-knee length	56.1 (22.1)	65.0 (25.6)	53.2 (20.9)	61.9 (24.4)	.82
Sleeve length	85.2 (33.5)	96.8 (38.1)	74.2 (29.2)	85.1 (33.5)	.77
Sleeve inseam	44.4 (17.5)	52.8 (20.8)	40.2 (15.8)	48.2 (19.0)	.76
Hand length	17.8 (7.0)	20.5 (8.1)	16.9 (6.7)	20.1 (7.9)	.82
Foot length	25.1 (9.9)	29.0 (11.4)	22.2 (8.7)	26.0 (10.2)	.77
Biacromial breadth	37.5 (14.8)	43.8 (17.2)	33.2 (13.1)	38.6 (15.2)	.76
Chest circ. (scye)	92.5 (36.4)	112.4 (44.3)	77.0 (30.3)	93.2 (36.7)	.69
Waist circ.	75.7 (29.8)	100.1 (39.4)	59.5 (23.4)	77.2 (30.4)	.59
Buttock circ. (sitting)	97.1 (38.2)	119.3 (47.0)	90.8 (35.7)	110.8 (43.6)	.76
Thigh circ.	51.5 (20.3)	66.2 (26.1)	48.7 (19.2)	62.6 (24.6)	.74
Calf circ.	33.3 (13.1)	40.6 (16.0)	30.6 (12.0)	38.1 (15.0)	.75
Hand circ.	20.0 (7.9)	23.1 (9.1)	16.8 (6.6)	19.8 (7.8)	.73
Head circ.	55.2 (21.7)	59.9 (23.6)	52.3 (20.6)	57.6 (22.7)	.87
Biceps circ. (flexed)	28.5 (11.2)	35.9 (14.1)	23.0 (9.1)	30.7 (12.1)	.64

*Data given in kilograms and centimeters with pounds and inches in parentheses.
**5th% Female/95th Male.

2.3.3 L'origine ethnique et culturelle

La stature, le poids, les proportions des individus, la distribution des types morphologiques et de certaines caractéristiques génétiques varient en fonction de l'origine ethnique des individus. Ceci peut être illustré à l'aide du tableau 11 de la page 47 et de la figure de la page 48.

Les caractéristiques morphologiques et anthropométriques sont également fonction du travail, des loisirs, de l'alimentation, du climat, du niveau de vie, des modes et de la culture d'origine ou d'immersion des individus. Dans les années cinquante, par exemple, on observait au Québec un fort pourcentage d'individus dont les épaules, en position debout relâchée, tombaient vers l'avant, tandis que la face postérieure des bras étaient tournée nettement vers le plan médio-sagittal. Cette posture s'explique sans doute par le fort pourcentage de cultivateurs dans la population d'alors et le type de forces qu'ils exerçaient constamment, essentiellement vers l'avant, dans les divers travaux de ferme.

Elle s'explique peut-être aussi, du moins en partie, par le rôle du mimétisme social au niveau des postures. Il est possible alors que le passage par l'armée, où on apprenait à se tenir les épaules redressées, ait contribué à faire disparaître cette tendance après la seconde guerre mondiale, étant donné le prestige de l'armée à cette époque et la pénétration généralisée, peu après, de la télévision dans les foyers.

STATURE, WEIGHT, AND STATURE:WEIGHT RATIO AMONG INHABITANTS
OF DIFFERENT PARTS OF THE WORLD (DOBZHANSKY, 1962, AFTER BLACK)*

MEAN VALUE

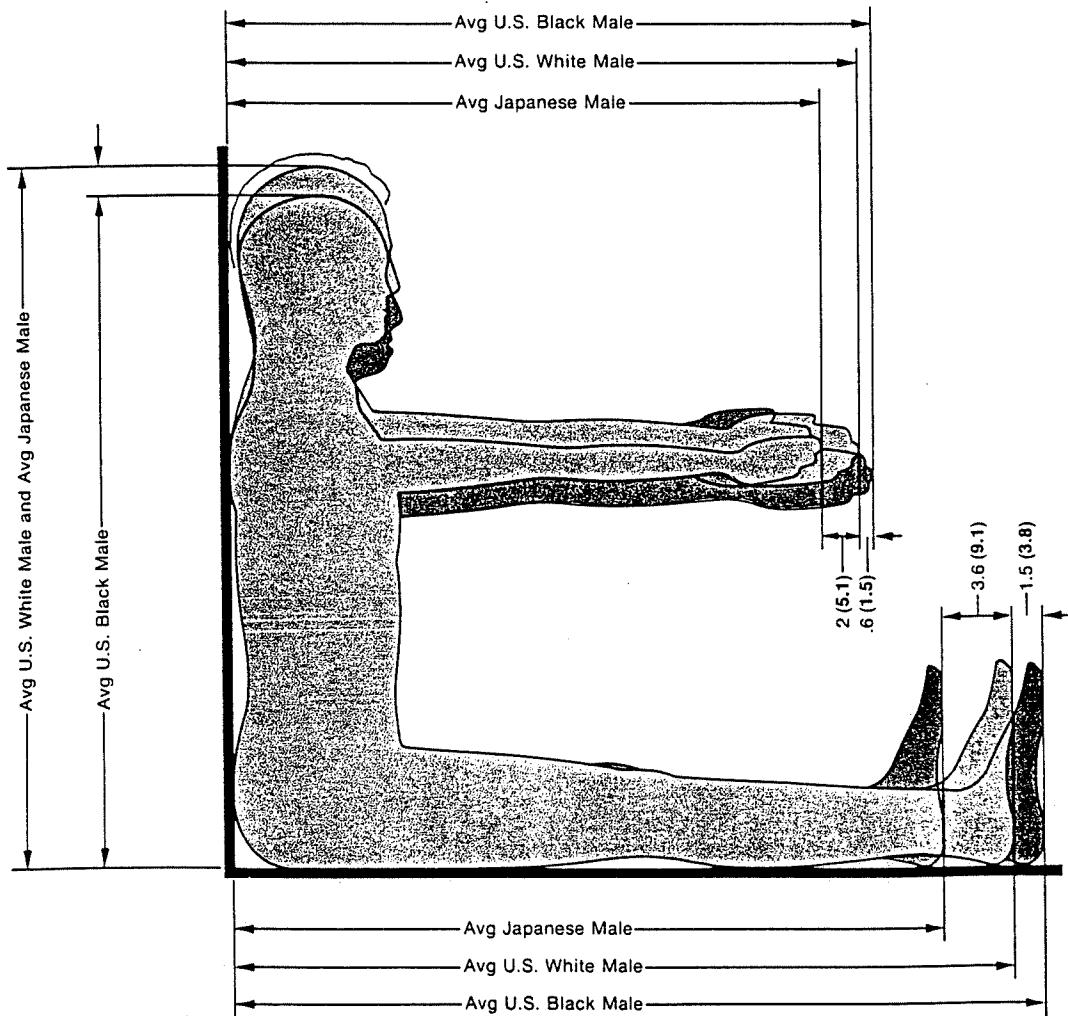
<u>Population</u>	<u>Stature</u>	<u>Weight</u>	<u>Ratio</u>
White			
Finland	171.0	(67.3)	70.0 (154.4) 2.44
United States (Army)	173.9	(68.5)	70.2 (154.8) 2.48
Iceland	173.6	(68.4)	68.1 (150.2) 2.55
France	172.5	(67.9)	67.0 (147.7) 2.57
England	166.3	(65.5)	64.5 (142.2) 2.58
Sicily	169.1	(66.6)	65.0 (143.3) 2.60
Morocco	168.9	(66.5)	63.8 (140.7) 2.65
Scotland	170.4	(67.1)	61.8 (136.3) 2.76
Tunisia	173.4	(68.3)	62.3 (137.4) 2.78
Berbers	169.8	(66.9)	59.5 (131.2) 2.85
Mahratta (India)	163.8	(64.5)	55.7 (122.8) 2.94
Bengal (India)	165.8	(65.3)	52.7 (116.2) 3.15
Black			
Yambasa	169.0	(66.5)	62.0 (136.7) 2.73
Kirdi	166.5	(65.6)	57.3 (126.4) 2.90
Baya	163.0	(64.2)	53.9 (118.9) 3.02
Batutsi	176.0	(69.3)	57.0 (125.7) 3.09
Kikuyu	164.5	(64.8)	51.9 (114.4) 3.17
Pygmies	142.2	(56.0)	39.9 (88.0) 3.56
Efe	143.8	(56.6)	39.8 (87.8) 3.61
Bushmen	155.8	(61.3)	40.4 (89.1) 3.86
Oriental			
Kazakh (Turkestan)	163.1	(64.2)	69.7 (153.7) 2.34
Eskimo	161.2	(63.5)	62.9 (138.7) 2.56
North China	168.0	(66.1)	61.0 (134.5) 2.75
Korea	161.1	(63.4)	55.5 (122.4) 2.90
Central China	163.0	(64.2)	54.7 (120.6) 2.98
Japan	160.9	(63.4)	53.0 (116.9) 3.04
Sundanese	159.8	(62.9)	51.9 (114.4) 3.08
Annamites	158.7	(62.5)	51.3 (113.1) 3.09
Hong Kong	166.2	(65.4)	52.2 (115.1) 3.18

*Data given in centimeters and kilograms with inches and pounds in parentheses.

Source: Annis, J.F. (1978).

FIGURE VIII

**Proportional
Differences in Races**



Compressed Seat Hgt (approx):
 17 (43.2) Avg U.S. White Male
 17.5 (44.5) Avg U.S. Black Male
 15.5 (39.4) Avg Japanese Male

Reliable data are not available for
other Orientals.

Note: Body measurements
given on the selectors for the
U.S. population include
about 11% nonwhites, mostly
blacks.

Source: DIFFRIENT, N. et al. (1974) Human Scale 1/2/3.

Il est bien connu qu'autrefois et encore de nos jours dans certains pays, l'embonpoint et l'obésité avaient des connotations fort positives. Au Québec même, il ny a pas si longtemps, on disait d'un homme trop gras qu'il était prospère, qu'il savait jouir des plaisirs de la vie, que son épouse était une bonne cuisinière ou qu'elle en prenait bien soin. De même, on appréciait les femmes bien en chair. De nos jours, on dit plutôt que de telles personnes souffrent d'un régime alimentaire déséquilibré, d'un appétit insatiable, de troubles hormonaux, de complexes névrotiques, qu'elles ne savent pas se modérer, qu'elles se négligent et encore qu'elles sont menacées de troubles cardio-respiratoires et ainsi de suite.

Les critères esthétiques se sont modifiés parallèlement de sorte que l'embonpoint et l'obésité sont aujourd'hui synonymes de maladie et, assez fréquemment, de laideur. De nos jours, les individus sont donc fortement encouragés par la société dans son ensemble à contrôler leur poids pour qu'il demeure à l'intérieur de certaines limites.

Par ailleurs, depuis l'entrée des pays industrialisés dans l'ère de l'automation et de l'informatisation, on a pris de plus en plus conscience qu'un niveau d'activité physique trop bas est aussi nuisible pour la santé qu'une activité physique exagérée, ou trop répétitive et trop peu variée. Une activité physique suffisamment intense et variée mais non exagérée est considérée dans certains milieux comme le moyen idéal pour maintenir une résistance élevée à la fatigue et, en particulier, à la fatigue mentale induite par le rythme trépidant de la vie moderne et, plus spécialement, par les tâches mentales et intellectuelles qui se répandent de plus en plus. D'où l'importance attachée aux activités sportives personnelles, et le succès des centres sportifs et des centres de conditionnement et de

culture physique. D'où également de nouveaux changements au niveau des critères esthétiques; pour paraître beau et en santé, il ne suffit plus d'être mince: il faut aussi être en forme et, dans certains milieux, avoir les muscles bien développés. Dans d'autres milieux, par contre, c'est le mouvement de l'anti-gymnastique et les diverses formes de yoga qui sont considérées comme le moyen idéal d'acquérir et de maintenir une résistance élevée à la fatigue sous toutes ses formes.

Ces changements de valeurs et de mode de vie ont des incidences très profondes sur les caractéristiques anthropométriques et morphologiques de la population. En particulier, en ce qui concerne les périmètres et la distribution des types morphologiques, ces changements sont très importants pour l'industrie en général et, plus particulièrement, pour les industries du vêtement, de l'automobile, de l'ameublement et de l'aviation. Certaines modes ne dureraient pas. La popularité de la mésomorphie, dans certains milieux par exemple, ne durera probablement pas car il n'y a pas de rapport en général entre le développement musculaire et l'habileté dans les sports et les activités motrices. Un développement spécifique et suffisant est souvent nécessaire à une activité donnée, mais la souplesse, la coordination motrice, le sens de la tactique et de la stratégie sont souvent plus importants encore (B. Knapp, 1971). D'autres modes par contre, sont là pour durer, espérons-le, du fait qu'elles sont fondées sur des notions valables d'hygiène physique et mentale.

Au niveau du Canada, les caractéristiques anthropométriques et morphologiques de la population varient d'une région à l'autre, et selon les origines ethniques ancestrales des habitants de chaque région. Certaines

régions, par exemple, ont connu assez récemment un afflux considérable d'immigrants relativement grands en provenance du nord et de l'est de l'Europe, alors que d'autres ont connu un afflux d'immigrants relativement courts et trapus en provenant du sud-ouest de l'Europe.

Un autre facteur important est que la population du Canada se trouve dispersée sur une aire très vaste. Elle s'est ainsi naturellement morcelée en sous-groupes plus ou moins endogames ayant chacun ses caractéristiques propres.

Au Québec, les caractéristiques anthropométriques et morphologiques de la population varient également d'une région à l'autre et selon l'origine ethnique de chaque individu. Les Canadiens-français, par exemple, descendent essentiellement d'un très petit groupe d'immigrants venus surtout du Centre-ouest de la France (7300 personnes environ entre 1608 et 1740). Les patronymes actuels montrent la très forte endogamie du groupe. L'expansion démographique considérable de ce dernier est due essentiellement à son accroissement naturel, et non à d'autres immigrations. Le résultat en est qu'on peut faire l'hypothèse que les Canadiens-français sont probablement plus proches des Français que de tout autre groupe, du point de vue morphologique et anthropométrique.

Cette hypothèse semble confirmée par l'étude de Benoist et Auger en 1964 d'un petit échantillon de Canadiens français. Les différences entre les régions proviennent du fait que les Canadiens français se sont subdivisés, eux aussi, en sous-groupes régionaux plus ou moins endogames, au Québec et à travers toute l'Amérique du Nord. Il est à noter cependant que la population canadienne française évolue actuellement à un rythme très rapide, par suite notamment:

- d'une urbanisation rapide et récente, ayant pour effet de brasser, socialement et génétiquement, les individus de diverses régions ou ethnies;
- des transformations des modes de vie, et de leur influence sur l'alimentation, les activités de travail et de loisirs, etc, tels que décrits plus haut;
- des immigrations récentes d'origine ethnique différente.

Il est donc important pour la population québécoise dans son ensemble, et ceux d'origine française en particulier, de suivre de près l'évolution de ses caractéristiques anthropométriques et morphologiques. Malheureusement, non seulement un tel suivi n'existe pas, mais il n'y a jamais eu encore d'étude d'envergure de ces caractéristiques pour la population du Québec dans son ensemble. Il existe une étude sur la croissance des enfants, une autre sur les personnes de plus de 60 ans et, à part quelques études ponctuelles (portant d'ailleurs sur un très petit nombre de variables seulement), c'est à peu près tout.

2.3.4 Les changements séculaires

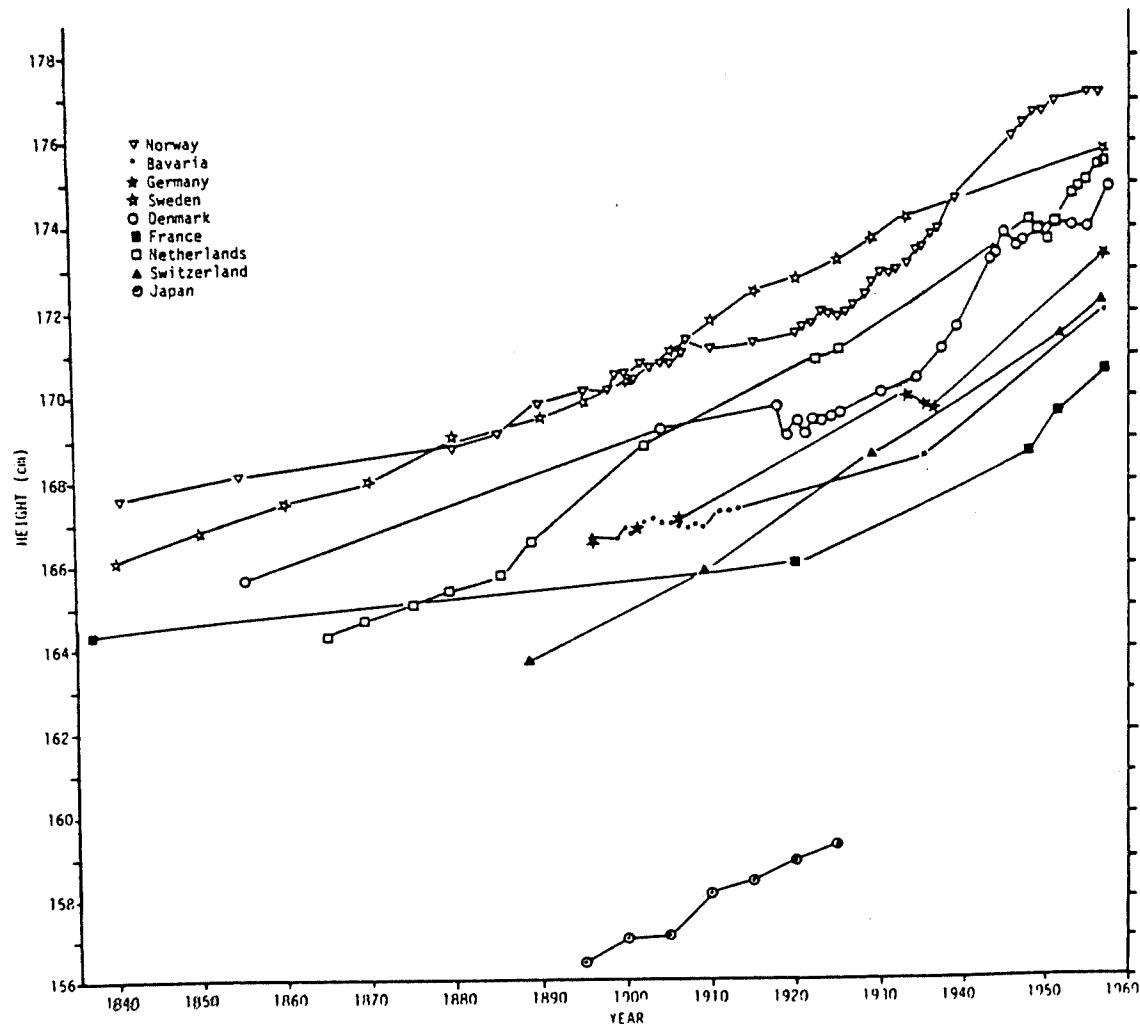
On appelle changements séculaires les changements historiques relativement lents des moyennes et des variances des populations pour un âge donné. En particulier, on connaît bien l'augmentation séculaire de la taille. Il s'agit là d'un phénomène observé mondialement et il est généralement attribué à l'amélioration régulière des conditions de vie (Voir figures page 55,56 et tableau page 56).

En fait, il ne s'agit là que d'une hypothèse et qui repose elle-même sur les quatre hypothèses suivantes:

1) L'amélioration constante et régulière de l'alimentation des populations, en quantité comme en qualité, explique en partie le fait que les adolescents débutent leur croissance de plus en plus tôt, la poursuivent de plus en plus rapidement et de plus en plus longtemps, par rapport aux générations précédentes. En particulier, la variété et la disponibilité à l'année longue des aliments s'est constamment améliorée depuis le début de l'industrialisation. Les législations de nombreux pays obligent les distributeurs de divers aliments essentiels (lait, pain, beurre, farine, céréales) à ajouter à ceux-ci des traces prédéterminées de certains composés importants (iode, vitamines, calcium, etc.).

Il n'est pas absolument certain que les gens se nourrissent en général moins mal. Mais de nombreux auteurs ont remarqué que les arrêts ou les régressions de l'augmentation séculaire de la taille ont constamment coïncidé avec des périodes de pénurie alimentaire. En particulier, on a observé de tels arrêts ou régressions pendant la crise économique des années trente et pendant les deux grandes guerres mondiales. On les a observé, plus précisément, dans les tranches d'âges qui étaient alors dans l'adolescence. Il s'agit donc ici d'une hypothèse bien étayée.

GRAPHIQUE IX



Secular increase in stature of young European and Japanese males: 1840-1960.
After: Udjus (1964), and Harbeck (1960).

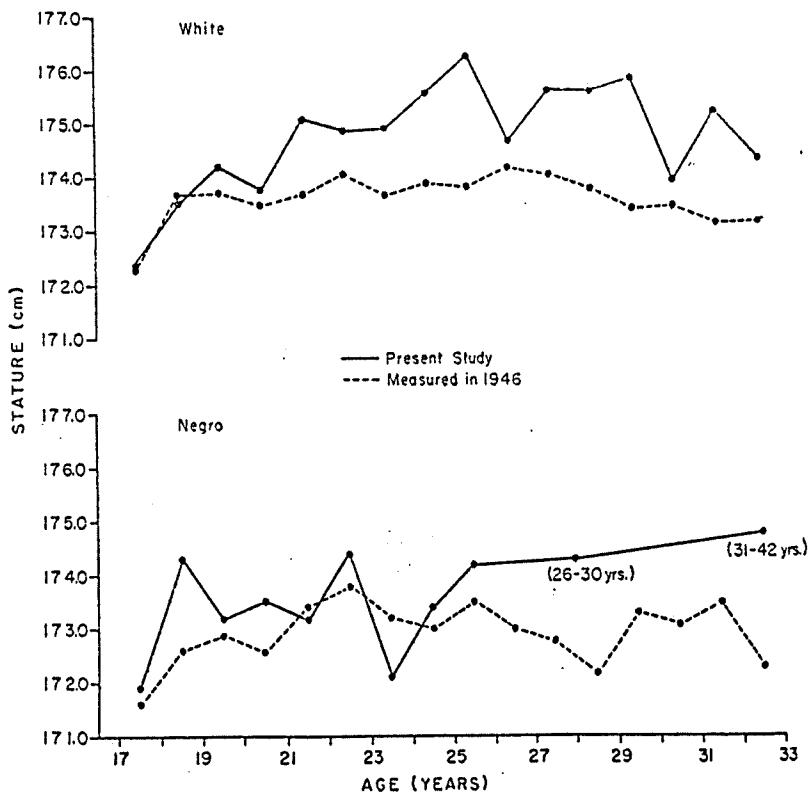
Source: Annis, J.F. (1978).

TABLEAU XIII

LENGTH OF INTERVAL	AGE IN ONE-HALF YEAR INTERVALS							
	17-17.5	17.5-18	18-18.5	18.5-19	19-19.5	19.5-20	20-20.5	20.5-21
Yrs.								
½	1.03	.72	.51	.36	.26	.18	.13	.09
1	1.75	1.23	.87	.62	.44	.31	.22	.16
1½	2.26	1.59	1.13	.80	.57	.40	.29	.20
2	2.62	1.85	1.31	.93	.66	.47	.33	
2½	2.88	2.03	1.44	1.02	.73	.51		
3	3.06	2.16	1.53	1.09	.77			
3½	3.19	2.25	1.60	1.13				
4	3.28	2.32	1.64					
4½	3.35	2.36						
5	3.39							

Average increase (cm) in stature of American White males in one-half year intervals and multiples thereof from 17 to 21 years of age

GRAPHIQUE X



Comparison of mean statures of White and Negro males of present study with those measured in 1946 (41,850 Whites and 6,835 Negroes) according to age.

Source: Trotter et Gleser (1958).

- 2) L'amélioration régulière et constante des conditions de sommeil explique sans doute en partie cet accroissement, étant donné que le taux de sécrétion par l'hypophyse de l'hormone de croissance atteint son maximum pendant le sommeil et son minimum pendant la veille. Or, la qualité et la durée du sommeil sont affectées par l'alimentation et les conditions de vie. Il est difficile, en effet, de dormir convenablement le ventre creux, ou lorsqu'on vit dans des conditions très pénibles ou insécuries. Ce n'est pas tant une question de quantité que de qualité. Une grande partie des maladies courantes dans les sociétés à faible coefficient de sécurité sont de nature essentiellement psychosomatique (Lévi-Strauss, 1949).
- 3) La disparition d'une grande partie du travail pénible, du moins dans les pays industrialisés, pourrait être aussi à l'origine d'une partie de l'accroissement séculaire de la taille. Les résultats de Trotter et Gleser suggèrent que l'augmentation de la taille de la population américaine, entre leurs deux études, serait attribuable essentiellement à un accroissement marqué de la croissance de la colonne vertébrale après 18 ans, chez un nombre de plus en plus grand d'individus. La longueur des os longs, en effet, n'a pas varié entre ces deux études, alors que la stature a augmenté, de même que sa variance. Il faudrait donc que la disparition du travail manuel pénible dans la vie d'un nombre de plus en plus grand d'individus ait eu pour effet de retarder, chez ceux-ci, le début de la dégénérescence des

disques intervertébraux ou de faire disparaître une source de freinage de la croissance de la colonne vertébrale, soit au niveau de ces os très spongieux que sont les vertèbres, soit au niveau des disques, soit aux deux niveaux. Il faut cependant reconnaître que les études de Trotter et Gleser ne sont séparées que par quelques années. Il est donc possible que l'écart entre les deux études n'ait pas été suffisamment grand pour permettre la mise en évidence des changements éventuels au niveau des os longs.

L'importance de l'accroissement de la colonne vertébrale pour expliquer l'amplitude des changements séculaires de la stature observés depuis près de deux siècles n'est pas claire. Il peut s'agir seulement d'un phénomène récent. Toutefois, que d'autres facteurs soient à l'œuvre ou non, les coefficients de régression pour prédire la stature à partir de la longueur des os longs sont en pleine évolution.

Par ailleurs, il n'est pas exclus que l'augmentation de la stature avec le temps soit due à des facteurs éthologiques. Nombre de nos comportements sociaux, en effet, sont hérités des primates. En particulier, les individus plus grands auront tendance à avoir un statut social et un niveau de vie plus élevés que les individus plus petits. Il est possible qu'un physique plus imposant donne plus d'assurance en soi dans ses rapports avec les autres; mais on sait aussi que les gens ont tendance à associer les grandes statures aux postes socialement importants

(Desmond Morris). Si, par exemple, on leur donne des photos d'hommes ou de femmes, sous lesquelles on indique tantôt une profession, tantôt une autre, au hasard, et qu'on leur demande d'évaluer la stature de ces personnes, ils fourniront des chiffres d'autant plus forts que la profession indiquée a un statut social important: manœuvre, secrétaire, mécanicien, ingénieur, médecin, directeur, ministre, etc. Or, on peut montrer, en éthologie, à partir d'exemples bien connus, que de tels comportements, en agissant au niveau du choix du conjoint (à qualités égales, la stature la plus grande sera préférée, sauf si l'écart est trop grand entre les conjoints) se traduiront à long terme par un accroissement séculaire indéfini de la taille de l'espèce toute entière; et, ceci peut même continuer bien au delà du point où l'amplitude du changement devient dangereux pour la survie de l'espèce (Konrad Lorenz).

Importance des changements séculaires pour la conception des équipements

Les changements séculaires sont suffisamment rapides et importants pour avoir un impact considérable dans les problèmes de conception des équipements et, en particulier, pour les équipements dont la période de développement est longue.

Ainsi, Roebuck (1975) donne l'exemple du projet Mercury. Les normes de ce projet étaient basées sur les 10ième et 90ième percentile de 1950 de la population de l'U.S. Air Force, alors que le premier vol Apollo, avec un homme à bord, n'eut lieu qu'en 1968, soit 18 ans après

l'étude de 1950. Pendant ce temps, le 90ième percentile de taille s'était déplacé de 72,2 à 72,9 pouces.

Newman (1963) a étudié l'accroissement de la stature et du poids des américains en comparant entre eux les soldats de la seconde guerre mondiale, ceux de la guerre de Corée, et un groupe d'étudiants de la fin des années cinquante. Il a montré que la limite supérieure de 38 pouces de haut pour la stature assise des pilotes potentiels et qui ne devrait exclure en théorie que 5% des populations militaires antérieures, exclurait en fait, à elle seule, de 15 à 20% de la population étudiante, soit de 3 à 4 fois plus que prévu.

De plus, en période de changement rapide des caractéristiques d'une population, ce ne sont pas seulement les moyennes qui se déplacent. Les variances augmentent en général, par suite du fait que tous les individus ne changent pas tous de la même façon ni au même rythme. Ils ne subissent pas tous les mêmes causes de la même façon, pas plus qu'ils n'y réagissent pareillement.

De plus, de nombreux changements ne pourront plus atteindre la population adulte et le mélange des générations entraînera naturellement une augmentation de la variance. Ce n'est que lorsque les changements considérés atteindront un plateau et que la population sera plus stable que les variances pourront éventuellement rediminuer.

2.4 Autres facteurs à considérer

D'autres facteurs doivent être considérées dans les problèmes de conception et d'adaptation des équipements à l'Homme.

2.4.1 L'asymétrie gauche-droite

La plupart des gens ont raison de croire que l'un des côtés de leur corps est plus long et plus large que l'autre. Cette différence est cependant généralement petite et, au niveau d'une population, il n'existe souvent pas de tendances discernables. Plus la population est grande, plus les tendances semblent s'annuler. Ceci a été montré, en particulier, dans le cas des différences entre le pied droit et le pied gauche, étudiées par Freedman (1946). Lorsque des différences sont mises en évidence, elles sont généralement trop petites pour avoir une importance pratique quelconque. Lauback et McConville (1967) rapportent 21 mesures appariées prélevées sur 42 à 117 jeunes hommes. Leurs résultats sont résumés par le tableau 12 à la page suivante. Pour treize mesures, la différence moyenne est inférieure à un millimètre, c'est-à-dire bien à l'intérieur de la marge d'erreur sur la mesure. Pour les 21 mesures, elle est inférieure à 7,5 mm. En fait, lorsque des différences sont mises en évidence, elles ne peuvent l'être souvent que par des mesures appariées, c'est-à-dire en étudiant la distribution des différences individuelles, entre la droite et la gauche, plutôt que les différences entre les moyennes du côté gauche et celles du côté droit. Autrement, on observera bien des différences entre les moyennes, mais elles n'apparaîtront pas statistiquement significatives par suite du manque de sensibilité de la méthode employée. En revanche, la méthode des mesures appariées est beaucoup plus sensible et peut donc détecter des différences plus petites et, dans notre cas, trop petites pour avoir une importance pratique, même si elles sont statistiquement significatives.

TABLEAU XIV

DIFFERENCES BETWEEN RIGHT SIDE AND LEFT SIDE MEASUREMENTS OF SELECTED DIMENSIONS
(BASED ON LAUBACH AND MC CONVILLE, 1967)*

<u>Variable</u>	<u>Right Side</u>		<u>Left Side</u>		<u>RIGHT/LEFT DIFFERENCE</u>	
	<u>Mean</u>	<u>S.D.</u>	<u>Mean</u>	<u>S.D.</u>		
Arm circ. at axilla	30.36 (11.95)	2.68 (1.06)	29.64 (11.67)	2.62 (1.03)	.72 (.28)	
Biceps circ., relaxed	28.71 (11.30)	2.66 (1.05)	28.16 (11.09)	2.62 (1.03)	.55 (.22)	
Biceps circ., flexed	31.56 (12.43)	2.59 (1.02)	30.82 (12.13)	2.59 (1.02)	.74 (.29)	
Forearm circumference	26.54 (10.45)	1.54 (.61)	25.99 (10.23)	1.48 (.58)	.55 (.22)	
Wrist circumference	16.72 (6.58)	.82 (.32)	16.58 (6.53)	.82 (.32)	.14 (.06)	
Upper thigh circumference	55.28 (21.76)	4.54 (1.79)	55.22 (21.74)	4.55 (1.79)	.06 (.02)	
Lower thigh circumference	38.41 (15.12)	2.55 (1.00)	38.45 (15.14)	2.74 (1.08)	.04 (.02)	
Calf circumference	36.58 (14.40)	2.32 (.91)	36.50 (14.37)	2.54 (1.00)	.08 (.03)	
Ankle circumference	22.41 (8.82)	1.30 (.51)	22.45 (8.84)	1.37 (.54)	.04 (.02)	
Acromial height	143.57 (56.52)	5.98 (2.35)	144.19 (56.77)	5.87 (2.31)	.62 (.24)	
Trochanteric height	92.69 (36.49)	4.42 (1.74)	92.60 (36.46)	4.38 (1.72)	.09 (.04)	
Lower thigh circ. height	52.46 (20.65)	2.97 (1.17)	52.63 (20.72)	3.01 (1.19)	.17 (.07)	
Tibiale height	48.21 (18.98)	2.50 (.98)	48.23 (18.99)	2.46 (.97)	.02 (.01)	
Ankle height	13.79 (5.43)	1.15 (.45)	13.50 (5.31)	1.00 (.39)	.25 (.10)	
Sphyrion height	7.46 (2.94)	.59 (.23)	7.48 (2.94)	.60 (.24)	.02 (.01)	
Acromion-to-radiale length	33.44 (13.17)	1.80 (.71)	33.51 (13.19)	1.79 (.70)	.07 (.03)	
Rad.-ulnar styilon length	25.56 (10.06)	1.37 (.54)	25.61 (10.08)	1.34 (.53)	.05 (.02)	
Hand length	19.21 (7.56)	.98 (.39)	19.20 (7.56)	.97 (.38)	.01 0	
Hand breadth	8.49 (3.34)	.55 (.22)	8.43 (3.32)	.52 (.20)	.06 (.02)	
Humerus breadth	7.13 (2.81)	.38 (.15)	7.13 (2.81)	.39 (.15)	0 0	
Femur breadth	9.91 (3.90)	.97 (.38)	9.86 (3.88)	.92 (.36)	.05 (.02)	

*Data given in centimeters with inches in parentheses.

Source: Annis, J.F. (1978).

2.4.2 Variations quotidiennes de la stature et du poids

La stature décroît tout au long de la journée, du lever au coucher, par suite de la compression des disques intervertébraux et de l'augmentation de la courbure de la colonne vertébrale avec la fatigue, occasionnées par le poids du tronc et les efforts transmis à la colonne au cours des diverses activités de la journée. Cette décroissance peut varier de 3 à 5 centimètres, selon le pourcentage de temps passé à rester debout, à marcher, à transporter des charges, à exercer certaines forces au cours de diverses activités (Annis, 1979).

2.4.3 Posture relâchée vs posture redressée

La stature, la stature assise et la hauteur des yeux peuvent être fortement affectées par la posture. L'utilisation d'une posture relâchée pour prendre les mesures, peut entraîner une différence de 2 cm, pour la stature debout, à 4,5 cm pour la stature assise, par rapport à une posture redressée (Hertsberg, 1972; Roebuck (1975); Annis (1978)). La différence pourra être encore plus grande si en plus de se redresser le sujet peut s'appuyer le dos et la nuque sur un mur, par suite du redressement encore plus accentué de la colonne vertébrale et de l'inclinaison de la tête. Le gain dû au redressement de la colonne pourra varier entre 0,5 et 2 cm, tandis que celui dû à l'inclinaison de la tête de 0,2 cm en moyenne. Il est donc important:

TABLEAU XV

RIGHT SIDE-LEFT SIDE DIMENSIONAL DIFFERENCES IN WOMEN IN ERECT AND RELAXED POSTURES
(BASED ON PETERS 1969)*

<u>Measurement</u>		<u>Mean</u>	<u>S.D.</u>	<u>Diff. between erect & relax</u>	<u>Diff. between right & left</u>
Stature	(erect)	163.4 (64.33)	6.9 (2.7)		
	(relax)	163.2 (64.25)	4.6 (1.8)	0.2 (.08)	
Acromial ht.	(erect-R)	132.1 (52.01)	5.0 (2.0)		
	(erect-L)	132.4 (52.13)	3.9 (1.5)		0.3 (.1)
	(relax-R)	131.3 (51.69)	5.1 (2.0)	0.8 (.3)	
	(relax-L)	131.6 (51.81)	4.5 (1.8)	0.8 (.3)	0.3 (.1)
Elbow ht.	(erect-R)	100.1 (39.41)	4.6 (1.8)		
	(erect-L)	99.2 (39.06)	5.1 (2.0)		0.9 (.4)
	(relax-R)	99.4 (39.13)	3.4 (1.3)	0.7 (.3)	
	(relax-L)	99.2 (39.06)	4.2 (1.7)	0.0 0	0.2 (.08)
Sitting ht.	(erect)	83.7 (32.95)	2.6 (1.0)		
	(relax)	82.9 (32.64)	2.2 (0.9)	0.8 (.3)	
Eye ht.	(erect)	74.2 (29.21)	3.7 (1.5)		
sitting	(relax)	73.1 (28.78)	3.3 (1.3)	1.1 (.4)	
Acromial ht.	(erect-R)	52.7 (20.75)	2.7 (1.1)		
	(erect-L)	52.9 (20.83)	1.4 (0.6)		0.2 (.08)
sitting	(relax-R)	51.7 (20.35)	2.3 (0.9)	1.0 (.4)	
	(relax-L)	51.8 (20.39)	2.8 (1.1)	1.1 (.4)	0.1 (.04)
Elbow rest ht.	(erect-R)	20.3 (7.99)	2.3 (0.9)		
	(erect-L)	20.6 (8.11)	2.2 (0.9)		0.3 (.1)
	(relax-R)	19.3 (7.60)	2.5 (1.0)	1.0 (.4)	
	(relax-L)	19.6 (7.72)	2.4 (0.9)	1.0 (.4)	0.3 (.1)
Thigh diam.	(R)	14.1 (5.55)	1.4 (0.6)		
	(L)	14.0 (5.51)	1.3 (0.5)		0.1 (.04)
sitting					
Thigh ht.	(R)	50.7 (19.96)	3.4 (1.3)		
sitting	(L)	51.3 (20.20)	3.1 (1.2)		0.6 (.2)
Knee ht.	(R)	39.3 (15.47)	2.3 (0.9)		
sitting	(L)	39.6 (15.59)	2.3 (0.9)		0.3 (.1)

*Data given in centimeters with inches in parentheses.

Source: Annis, J.F. (1978).

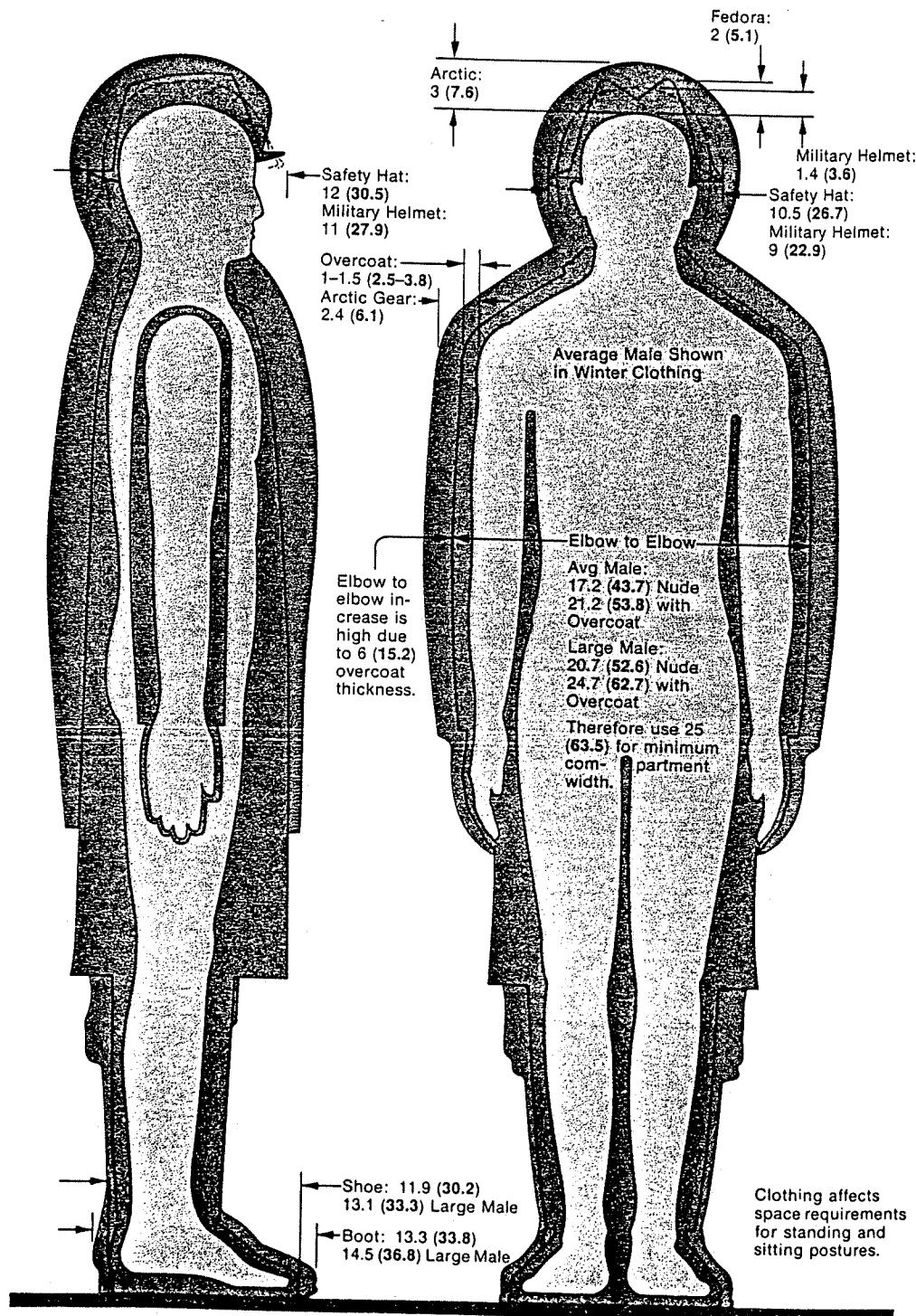
- a) de connaître les différences entre les diverses techniques de mesure employées au cours de différentes études.
- b) de tenir compte du fait que l'on travaille généralement dans des postures plutôt relâchée, alors que les mesures anthropométriques sont souvent prises dans des postures plus ou moins redressées.

Ainsi, Garret (1971) démontre qu'il est préférable d'utiliser les mesures prises sur la main en posture détendue, plutôt que sur la main posée à plat sur une table, pour concevoir, par exemple, des gants de travail permettant à un opérateur de travailler plus efficacement et avec moins de fatigue.

Le tableau de la page précédente illustre le fait que ces différences sont en général beaucoup plus importantes que les différences dues à l'asymétrie entre le côté gauche et le droit.

2.4.4 Vêtements, protecteurs et trousseaux de travail

Les vêtements, les protecteurs personnels, et l'équipement ou les outils portés sur soi augmentent parfois de beaucoup les espaces requis pour le travail, les déplacements ou le confort des travailleurs ou des usagers. Ils déterminent également en partie la hauteur des yeux en posture debout ou assise, la hauteur minimale des plafonds des véhicules ou des passages, ainsi que le design et l'emplacement des commandes et des contrôles. La figure à la page 65 et le tableau à la page 66 illustrent bien ceci.



Source: Diffrient, N. et al. (1974) Human Scale 1/2/3.

TABLEAU XVI

Male		Male (military)										Female										
Street Clothes — Suit	Winter Clothes — Overcoat, Fedora, and Gloves	Army Clothes (light) — Helmet, Khakis, G.I. Shoes	Army Clothes (heavy) — Overcoat and Combat Suit	Flying Clothes (heavy, winter) — Helmet and Boots	Pressurized Suit (deflated)	Pressurized Suit (inflated)	Arctic Clothes with Parka Hood and Boots	Street Clothes — Dress	Winter Clothes — Overcoat, Hat, and Gloves													
In.	cm	In.	cm	In.	cm	In.	cm	In.	cm	In.	cm	In.	cm									
Standing Hgt	1-1.5	2.5-3.8	3.2	8.1	2.7	6.9	2.8	7.1	1.9	4.8	3.5	8.9	2.5	6.4	4.3	10.9	1-3	2.5-7.6	1.5-4.3	3.8-10.9		
Sitting Hgt	.1	.3	2.3	5.8	1.5	3.8	1.7	4.3	.6	1.5							.1	.3	.7-2.7	1.8-6.9		
Head: Height		2	5.1	1.4	3.6	1.5	3.8	.2	.5									.5-1.3	1.3-3.3			
Width		3.5	8.9	2.8	7.1	2.8	7.1	.4	1									1-3	2.5-7.6			
Length		3.5	8.9	3.5	8.9	3.5	8.9	.4	1	4.5	11.4	4.5	11.4					1-3	2.5-7.6			
Eye Hgt (stand)	1.4	3.6	1.6	4.1	1.3	3.3	1.3	3.3	1.3	3.3	-3.5	-8.9	2.5	6.4				.7-2.7	1.8-6.9	.9-2.9	2.3-7.4	
Eye Hgt (sit)	.1	.3	.4	1	.1	.3	.2	.5	.4	1								.1	.3	.4	1	
Trunk: Shoulder Width	.5	1.3	2-3	5.1-7.6	.2	.5	1.2	3	1.5	3.8	1	2.5	.5	1.3	4.7	11.9			.3	.8	1	2.5
Chest Width	.3	.8	2	5.1					.6	1.5												
Chest Depth	.7	1.8	1.4	3.6	1	2.5	1.5	3.8	1.4	3.6												
Abdominal Depth	.9	2.3	1.7	4.3	1.2	3	2.5	6.4	1.4	3.6												
Hip Width (stand)	.5	1.3	2-3	5.1-7.6	.7	1.8	1.4	3.6	1.3	3.3	1	2.5	2.8	7.1				.0-.3	0-8	1	2.5	
Hip Width (sit)	.5	1.3	2-3	5.1-7.6	.5	1.3	1.4	3.6	1.7	4.3									.3	.8	1	2.5
Shoulder to Seat	.4	1	1.4-1.9	3.6-4.8	.3	.8	.8	2	.6	1.5									.3	.8	1	2.5
Arm: Elbow to Elbow Width	.8	2	3-4	7.6-10.2	1	2.5	2.1	5.3	4.4	11.2	6	15.2	9	22.9	5.9	15			.4	1	2	5.1
Shoulder to Elbow Lg	.3	.8	.6	1.5	.3	.8	.6	1.5	.3	.8								.1	.3	.6	1.5	
Forearm to Hand Lg	.2	.5	.4-5	1-1.3	.2	.5	.5	1.3	.7	1.8	1.5	3.8	5.5	14				.1	.3	.4-5	1-1.3	
Forward Reach			.1-2	3-5	.1	.3	.4	1	.4	1								.1-2	.3-5			
Span			.2	5					.3	.8	.4	1								.2	.5	
Akimbo	.3	.8	.7	1.8	.1	.3	.7	1.8	.8	2									.6	1.5		
Hand: Length			.1-2	3-5					.2	.5	.3	.8	.5	1.3	.3	.8	.6	1.5				
Width			.2-4	.5-1					.3	.8	.4	1	.5	1.3	1	2.5	1.2	3				
Depth			.2-5	.5-1.3					.4	1	.4	1	.8	2	1.3	3.3	.6	1.5				
Leg: Thigh Clear	.5	1.3	1	2.5	.3	8	.4	1	2	5.1	1.8	4.6	2	5.1				.3	.8	.8	2	
Knee Width (both)	.3	.8	.4	1	.5	1.3	1.7	4.3	2.5	6.4								.1	.3	.1	.3	
Knee to Floor	1.3	3.3	1.3	3.3	1.3	3.3																
Buttock to Knee	.2	.5	.7	1.8	.2	.5	.7	1.8	.5	1.3												
Foot: Width	.5-.8	1.3-2	.5-1	1.3-2.5	.2	.5	.2	.5	.8	2	.8	2	.8	2	1.2	3			.5-2.5	1.3-6.4	.5-2.5	1.3-6.4
Length	1.2-1.5	3-3.8	1.5	3.8	1.6	4.1	1.6	4.1	2.5	1	2.5	1	2.5	1	2.5	2.9	7.4					
• Heel Hgt	1-1.5	2.5-3.8	1-1.5	2.5-3.8	1.3	3.3	1.3	3.3	1.3	3.3									1-3	2.5-7.6	1-3	2.5-7.6
Weight		lb	kg	lb	kg	lb	kg	lb	kg	lb	kg	lb	kg	lb	kg	lb	kg	lb	kg	lb	kg	
		.5	2.3	10	4.5	10	4.5	22.9	10.4	20	9.1	21	9.5	21	9.5							

• Platform shoes are not included in this survey.

Source: Dieffrient, N. et al. (1974). Human Scale 1/2/3.

2.5 Mannequins anthropométriques

Les mannequins anthropométriques sont fréquemment utilisés par les concepteurs de différentes industries: équipements industriels, véhicules de toutes sortes, vêtements, ameublement, construction. On peut distinguer trois catégories de mannequins: plats, tridimensionnels et informatisés.

2.5.1 Mannequins plats - Trois approches principales

Les trousseaux de mannequins plats contiennent normalement six mannequins. Ils représentent habituellement les individus adultes du 5ième, du 50ième et du 95ième percentile de stature. Il y a 3 mannequins pour les hommes et 3 pour les femmes. Certaines trousseaux n'ont que trois mannequins correspondant:

- a) soit aux adultes du 5ième, 50ième et 95ième percentile de stature, sans distinction de sexe.
- b) soit, ce qui est préférable, à la femme petite, à l'adulte moyen et à l'homme grand.

Certaines trousseaux fournissent divers accessoires tels des chapeaux, des gants et des bottines de sécurité, qu'on peut fixer au mannequin pour faciliter l'évaluation des espaces requis. D'autres encore utilisent des attaches amovibles pour représenter les centres articulaires, de façon à élargir l'éventail des représentations possibles, en permettant de permutez entre eux les segments des divers mannequins.

L'utilité des mannequins plats est cependant sévèrement limitée par plusieurs défauts importants.

D'abord, leur conception entraîne généralement une réduction exagérée et arbitraire de l'étendue et de la diversité de la variabilité des caractéristiques de la population considérée. En particulier, les différences entre les divers types morphologiques: ectomorphe, mésomorphe et endomorphe (mince, musclé et rond), sont complètement estompées, de même que l'encombrement abdominal de la femme enceinte, et les variations dues au vieillissement. Pourtant, l'encombrement abdominal de l'endomorphe, par exemple, peut avoir une grande incidence sur ses distances d'atteinte, sur ses amplitudes angulaires et sur ses postures de travail.

La plus grande source de réduction, la plus importante et la plus arbitraire en pratique, provient cependant du choix des concepts et des contraintes à partir desquels ces mannequins sont généralement élaborés. Du fait que les percentiles ne s'additionnent pas, que les corrélations entre les divers segments des individus sont relativement faibles, et que les mannequins sont trop coûteux pour qu'on en fabrique sur mesure pour chaque problème qui se présente, on est forcé de faire des choix. Or, ces derniers sont souvent arbitraires, ou fondés sur des concepts théoriques mal assimilés. De plus, n'ayant pas été faits pour une situation en particulier, ils manquent de spécificité et ne peuvent donc qu'être plus ou moins inadaptés à la situation particulière qui nous intéresse à un moment donné. Les trousses de mannequins, ainsi que les règles à calcul anthropométriques, utilisent l'une des trois approches suivantes.

La première consiste à représenter les individus petits, moyens et grands par, respectivement, les individus fictifs du 5ième, 50ième et 95ième percentile de stature qui

auraient les mêmes proportions que l'individu moyen de la population ou, préféablement, du percentile de stature considéré. Cette approche a été utilisée par la Régie Renault, l'INRS et l'AFNOR en France, et par le concepteur de ADAM en Californie.

Le choix des 5ième et 90ième percentile de taille est bien entendu complètement arbitraire. Et il est en fait beaucoup plus restrictif qu'il n'y paraît. En effet, comme on l'a vu précédemment, la variation interpercentile maximale des segments composant la taille devra être beaucoup plus étroite que l'intervalle allant du 5ième au 95ième pour la taille. En conséquence, dans les problèmes à plusieurs critères anthropométriques, la fraction de population accommodée convenablement pourrait être réduite de manière très importante et même catastrophique.

La seconde approche consiste à choisir un petit nombre de dimensions jugées importantes:

- soit dans le travail debout
- soit dans le travail assis
- soit par rapport à une classe de problèmes particuliers à une industrie donnée.

Ces dimensions, qui comprennent souvent la stature, sont fixées ensuite simultanément, par exemple, au 5ième, au 50ième et au 95ième percentile, pour obtenir successivement l'individu petit, le moyen et le grand. Les autres cotes sont obtenues par addition ou soustraction des cotes choisies, quand c'est possible, et, sinon, en utilisant les proportions de l'individu moyen ou, préféablement les proportions moyennes des individus du même percentile que celui de la taille. Cette approche est utilisée par

Diffrient, Tilley et Bardagjy (1979) dans la conception de leurs sélecteurs anthropométriques. Sur chacun de ces sélecteurs, on trouve plusieurs silhouettes humaines cotées. Il suffit de tourner une roue pour que les cotes changent en fonction de l'âge, du sexe ou de la taille. Ces sélecteurs sont moins commodes que les mannequins plats (articulés ou non) pour dessiner, puisqu'il faut reporter au compas toutes les cotes et vérifier tous les angles, mais elles sont beaucoup plus polyvalentes. L'utilisateur peut choisir les statures de référence qu'il veut et combiner comme il l'entend les divers segments; l'éventail des âges est considérable: enfants et adolescents de 5 à 17 ans, année par année, adultes et personnes du troisième âge; il y a aussi un sélecteur pour les handicapés en chaise roulante; et une autre fournissant les dimensions recommandées pour 14 types différents de sièges, etc.. Les dimensions suivantes sont volontairement fixées au même percentile que la stature debout:

- la hauteur des yeux
- la stature, assis
- la hauteur, assis, des yeux
- la distance, assis, du genou aux fesses
- la hauteur du genou
- la largeur des épaules
- la largeur des hanches, assis

Les autres sont déduites en utilisant le plus possible les proportions moyennes des individus du même percentile que celui de la taille. Les données correspondent en principe à la population américaine (de 1974). Les cotes fournies par les sélecteurs incluent environ 11% de population non-blanche, principalement des noirs américains.

La seconde approche constitue, sous certaines conditions, un net progrès sur la première. Si les dimensions choisies ont des corrélations faibles entre elles, mais fortes avec un grand nombre d'autres dimensions, la population potentiellement bien accommodée pourra être beaucoup plus grande qu'avec la première, même si le nombre de dimensions choisies est relativement petit. Dans la conception des masques respiratoires des pilotes de haute altitude, on peut résumer à l'aide de deux variables bien choisies pratiquement toute l'information apportée par la mesure d'une douzaine de dimensions crano-faciales (Roebuck, 1975). Une situation analogue s'observe dans le cas du choix de la taille adéquate pour une chemise, un pantalon, ou une combinaison: il suffit de 2 ou 3 mesures pour trouver la taille qui nous convienne. Malgré cela, le manque de spécificité de cette approche peut s'avérer crucial. Dans le cas, par exemple, des tisserands sur métiers Sulzer que nous avons observés, la hauteur du genou n'avait aucune importance, tandis que la hauteur de l'articulation de la hanche était primordiale; venait ensuite le périmètre dorsal allant de cette articulation à l'épaule, en posture courbée sur le métier, la longueur des bras de l'épaule à la première phalange du pouce, puis l'encombrement abdominal, et l'amplitude articulaire de la colonne.

La troisième approche consiste à ajuster simultanément toutes les dimensions pertinentes, à chacun des percentiles représentatifs retenus, pour obtenir successivement les représentations de l'individu petit et de l'individu grand. Cette approche est sans doute celle qui permet d'accorder potentiellement le plus grand nombre de personnes. Elle est utilisée par des organisations comme la NASA, et par la Défense américaine et ses équivalents

français, anglais, canadien et autres. Elle n'est pas souvent utilisée, cependant, en dehors de ces organisations, car l'individu petit paraît irréalistement petit, étroit et mince, tandis que l'individu grand paraît, à l'opposé, irréalistement grand, large et gros. D'un autre côté, il est souvent très difficile de réussir à accommoder à la fois des nains et des géants. Cela explique sans doute pourquoi cette approche n'est pas souvent utilisée dans l'industrie, ainsi que la popularité de la seconde.

En fait, même ceux qui travaillent avec la troisième approche, utilisent en pratique une approche modifiée. Ils choisissent en fonction du problème d'accommodation à résoudre, les deux ou trois variables qui leur paraissent les plus critiques, puis ils tentent de concevoir le dispositif ou ses réglages de façon à accommoder au moins 90 à 95% de la population, et davantage si possible, par rapport à chacun de ces critères, individuellement ou simultanément. Les autres critères, s'il y en a, seront pris alors en considération dans la mesure du possible.

Mais, en fonction des corrélations avec les premiers critères et des contraintes induites par les premiers choix, ainsi que des contraintes propres à la situation, les ajustements et les réglages possibles seront alors réduits plus ou moins fortement. En conséquence, la population bien accommodée sera réduite également plus ou moins fortement. Néanmoins, étant donné la spécificité de l'approche et en admettant un choix judicieux des variables critiques et une certaine ingéniosité dans la conception, cette réduction devrait être beaucoup plus faible qu'avec la seconde. Mais on voit aussi que cette approche modifiée ne se distingue guère de la seconde, sinon justement par son degré de spécificité: on s'intéresse non pas au travail assis ou

debout en général ou à tel type de travail en général (comme la conduite des automobiles, des hélicoptères ou des avions), mais à tel travail en particulier dans un poste de travail précis ou dans un modèle particulier de véhicule.

On peut donc dire de la troisième approche modifiée qu'il s'agit de la seconde approche adaptée spécifiquement pour une situation donnée.

Un problème non résolu en pratique avec la troisième approche se situe au niveau du choix des variables critiques. Faut-il choisir les variables qui apparaissent les plus critiques à la suite, par exemple, d'une analyse du travail? Faut-il plutôt choisir parmi toutes les variables pertinentes les quelques variables qui résument l'essentiel de la variabilité de la population? Dans un cas comme dans l'autre, cependant, une analyse du travail est nécessaire si on veut:

- repérer les variables pertinentes;
- les classer dans un ordre allant des plus critiques aux moins critiques;
- faire des choix éclairés de conception;
- évaluer correctement, en particulier, les conséquences éventuelles ou probables des choix envisagés.

Enfin, l'utilité des mannequins plats est sévèrement limitée dans la pratique par le fait qu'ils ne constituent pas des projections sur un plan de leur analogue tridimensionnel. En conséquence, la longueur de chacun de leur segment n'évolue pas en fonction des lois de la géométrie projective. Par conséquent, seuls les mouvements des segments corporels dans le plan de profil ou dans le

plan horizontal peuvent être adéquatement représentés ou étudiés. A moins, bien entendu, de se servir du compas et d'une calculatrice, mais il s'agit là alors d'un procédé long, onéreux et fastidieux.

2.5.2 Mannequins tridimensionnels

Les mannequins tridimensionnels présentent les mêmes défauts que les mannequins bidimensionnels, à l'exception bien entendu du dernier défaut. Ils sont, par ailleurs, beaucoup plus coûteux à produire et à utiliser, puisqu'il faut alors construire des modèles en trois dimensions du poste de travail ou des équipements qu'on désire étudier sauf s'ils existent déjà et qu'on peut utiliser des mannequins grandeure nature.

Les mannequins tridimensionnels présentent essentiellement trois avantages importants par rapport aux mannequins bidimensionnels. D'abord, ils facilitent grandement le diagnostic de la compatibilité ou de la non compatibilité de la conception des équipements ou des postes de travail avec les critères anthropométriques choisis, ainsi que la validation de ces critères sur le plan de l'exhaustivité et sur celui de la pertinence. Ensuite, ils permettent de simuler le comportement inertiel, dynamique et biomécanique du corps humain (ou d'un segment du corps humain) sous diverses conditions. Le coût de leur conception et de leur construction augmente cependant très rapidement en fonction de la fidélité désirée et du nombre de propriétés reproduites simultanément. Le coût de leur utilisation pourra aussi être très élevé si les essais, par exemple, sont de nature destructive.

2.5.3 Mannequins informatisés

2.5.3.1 Définition

L'expression "mannequins informatisés" désigne ici les modèles anthropométriques bi ou tridimensionnels générés et manipulés à l'aide de procédures informatiques.

2.5.3.2 Utilité

Les mannequins informatisés présentent potentiellement tous les avantages des mannequins plats et tridimensionnels, et aucun de leurs défauts. En principe, il suffit d'avoir des procédures convenables pour pouvoir:

- a) générer un éventail approprié de mannequins, c'est-à-dire:
 - suffisamment diversifié pour représenter adéquatement la population visée;
 - créé spécifiquement pour le problème à l'étude, de manière à tenir compte des variables critiques ou les plus pertinentes;
- b) représenter un ou plusieurs individus en particulier à partir de quelques mesures prélevées sur ces individus;
- c) représenter le poste de travail ou le dispositif technique à l'étude;
- d) manipuler le ou les mannequins de manière à déceler aisément et plus ou moins automatiquement les problèmes de compatibilité anthropométrique entre le matériel et les usagers actuels ou potentiels, tout en respectant les lois de la géométrie projective ou de la perspective, selon le cas;
- e) simuler l'exécution de tâches actuelles ou potentielles dans ou à l'aide du dispositif actuel ou envisagé;
- f) simuler les propriétés ou les caractéristiques inertielles, dynamiques ou biomécaniques pertinentes à un problème donné.

2.5.3.3 Coûts

Le coût du développement des logiciels nécessaires sera, bien entendu, beaucoup plus élevé que le développement, pour une étude particulière, de mannequins plats. En contrepartie, ces logiciels permettront:

- a) de générer pour pratiquement rien l'éventail des mannequins plats ou tridimensionnels virtuels adaptés aux besoins spécifiques d'une étude particulière. On pourra donc changer de mannequins à chaque étude sans difficulté. On pourra aussi étudier plus facilement les problèmes d'adaptation des équipements à des tranches ou à des groupes particuliers, extrêmes ou atypiques d'une population.
- b) de sauver énormément de temps et d'argent à toutes les étapes de la conception et de la fabrication ou de la construction des outils, des machines, des équipements, des matériels et des dispositifs techniques en général. Citons, plus spécifiquement, les étapes suivantes:
 - élaboration des concepts;
 - choix et pondération des objectifs, des critères de réussite et les contraintes à respecter;
 - conception et design général;
 - conception et design détaillé;
 - construction et expérimentation de modèles, de maquettes et de prototypes;
 - correction de la conception et du design;
 - fabrication ou construction de petites séries et mise à l'essai;
 - correction finale ou production en grande série;
 - suivi et amélioration au besoin, selon l'évolution des attentes de la clientèle cible ou de la technologie.

En fait, les gains réalisés grâce à l'utilisation de tels logiciels compenseront sans doute très amplement le coût de leur développement et, ceci, aussi bien du point de vue de la quantité (économies substantielles de temps) que de la qualité (accroissement de la précision et de la spécificité de la conception, réduction des corrections ultérieures, amélioration de l'adaptation des équipements aux caractéristiques et aux besoins de la population visée). En outre, les logiciels peuvent être reproduits aisément et à faible coût. Ils peuvent aussi être facilement modifiés lorsque des améliorations possibles des procédures utilisées deviennent évidentes, ou lorsqu'il devient nécessaire de les adapter à des besoins ou à un contexte particulier.

Les mannequins informatiques coûtent par ailleurs certainement beaucoup moins cher à développer et à utiliser que les mannequins tridimensionnels, du moins à long terme. A court terme, s'il est nécessaire de simuler des caractéristiques inertielles, dynamiques ou comportementales des humains, cela dépendra de la fidélité désirée. Si ce niveau est suffisamment élevé, on ne pourra pas développer de bons modèles informatiques avant d'avoir réalisé d'abord une foule d'expériences sur des sujets humains et sur des premiers modèles de mannequins tridimensionnels car nous manquons encore actuellement trop de connaissances pour cela. On sera ensuite en mesure d'élaborer les premiers modèles informatiques. Ceux-ci nous permettront alors de développer de meilleurs mannequins tridimensionnels. Ces derniers, à leur tour, nous permettront de développer de meilleurs modèles informatiques, et ainsi de suite, jusqu'au niveau de fidélité désiré. A partir de là, il sera possible de générer un éventail aussi large et diversifié que nécessaire de mannequins informatisés, et d'évaluer, de manière réaliste:

- a) jusqu'à quel point chacun de ces mannequins est mal ou bien accommodé par le dispositif à l'étude;
- b) le comportement de chacun de ces mannequins dans le dispositif, sous diverses conditions de fonctionnement, d'utilisation et d'environnement;
- c) certains des avantages ou des inconvénients d'un dispositif par rapport à d'autres dispositifs, existants ou projetés;
- d) les risques d'accidents et, notamment, les risques de blessures et de maladie professionnelle, d'un dispositif donné.

2.5.3.4 Modèles informatisés actuels

De nombreuses propriétés anthropométriques et biomécaniques du corps humain peuvent être représentées à l'aide d'équations ou de modèles mathématiques. Elles peuvent donc ainsi être informatisées. Ceci s'applique en particulier aux dimensions longitudinales du corps humains, aux chaînons osseux entre les points articulaires, aux dimensions curvilinéaires, aux volumes et aux masses, ainsi qu'aux propriétés d'inertie, d'élasticité, de résistance des structures et de force musculaire. De nombreux modèles informatisés ont donc vu le jour. Cependant, la plupart des modèles servent seulement à simuler certaines parties ou certaines caractéristiques du corps humain. De plus, ils se limitent la plupart du temps soit à réagir passivement aux conditions extérieures, soit à représenter l'activité musculaire interne et ses effets sur les mouvements corporels, dans un environnement constant. De tels modèles peuvent être très utiles pour nous aider à comprendre le comportement d'une structure particulière de l'organisme

sous certaines conditions, comme par exemple la réponse de la colonne vertébrale aux vibrations ou aux impacts; ils peuvent être très utiles également dans la conception de prothèses, ou dans la conception d'organes de robots.

Néanmoins, les modèles auxquels nous nous intéressons sont évidemment ceux qui ont pour but de représenter le corps humain entier et le comportement de celui-ci.

Le tableau de la page suivante indique les capacités qu'avaient, en 1972, sept modèles bien connus, ainsi que les capacités alors en projet. Ce tableau a d'abord été établi par KROEMER en 1972 et il s'en est réservé dans ROEBUCK, KROEMER et THOMSON (1975). Certains de ces modèles sont encore aujourd'hui fort populaires, notamment SAMMIE, BOEMAN et COMBIMAN. SAMMIE, en particulier, serait actuellement disponible sur plusieurs modèles d'ordinateurs personnels. Nous n'avons pas encore vérifié jusqu'à quel point ces modèles ont évolué depuis les années soixante dix, ni si d'autres modèles existent aujourd'hui. À notre connaissance, il en existe effectivement, mais ils sont conçus pour tourner sur de grosses machines et sont aussi très dispendieux à l'achat et à l'entretien. Ce serait le cas, notamment, des mannequins informatisés utilisés par les fabricants d'automobiles pour leurs études par simulation des effets des collisions. Ceci pourrait cependant évoluer bientôt, dans la mesure où les capacités actuelles des petites machines sont de plus en plus comparables à celles des grosses machines d'il y a quelques années. Mais, revenons au tableau de la page suivante.

TABLEAU XVII

Name	Dimensions	Links	Joints	Volume	Mass	Strength	Work	Static ^a	Kinematic ^b	Dynamic ^c	G-fields	Algorithms	Work Place	Remarks
Dynastik	2	13	12	—	X	—	—	X	—	—	—	—	—	Indicates static mass distribution
Lift Man	2	7	6	—	X	X	—	X	—	—	—	—	—	Indicates two dimensional flow of force vectors if external forces and joint angles are known
Torque Man	3	11/18	10/17	—	X	X	—	X	—	—	—	—	—	Indicates three-dimensional flow of force vectors if external forces and joint angles are known
Cinei Kid	3	15	14	X	X	—	—	X	X	(X)	X	—	—	Describes attitude control in g-fields
Sammie	3	18	17	X	—	—	—	X	—	—	—	—	X	Describes fit of equipment to man
Boeman	3	23	22	X	X	(X) ^d	—	X	(X)	—	(X)	(X)	X	Static work place-geometry model, dynamic capabilities considered
Combiman	4	23	22	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	Dynamic man-work station model

Computer Man-Models of Increasing Complexity

^a Static: no movement.^b Kinematic: considers movement without relation to mass and force.^c Dynamic: considers movement with relation to mass and force.^d (): projected capabilities.

Source: Roebuch et al. (1975).

Le premier modèle, DYNASTICK, est, en dépit de son nom, un assemblage purement statique de bâtonnets et de joints; cependant, il incorpore la distribution des masses du corps humain telle qu'établie par Clauser, McConville et Young en 1969. LIFTMAN et TORQUE MAN sont tous deux également des modèles essentiellement statiques, bien qu'ils incorporent des données sur la force musculaire isométrique. CINCIKID intègre des aspects cinématiques et dynamiques du corps humain et considère les effets des champs d'accélération. SAMMIE est un modèle statique, mais il permet d'étudier plusieurs configurations possibles des espaces de travail. Ce modèle simule aussi, jusqu'à un certain point, l'exécution d'une tâche en utilisant des temps élémentaires de mouvement. BOEMAN est un modèle relativement avancé d'un homme assis dans un cockpit et il a été développé pour permettre l'évaluation de la géométrie des cockpits d'avion. Bien qu'essentiellement statique, on considère dans ce modèle plusieurs aspects dynamiques.

Enfin, COMBIMAN (Computerized Biomechanical Man Model), en 1975, était développé afin:

- de représenter simultanément:
 - les caractéristiques statiques et dynamiques de l'opérateur humain;
 - des environnements et des postes de travail variables;
 - d'évaluer les interactions entre l'homme, l'environnement et le lieu de travail, ainsi que leurs effets combinés sur l'exécution de la tâche.

Ainsi, COMBIMAN serait l'un des premiers modèles informatisés réellement ergonomique. Les autres exemples

connus ont été développés essentiellement soit par les industries aérospatiale et militaire, soit par les fabricants d'automobiles. Dans ce dernier cas, les modèles utilisés servent soit au design de l'intérieur des automobiles, soit à l'étude par simulation du comportement du corps humain lors de collision et des risques de blessures spécifiques à une voiture donnée, compte tenu du design, actuel ou projeté, de son habitacle.

Par ailleurs, Xerox, à son centre de Palo Alto a développé récemment un système expert pour la conception de postes de travail. Ce dernier tiendrait compte de plusieurs aspects ergonomiques.

Nous devrons donc vérifier au cours de l'année qui vient:

- a) de quelle façon et jusqu'à quel point les sept modèles du tableau de la page 81 (plus spécialement, pour COMBIMAN et SAMMIE) ont évolué depuis les années 1970, lesquels sont encore disponibles aujourd'hui, à quel coût, et pour quels environnements informatiques;
- b) si les modèles développés par l'industrie automobile sont utilisables, au prix éventuellement de modifications mineures, pour la conception de postes de travail en général (c'est-à-dire assis ou debout), lesquels sont disponibles, à quel coût et pour quels environnements informatiques;
- c) quels sont les aspects ergonomiques dont tient compte le système de Xerox, de quelle manière et jusqu'à quel point; quelles sont ses autres capacités; combien vaut un tel système; s'il est disponible, à quel coût et pour quel environnement informatique.

2.5.3.5 Trois phases de développement

Le développement des modèles informatiques semble suivre une suite logique d'étapes qui peuvent être regroupées en trois phases principales.

Au cours de la première phase de développement, le modèle informatique sert principalement de banque de données structurées se rapportant à une ou plusieurs séries de configurations statiques du corps humain. Dans un premier temps, on établit un premier modèle, bi ou tridimensionnel, en forme de bâtonnets articulés de façon à représenter les divers segments corporels ou les membres. Cette approche est toujours utile par la suite pour établir le "squelette" sous-jacent aux modèles plus avancés. Dans un second temps, on ajoutera à ce premier système les données sur les distributions de volume et de masses, les centres et les moments d'inertie, les forces musculaires disponibles en fonction des angles entre les segments corporels, et les autres données jugées pertinentes. On ajoute aussi, bien entendu, les procédures informatiques nécessaires pour représenter graphiquement toutes ces données, sous la forme, plus particulièrement, de mannequins en deux ou trois dimensions.

Au cours de la seconde phase, le modèle devient capable de représenter adéquatement les réactions de l'organisme à des facteurs externes, en termes des forces musculaires requises, des bras de levier en cause, de la dépense énergétique instantanée et moyenne.

Au cours de la troisième phase, enfin, le modèle permettra, si nécessaire, de simuler l'exécution de diverses tâches; il permettra surtout d'étudier le comportement

(passif ou actif) d'une ou plusieurs séries de mannequins informatisés dans un poste de travail dont les caractéristiques pourront être modifiées aisément et rapidement. Par exemple, l'espace de travail pourra être défini à l'aide d'un arrangement de panneaux bidimensionnels ou de blocs tridimensionnels. Ceux-ci pourront être différents en taille, en nombre et en forme, de manière à représenter un nombre illimité de postes de travail ou de dispositifs techniques. Les frontières des espaces de travail seront définies comme étant: rigide ou déformable, solide ou non (fenêtres et jeux divers, notamment), et ainsi de suite. Le dessin et les dimensions des composantes standards ou spéciales telles les sièges, les tables de travail, ou les contrôles, pourront aussi être incluses dans le programme.

La conception du modèle dépendra du but poursuivi. Veut-on comprendre des processus pathologiques? des réponses physiologiques ou anatomiques particulières? Veut-on extrapoler les résultats obtenus avec des mannequins ou des animaux ou des sujets humains à d'autres conditions? Veut-on plutôt mieux comprendre les résultats obtenus afin de pouvoir les interpréter plus précisément? Veut-on réduire le nombre d'expériences à réaliser pour répondre à toutes les questions auxquelles on aimerait répondre avant de passer à la réalisation d'un premier prototype, ou à la fabrication d'une première série d'objets ou de dispositifs techniques? Toutes ces questions sont, pour l'ergonomie, importantes. En conséquence, notre modèle devra être doté de toutes les capacités nécessaires. Cependant, pour être réalistes, et compte tenu du contexte de la présente étude, il sera conçu au début pour répondre d'abord aux questions relatives au dimensionnement et à l'arrangement des composantes d'un poste de travail. Nous espérons qu'il pourra ensuite

graduellement être doté des autres capacités, au fur et à mesure que les besoins se manifesteront. En conséquence, le modèle retenu devra être très flexible, de manière à faciliter au maximum les améliorations et les ajouts futurs.

Pour modéliser l'activité humaine au travail, il est nécessaire de représenter d'abord un certain nombre d'individus (théoriques ou réels) représentatifs, à un tire ou à un autre, d'une population donnée, dans diverses postures caractéristiques, et puis de suivre, d'instant en instant, l'évolution des postures, des postes, des forces requises, des contraintes subies, et d'autres facteurs. Les individus choisis correspondront souvent aux points extrêmes sur les axes principaux de l'hyperellipsoïde ou de la couche d'hyperellipsoïde contenant la tranche de population à laquelle on s'intéresse. Ils peuvent représenter aussi des individus correspondant à un maillage hypercubique de la tranche précédente. Les intervalles de temps peuvent aussi être prédéterminés et être soit de longueur égale, soit de longueur inégale, fonction, par exemple, de la vitesse ou de l'accélération du processus en cours de simulation.

Il existe quatre types de modèles pour représenter ainsi l'activité humaine au travail:

- a) les modèles fondés sur des banques de données;
- b) les modèles formés par une collection de sous-modèles spécifiques;
- c) les modèles algorithmiques généraux utilisant des techniques générales de résolution automatique de problèmes;
- d) les modèles construits à l'aide d'un système-expert et reposant donc simultanément:
 - sur une importante base de données

- sur une importante base de règles, de procédures et de modèles spécifiques
- sur une procédure générale et systématique de résolution de problèmes.

Les modèles fondés sur des banques de données n'utilisent virtuellement pas de mathématiques. Ils dépendent essentiellement de très grands volumes d'informations préenregistrées. Les données nécessaires sont rappelées à chaque fois qu'une tâche spécifique doit être réalisée dans un poste de travail. Cette approche pourrait être efficace dans les cas où on ne s'intéresse qu'à des configurations anthropomorphiques statiques. En général, et plus spécialement dans les modèles dynamiques, elle n'utilise pas efficacement l'information disponible.

L'approche par les modèles spécifiques utilise des procédures mathématiques pour modifier la disposition des chaînons articulés en fonction de l'exécution d'une tâche donnée. De nombreuses données doivent être rassemblées et analysées sur les mouvements du corps humain pour développer des algorithmes valides, capables de représenter ces mouvements sous toutes les conditions requises. Cette approche est, en général, bien supérieure à la précédente, tant au niveau de l'efficacité qu'à celui de la qualité de la modélisation.

L'approche par modèles généraux requiert moins de données sur les paramètres du mouvement du corps humain. Elle peut intégrer un ensemble de modèles spécifiques dans sa procédure générale. Elle se caractérise par sa grande flexibilité, au niveau notamment des améliorations, des restructurations ou des ajouts éventuels.

La quatrième approche, enfin, est potentiellement la plus puissante et la plus intéressante. Un système expert, en effet, est un programme qui utilise systématiquement, face aux données appropriées, les mêmes règles et les mêmes procédures que les experts humains, y compris les règles d'élaboration de meilleures règles et de meilleures procédures.

En conséquence, un système expert devrait notamment être capable d'utiliser un modèle général et d'en interpréter les résultats au même niveau que les meilleurs experts et, ceci, plus systématiquement. Il n'y a pas encore, à notre connaissance, de système expert pour la conception de postes de travail et qui utiliserait un modèle anthropométrique dynamique et général. Cependant, étant donné le haut potentiel de l'approche, de tels systèmes seront certainement élaborés un jour. Toutefois, comme les profits élevés qu'ils permettront de générer ne sont pas évidents pour la plupart des utilisateurs potentiels et qu'ils sont par ailleurs difficiles à mesurer étant donné leur nature, il est plus que probable à notre avis que ce jour ne viendra pas avant plusieurs années, peut-être pas avant cinq ou dix ans; pas avant, plus précisément, que ne soit disponibles à un coût relativement bas des systèmes-experts dans l'aide à la construction de systèmes experts.

Quelle que soit l'approche choisie, deux critères doivent être respectés: le modèle utilisé doit être fidèle et efficient. La fidélité mesure jusqu'à quel point le modèle se comporte comme un être humain réel, tandis que l'efficience doit être au moins suffisante pour que les temps de traitement des données par l'ordinateur soient raisonnables. Roebuck, Kroemer et Thomson (1975) soulignent

qu'il est plus important d'obtenir d'abord un modèle fidèle, parce qu'il s'agit là d'un problème beaucoup plus difficile techniquement qu'on pourra toujours tenter ensuite d'améliorer autant que nécessaire les temps de traitement informatique. D'une façon ou d'une autre, il semble nécessaire de poursuivre les recherches pour:

- a) développer de nouvelles fonctions objectives, de nouvelles techniques de contraintes et de nouveaux algorithmes de traitement mathématiques des données;
- b) définir, recueillir et analyser de nombreuses et nouvelles données dynamiques, nécessaires pour une meilleure conception ergonomique des équipements et des postes de travail.

3.0 CONCLUSION

En ce qui concerne le dimensionnement et l'aménagement du poste de travail, les exigences biomécaniques, circulatoires, articulaires, visuelles et anthropométriques sont particulièrement importantes. Elles sont également particulièrement complexes à satisfaire simultanément, par suite des interrelations étroites qui existent entre ces diverses catégories, aussi bien intrinsèquement, qu'introduites par la conception des tâches et celle du poste de travail. Cette complexité est par ailleurs amplifiée considérablement par la grande variabilité intrinsèque des dimensions corporelles des individus, par la faiblesse des coefficients de corrélation entre ces dimensions, par l'accroissement très important de la variabilité de ces dernières lorsqu'on considère en plus les différences d'âge, de sexe, d'origine ethnique (ou socioculturelle), et celles qui sont occasionnées par les changements séculaires, ainsi que par d'autres facteurs. Il est ainsi absolument nécessaire, dans l'analyse ou la conception des équipements, non seulement d'utiliser les données pertinentes mais aussi une approche et des outils appropriés. Et ceci, d'autant plus s'il s'agit d'équipements dont les coûts de conception sont élevés ou dont les durées de conception et/ou d'utilisation portent sur le long terme ou de grandes populations.

Parmis les trois catégories de modèles anthropométriques utilisés en pratique, c'est-à-dire les mannequins articulés: plats, tridimensionnels et informatisés, on constate que les deux premières présentent d'importantes lacunes et ne peuvent être utiles que dans certains contextes. Seule la troisième, — et ceci à un coût raisonnable, — possède potentiellement, outre tous les avantages et aucune des lacunes des catégories précédentes, toute la richesse, la souplesse et la complexité requises.

Le problème de la modélisation des données anthropométriques est en soi assez complexe. De nombreuses données sont par ailleurs manquantes. Il sera nécessaire, en conséquence, de réaliser à certains moments des expériences de laboratoire, alors qu'à d'autres il sera nécessaire de prendre des décisions plus ou moins arbitraires, quitte s'il le faut à reprendre une partie du travail lorsque le modèle pourra par la suite être raffiné davantage, mis à jour ou généralisé pour couvrir d'autres besoins.

Le prochain rapport portera sur la modélisation mathématique des données anthropométriques. D'autres rapport porteront sur certains aspects particuliers (prototypes, expériences de laboratoire, etc.) ou documenteront les décisions de conception du logiciel.

BIBLIOGRAPHIE

1. ANNIS, J.F. (1978). Variability in Human Body Size. Chapter II in the NASA's 1978 Anthropometric Source Book, Vol. I.
2. BENOIST, J. et AUGER, F. (1965). Note sur l'anthropométrie des Canadiens-Français. *Anthropologica*, VII, 1, pp. 5-11.
3. BONNEY, M.C., CASE, K., et PORTER, J.M., (1982). User Needs in Computerized Man Models. In: Easterby, R., Kroemer, K.H.E., Chaffin, D.B. (Eds). *Anthropometry and biomechanics. Theory and Application.* pp. 97-101. New York: Plenum Press.
4. CHAFFIN, D.B., (1969). A Computerized Biomechanical Model-Development of and Use in Studying Gross Body Actions. *J. Biomechanics*, Vol. 2, pp. 429-441. Pergamon Press, 1969.
5. CHURCHILL, Edmond (1978). Statistical Considerations in Man Machine Designs. In NASA Anthropometric Source Book, Volume I, Chap. IX, p. 56.
6. CLAUSER, E., TUCHER, E., McCONVILLE, T., CHURCHILL, E., LAUBACH, L. et REARDON, A., (1972). Anthropometry of Air Force Women, AMRL-TR-70-5, Aerospace Medical Research Laboratory, Wright-Patterson Air Force Base, Ohio. AD 743 113.
7. COBLENTZ, A., DELOISON, Y., IGNACI, G., et PRUDENT, J. Utilisation d'une méthode de biostéréométrie dans la conception d'un poste de pilotage d'hélicoptère. Laboratoire d'anthropologie et d'écologie humaine. Université René Descartes. Paris.
8. DANIELS, G.S., (1952). The "Average Man"? Technical Note No CRD 53-7. Aero Medical Laboratory. Wright Air Development Center.
9. DEMPSTER, W.T., (1955). Space Requirements of the Seated Operator. Geometrical, Kinematic and Mechanical Aspects of the Body With Special Reference to the Limbs. WADC Technical Report 55-159. Wright Air Development Center.
10. DEMPSTER, W.T., et GAUGHEN, R.L. (1964). Properties of Body Segments Based on Size and Weight. *Am. J. Anat.*, 120, pp. 33-54.
11. DEMPSTER, W.T., SHERR, L.A., et PRIEST, J.T., (1964). Conversion Scales for Estimating Humeral and Femoral Lengths and the Lengths of Functional Segments in the Limbs of American Caucasoid Males. *Human Biol.*, 36, pp. 246-262.

12. DIFFRIENT, N., TILLEY, A.R. et BARDAGJY, J.C. (1974). Human Scale 1/2/3. MIT Press.
13. DIFFRIENT, N., TILLEY, A.R. et BARDAGJY, J.C. (1981). Human Scale 4/5/6, 7/8/9. MIT Press.
14. EVANS, S.M., (1982). Some Computational Problems in Developing Computerized Man-Models. In: Easterby, R., Kroemer, K.H.E., Chaffin, D.B., (Eds), (1982). Anthropometry and Biomechanics. Theory and Application. Note Conference Series. Plenum Press.
15. FREIVALDS, A., et KALEPS, I., (1984). Computer-Aided Strength Prediction Using the Articulated Total Body Model. Comput. and Indus. Engng. Vol 8, No. 2, pp. 107-118. Pergamon Press Ltd.
16. FRISCH, F.D., et D'AULERIO, L.A., (1980). Bioman - An Improved Occupants - Crew Station Compliance Modelling System. Aviation, Space and Environmental Medicine. Vol. 51-2, pp. 160-167.
17. GEOFFREY, S.P., (1961). A 2-D Manikin - The Inside Story. X-Rays Used to Determine a New Standard for a Basic Design Tool. SAE Preprints, for presentation at the 1961 SAE International Congress and Exposition of Automotive Engineering. Society of Automotive Engineering, New York.
18. HERTZBERG, H.T.E., (1960). Dynamic Anthropometry of Working Positions. Human Factors, August 1960, pp. 147-155.
19. IWATA, K., MORIWAKI, T., KAWANO, T., MISAKI, N., NOMURA, H., et YANAGIDA, Y., (1981). Modeling and Dynamic Analysis of Three-Dimensional Human Body Motion via computer Graphics. Memoirs of the Faculty of Engineering, Kobe University, 27, pp. 15-23.
20. IWATA, K., MORIWAKI, T., SHERASE, K., MISAKI, N. et NOMURA, H. (1983). Evaluation of 3-Dimensional Motions in Loading Operations Based on Computer Simulations. Memoirs of the Faculty of Engineering, Kobe University, 30, pp. 19-33.
21. KING, A.I., (1982). New Perspectives and Needs in Biomechanical Modelling. In: Easterby, R., Kroemer, K.H.E., Chaffin, D.B., (1982). Anthropometry and Biomechanical. Theory and Application Note Conference Series. Series III: Human Factors. Plenum Press.
22. KING, B.G. (1952). Functional Cockpit Design. Aeronautical Engineering Review, June 1952, pp. 32-40.

23. KRAUSE, H.E. et KROEMER, K.H.E. (1973). Combiman - A Computer Model of the Operator at his Workstation. Proceedings of the Seventeenth Annual Meeting of the Human Factors Society, October 16-18, 1973, pp. 418-419.
24. LANE, N.E., (1982). Issues in the Statistical Modelling of Anthropometric Data for Workplace Design. In: Easterby, R., Kroemer, K.H.E., Chaffin, D.B. (Eds). Anthropometry and Biomechanics. Theory and Application. pp. 115-123. New York: Plenum Press.
25. LAUBACH, L.L., et McCONVILLE, J.T., (1965). Relationships Between Flexibility, Anthropometry and the Somatotype of College Man. The Research Quarterly, Vol. 37, no 2, pp. 241-251.
26. LEWIN, T. (1969). Anthropometric Studies on Swedish Industrial Workers when Standing and Sitting. Ergonomics, 1969, Vol. 12, no 6, pp. 883-902.
27. McCANN, C., NOY, I., RODDEN, B., et LOGAN, O. (1975). 1974 Anthropometric Survey of Canadian Forces Personnel. DCIEM Reports No 75-R-1114. Behavioural Sciences Division. Department of National Defence - Canada.
28. McCONVILLE, J.T., et CHURCHILL, E., (1976). Statistical Concepts in Design. AMRL-TR-76-29. Aerospace Medical Division. Air Force Systems Command, Wright-Patterson Air Force Base, Ohio. 57 pages.
29. MORANT, G.M. (1944). The Choice of Subjects Acting at Mock-up Trials of Pilot's Cockpits and Gun-Turrets. F.P.R.C. 596. Flying Personnel Research Committee, R.A.F. Physiology Laboratory.
30. MORANT, G.M. (1954). Body Size and Work Space. In Symposium on Human Factors in Equipment Design. Eds Floyd and Welford. London: H.K. Lewis, pp. 17-24.
31. MORANT, G.M. et SMITH, H.F.R. (1947). Body Measurements of Pilots and Cockpit Dimensions. FFRD 689. Flying Personnel Research Committee. R.A.F. Institute of Aviation Medicine.
32. MORONEY, W.F. (1971). Selected Bivariate Anthropometric Distributions Describing a Sample of Naval Aviators - 1964. NAMRL-1130. Naval Aerospace Medical Research Laboratory, Pensacola, Florida.
33. MORONEY, W.F., et SMITH, M.J., (1972). Empirical Reduction in Potential User Population as the Result of Imposed Multivariate Anthropometric Limits. Naval Aerospace Medical Research Laboratory, Naval Aerospace and Regional Medical Center. Florida.

34. NASA, (1978). Anthropometric Source Book. Volume I: Anthropometry for Designers. Volume II: A Handbook of Anthropometric Data. Volume III: Annotated Bibliography of Anthropometry. NASA Reference Publication 1024. Webb Associates (Eds). National Technical Information Service (NTIS). U.S. Department of Commerce.
35. NEWMAN, R.W. (1963). The Body Sizes of Tomorrow's Young Men. Chapter 8, In: Human Factors in Technology, eds. Bennett, E., Degan, J., Spiegel, J., McGraw-Hill, New York.
36. RANDALL, F.E. (1949). An Anthropometric Nomograph for Army White Men. Human Biology, Vol. 21 - 4, pp. 218-232.
37. ROEBUCK, J.A., JR (1957). Anthropometry in Aircraft Engineering Design. J. Aviation Medecine, Feb. 1957, pp. 41-56.
38. ROEBUCK, J.A., KROEMER, K.H.E., et THOMSON, W.G., (1975). Engineering Anthropometry Methods. John Wiley and Sons. Wiley Interscience Publication.
39. ROHMERT, W., WANGENHEIM, M., MAINZER, J., ZIPP, P., et LESSER, W., (1986). A Study Stressing the Need for a Static Postural Force Model for Work Analysis. Ergonomics, 1986, Vol. 29, no 10, pp. 1235-1249.
40. ROOZBAZAR, A., (1973). Biomechanical Modeling of the Human Body. Proceedings of the 17th Annual Meeting of the Human Factors Society. October 16-18, 1973. Pages 181-191.
41. ROOZBAZAR, A., GORDON, W.B., et RICHERSON, M.E. (1979). A Theoretical Model to Estimate Some Ergonomic Parameters from Age, Height and Weight. Ergonomics, 1979, Vol. 22, no. 1, pp. 43-58.
42. SQUIRES, P.C. (1959). Proposed Shape of the Normal Work Area. Engineering and Industrial Psychology, 1, pp. 12-17.
43. STEWART, L., (1985). Microcomputer Applications in Human Factors Research. Communiqué, Vol. 15-3, June 1985, pp. 1-3. Human Factors Association of Canada.
44. TISSERAND, M., et SAULNIER, H., (1982). Dimensionnement des postes de travail. Application sur terminal écran-clavier. 2.- Conception du poste. Cahiers de notes documentaires. ND 1389-108-82. I.N.R.S. Paris.
45. TISSERAND, M., et SCHOUILLER, J.-F., (1981). Dimensionnement des postes de travail. Application au poste sur terminal écran-clavier. 1.- Le diagnostic. Cahier de notes documentaires no 105. ND 1347-105-81. I.N.R.S. Paris.

46. TROTTER, M. et GLESER, G.C. (1951a). The Effect of Ageing on Stature. American Journal of Physical Anthropology, Vol. 9, pp. 311-324.
47. TROTTER, M. et GLESER, G.C. (1951b). Trends in Stature of American Whites and Negroes Born Between 1840 and 1924. American Journal of Physical Anthropology, Vol. 9, pp. 427-440.
48. TROTTER, M. et GLESER, G.C. (1952). Estimation of Stature From Long Bones of American Whites and Negroes. American Journal of Physical Anthropology, Vol. 10, pp. 463-514.
49. TROTTER, M. et GLESER, G.C. (1958). A Re-Evaluation of Estimation of Stature Based on Measurements of Stature Taken During Life and of Long Bones After Death. American Journal of Anthropology, Vol. 16, pp. 79-123.
50. UNGER, R.L., et RIDER, J.P., (1985). A Computer Based Model of Machine Operator Compartments. In: IEEE 1985 Proceedings of the International Conference on Cybernetics and Society, pp. 147-153.
51. WISNER, A. et REBIFFÉ, R. (1963). L'utilisation des données anthropométriques dans la conception du poste de travail. Le travail Humain, XXVI, 193-217, 1963.

ÉCOLE POLYTECHNIQUE DE MONTRÉAL



3 9334 00289577 7

HURTH, GILBERT
DES POSTES DE TRAVAIL

19

CA2
UP
R87