

Mémoire  
pour l'obtention du diplôme de  
l'Institut National du Sport et de l'Education Physique

**LA DIFFICULTE.  
EXIGENCES OBJECTIVES  
ET  
PERCEPTION DES EXIGENCES DES TACHES MOTRICES.**

Présenté par

DIDIER DELIGNIERES

Jury :

J.P. Famose, enseignant à l'INSEP, directeur de mémoire

Guy Tiberghien, professeur des universités, Université de Grenoble

Jeef Lemoine, DTN, Fédération Française d'Escalade

Marc Durand, professeur des universités, Université de Montpellier

**1990**

Je tiens à remercier tout particulièrement:

**Claude Bouquin**, directeur de l'INSEP, qui m'a accueilli dans son établissement et m'a donné tous les moyens pour mener à bien ce travail.

**Michel Leblanc**, chef du département de la formation aux métiers du sport de l'INSEP, pour son soutien permanent et son efficacité.

**Jean-Pierre Famose**, professeur à l'INSEP, qui a accepté de diriger ce travail et en a fourni l'ossature théorique.

**Claude Bonnet**, directeur du Laboratoire de Psychologie Expérimentale de Paris V, et **Guy Tiberghien**, professeur de Psychologie à l'Université de Grenoble, qui ont accepté de me recevoir et de critiquer mes travaux.

**Gunnar Borg**, professeur de Psychophysique au Département de Psychologie de l'Université de Stockholm, pour son accueil et ses apports fondamentaux.

**Jeef Lemoine**, directeur technique national, **Franck Scherrer** et la **Fédération Française de la Montagne et de l'Escalade**, pour leur aide financière et logistique.

**Philippe Fleurance**, professeur à l'INSEP, **Jean-Jacques Temprado**, chercheur associé au Laboratoire de Psychologie de l'INSEP, et **Marc Durand**, maître de conférences à l'Université de Montpellier, qui ont été des interlocuteurs permanents.

**Patrick Legros**, professeur à l'INSEP, Département Médical et **Chantalle Thépaut-Mathieu**, professeur à l'INSEP, Laboratoire de Biomécanique, qui m'ont apporté leurs compétences théoriques et méthodologiques (expériences sur la perception de l'effort, annexe 3, et sur les tâches de grimper, annexe 7).

**Serge Gelé**, chef de la division de la formation supérieure, et **Andrée Hovsépián**, pour leur disponibilité et leur dévouement.

**Alain Brossier**, professeur à l'INSEP, service informatique, pour sa collaboration et son efficacité.

**Bruno Lambert** (Entreprises), qui a conçu la structure artificielle d'escalade utilisée lors de l'expérience sur les tâches de grimper (cf. Annexe 7).

Les professeurs EPS du Lycée de Corbeil, qui ont accepté de diriger l'expérience sur le risque (cf. Annexe 1).

L'ensemble des sujets qui se sont prêtés à mes expériences, et notamment les grimpeurs de haut-niveau, les professeurs d'EPS du Val d'Yerres et de l'Académie de Créteil, les étudiants et sessionnaires de l'INSEP, les élèves du lycée et du collège d'Epinau-sous-Sénart (91) et du lycée de Corbeil (91).

## SOMMAIRE.

Introduction. Avertissement au lecteur	5
<b>1. EPISTEMOLOGIE DE LA DIFFICULTE</b>	<b>9</b>
1.1. Du savoir-faire à la technique	9
1.2. L'émergence des règles du jeu	10
1.3. Le sens de l'extrême	13
<b>2. DIFFICULTE, TACHES ET SITUATIONS MOTRICES</b>	<b>16</b>
2.1. Tâche et activité	17
2.2. Les différents niveaux d'analyse de la difficulté	18
2.3. Définitions de la tâche	19
2.4. Situation et tâche contextualisée	21
<b>3. LES DIMENSIONS DE LA DIFFICULTE</b>	<b>24</b>
3.1. Le risque	25
3.2. Les exigences informationnelles	27
3.2.1. Architecture de la tâche et fonctions requises	27
3.2.2. Exigences informationnelles et quantité d'information	31
3.2.3. Complexité et temps de réaction.	32
3.2.4. Difficulté et temps de mouvement	34
3.2.5. La pression temporelle	35
3.2.6. Difficulté et intensité informationnelle	35
3.3. L'intensité	36
<b>4. EXIGENCES SUBJECTIVES ET MODELES PSYCHOLOGIQUES</b>	<b>40</b>
4.1. Perception des exigences et régulation des émotions	40
4.1.1. Perception des exigences et niveau d'activation.	41
4.1.2. Niveau d'activation et performance	41
4.1.3. Performance et émotion	42
4.2. Perception des exigences et régulation de la motivation	44
4.2.1. Rejet et acceptation de la tâche	44
4.2.2. Exigences estimées et investissement consenti	48
4.3. Une proposition intégrative: la confiance dans le mouvement	54
<b>5. LA PSYCHOPHYSIQUE</b>	<b>57</b>
5.1. La psychophysique fechnérienne	57
5.2. L'estimation directe des sensations	59
5.3. Les échelles de cotation	64
5.4. Relations entre les différents types d'échelles	66
5.5. Difficulté et psychophysique	68
<b>6. LE RISQUE.</b>	<b>70</b>

<b>7. L'INTENSITE</b>	<b>75</b>
7.1. Perception de l'effort.	75
7.1.1. Les échelles de rapport.	75
7.1.2. Les échelles de jugement absolu	77
7.1.3. Effort perçu et réponses physiologiques	79
7.1.4. Modulation psychologique de l'effort perçu.	81
7.2. Estimation de l'intensité des tâches	82
7.3. Mesure quantitative de l'intensité des tâches: l'exemple de l'escalade	84
<b>8. LES EXIGENCES INFORMATIONNELLES</b>	<b>87</b>
8.1. Perception des exigences informationnelles	87
8.1.1. La construction d'échelles de rapport.	87
8.1.1.1. Revue des travaux antérieurs	87
8.1.1.2. Exigences perçues et quantité d'information	91
8.1.1.3. Exigences perçues et pression temporelle	106
8.1.2. Les échelles de catégorie	111
8.2. Estimation des exigences	112
8.3. Mesure quantitative de la difficulté: l'exemple de l'escalade	113
<b>9. L'INTEGRATION PERCEPTIVE</b>	<b>117</b>
9.1. Interactions entre les dimensions énergétique et informationnelle	117
9.2. L'évaluation globale des exigences	118
9.3. La cotation en escalade	119
<b>CONCLUSION</b>	<b>123</b>
Bibliographie	125
Annexes: Protocoles expérimentaux et résultats.	
<b>ANNEXE 1. EXPERIENCE 1.</b>	
Influence du risque, du sexe et de l'habileté sur la perception des exigences de la tâche	137
<b>ANNEXE 2. EXPERIENCES 2 ET 3.</b>	
Estimation de l'intensité des tâches sportives. Influence de l'âge, du sexe et de l'expertise	140
<b>ANNEXE 3. EXPERIENCE 4.</b>	
Perception de l'effort et difficulté de la tâche	160
<b>ANNEXE 4. EXPERIENCES 5, 6, ET 7.</b>	
Estimation et perception de la difficulté dans une tâche de pointage manuel	166
<b>ANNEXE 5. EXPERIENCES 8 ET 9.</b>	
Perception de la complexité dans une tâche de recherche visuelle	177
<b>ANNEXE 6. EXPERIENCE 10.</b>	
Complexité et pression temporelle	184
<b>ANNEXE 7. EXPERIENCE 11.</b>	
Exigences objectives et subjectives dans les tâches de grimper	193

## INTRODUCTION.

Le discours sur la difficulté possède cette particularité de constituer en soi une illustration de son propre objet. Au-delà des évidences premières, l'argumentation tend à entrer dans une boucle folle où le concept est à la fois cause et effet. Par ailleurs, la polysémie du terme est évidente: la "difficulté" gravite dans un champ notionnel large et varié. Dans le discours courant, et suivant le contexte, difficile pourra être synonyme de dur, laborieux, pénible, compliqué, embrouillé, obscur, délicat, embarrassant, osé, risqué, dangereux... Ce jeu de nuances reflète un premier constat: la difficulté est plurielle et multivariée. Dans la littérature scientifique, la confusion n'est pas moins grande. "Difficulté" s'avère interchangeable avec une dizaine d'autres notions, aux opérationnalisations distinctes. Un effort de définition, de délimitation des concepts semble s'imposer, afin de préciser un langage spécifique et d'élaborer un modèle pertinent.

Dans le champ des activités physiques et sportives, le rôle de la difficulté des tâches motrices, en tant qu'organisateur de la pratique, paraît tellement central qu'il en perd paradoxalement tout potentiel discriminant. Il n'est pas neutre que les classifications élaborées jusqu'à présent en fassent l'économie (par exemple, Parlebas, 1971). Si l'on tente de définir le noyau unificateur du sport moderne, les notions de performance et de compétition paraissent incontournables. Or toutes deux supposent la difficulté et ne peuvent exister que par elle. En dernier ressort, cette dernière apparaît comme plus petit commun dénominateur des activités physiques et sportives, qu'elles soient de compétition ou de loisir, et ce, au-delà de la mise en jeu motrice dont elles n'ont par ailleurs pas l'exclusivité.

Mais si la difficulté semble essentiellement inscrite dans la logique des activités physiques et sportives, l'apparition et l'organisation d'un discours s'y rapportant, et nous développerons ce point dans la première partie de notre travail, sera contemporain du processus de technicisation et de didactisation des pratiques (Arnaud, 1986), c'est-à-dire de leur intégration dans une démarche d'enseignement. C'est parce que l'on envisage à un moment donné une transmission rationnelle et à grande échelle des savoirs-faire, que l'on commence à réfléchir sur la difficulté des tâches et sur la manière de l'adapter aux ressources des apprenants. Si le propos n'est pas neuf et apparaît au début du XIX<sup>ème</sup> siècle avec les premières gymnastiques systématisées, il faudra attendre un passé récent pour que soit dépassée une approche empiriste, fondant sa démarche dans une logique de réduction d'écart, et basée sur les performances des élèves. C'est la prise en compte de la notion de *tâche*, en tant que descriptif objectif du but à atteindre, possédant une existence autonome et antérieure à l'activité du pratiquant, qui permettra d'engager une démarche plus rationnelle. S'appuyant sur les travaux de la psychologie ergonomique, Famose et coll. (1983) proposent des outils d'évaluation de la difficulté des tâches motrices, et avancent les principes de sa manipulation dans un processus d'enseignement.

Mais si le cadre de l'analyse de la tâche permet d'isoler clairement les dimensions de variation de la difficulté, et d'investiguer la pertinence de sa manipulation dans une perspective didactique, la grandeur de ces variations reste liée à l'évaluation subjective de l'expert. Encore faut-il noter que l'on se trouve ici face à une méta-estimation, puisque l'élève va réagir à sa propre évaluation de la difficulté, ce qui entraîne l'enseignant à formuler des

estimations au second degré, des estimations d'estimations.

Or il semble que les problématiques actuellement développées, tant dans le cadre du sport de haut niveau que dans celui de l'éducation physique scolaire, exigent une rationalité plus précise dans l'appréhension de la difficulté des tâches. Ainsi dans le cadre scolaire, les perspectives de lutte contre l'échec scolaire ont débouché sur la mise en avant de processus de différenciation pédagogique, d'individualisation des cursus. Le problème consiste à proposer une tâche dont la difficulté présentera un "décalage optimal" (Allal, 1979) avec les ressources disponibles chez un élève particulier. Pour que ceci ne reste pas un voeu pieu, il devient nécessaire de pouvoir mesurer précisément la difficulté de la tâche, de connaître clairement les modalités de sa gestion par l'élève, afin d'opérationnaliser sans ambiguïté ce "décalage". Il faut alors aller plus loin que la simple dimensionalisation qualitative du phénomène et l'évaluation empirique des grandeurs, fût-elle du ressort de l'expert. *Pour maîtriser la difficulté, il convient de la mètriser.* C'est-à-dire de construire des échelles de mesure de la difficulté objective des tâches motrices, de mettre en évidence la relation, au sens *mathématique* du terme, entre cette échelle objective et l'échelle subjective des estimations de l'élève (la même investigation concernant l'enseignant ne sera par ailleurs pas dénuée d'intérêt), et d'examiner comment les combinaisons de ces différentes variables influencent la performance, dans une situation donnée. Quant au sport de haut-niveau, il s'inscrit également dans ce type de logique, avec plus d'acuité peut-être. La différenciation, l'individualisation est sans doute plus évidente dans sa nécessité, plus facile à mettre en oeuvre que dans le cadre scolaire, par le resserrement des liens, qualitatifs et quantitatifs, entre le formateur et le formé (dans ce cadre, l'entraîneur et l'athlète). Elle est également plus exigeante en qualité et en précision, au fur et à mesure que la marge de progression de l'athlète se rétrécit.

Mais si dans le domaine des activités sportives, la difficulté est toujours présente, il faut distinguer les activités pour lesquelles elle constitue une référence incontournable, mais implicite, la compétition s'organisant autour de données de score (sports d'opposition) ou de mesures de performance (athlétisme, natation,..), et celles dont elle représente le principe organisateur et explicite, c'est-à-dire modélisé et verbalisé. Dans cette seconde catégorie, on retrouve notamment la gymnastique, dont le contenu est organisé autour d'une échelle ordinale de cotation des difficultés, classées de A à D. Le cas de l'escalade est sans doute encore plus marquant: son histoire pourrait être celle de l'emprise de plus en plus marquée de la notion de difficulté dans la définition et l'organisation de la pratique. Les anciennes exigences éthiques, telles que la référence au milieu naturel, la progression en cordée, l'idée même de sommet à atteindre ont peu à peu disparu. L'escalade moderne, tant au niveau de la compétition que de la pratique autonome, ne se définit que par la difficulté des passages franchis ou à franchir. Il s'agit sans doute de la seule activité à avoir développé un système de cotation aussi sophistiqué, et aussi performant. L'échelle de difficulté permet de caractériser une voie, et dans ce sens elle constitue un langage commun, une culture locale. Elle permet en outre de situer l'habileté d'un pratiquant (grimpeur à 7b après travail), de préciser le niveau d'une compétition (finale en 8a), d'un examen ou d'un concours de recrutement (la moyenne étant par exemple attribuée pour le franchissement d'une voie de 6c).

Par ailleurs, l'escalade semble proposer une expérience de la difficulté particulièrement riche. Si comme nous l'avons avancé précédemment, la difficulté est plurielle et multivariée, l'escalade semble en épuiser toutes les dimensions envisageables. L'ensemble des substituts que nous avons relevés plus haut (dur, laborieux, pénible, compliqué, embrouillé, obscur, délicat, embarrassant, osé, risqué, dangereux...) peuvent à un moment donné qualifier un passage ou une voie .

L'escalade semble donc constituer à plus d'un titre un support particulièrement pertinent pour l'étude de la difficulté, et Guy Tiberghien (1984), dans un ouvrage par ailleurs fort éloigné du domaine des activités sportives, lance les hypothèses constitutives de ce qu'il appelle la "psychophysique du VIIème degré" (il faudrait d'ailleurs parler aujourd'hui du huitième, voire du neuvième degré...), investigation qui tenterait de répondre à des questions du type: "quelle est la relation entre difficulté objective et difficulté subjective? Quelles sont les dimensions qui définissent la difficulté objective (exposition du passage d'escalade, longueur, caractère athlétique ou délicat, etc..? Quelle est la relation entre l'accroissement de la difficulté objective et l'accroissement du sentiment de difficulté (fonction linéaire, logarithmique, puissance, etc..)? Où situer l'origine de l'échelle et existe-t'il une limite absolue aux possibilités humaine d'escalade?". C'est à ces questions que Tiberghien posait en 1984 que nous avons tenté d'apporter une réponse.

Dans un premier temps, nous proposerons une réflexion épistémologique sur les conditions historiques d'apparition d'un discours sur la difficulté, et sur l'évolution de sa fonctionnalité. On verra alors que les questions précédentes émergent lentement au fil de la transformation des pratiques, et cette approche soulignera l'actualité cruciale de ce débat en ce qui concerne l'escalade.

Puis nous proposerons un modèle, un cadre d'analyse du concept de difficulté. Il s'agira en fait de structurer le champ, de proposer une lexicologie précise et opérationnelle, permettant de fédérer sans abus ni contre-sens des modèles issus de champs latéraux. C'est tout d'abord des niveaux d'analyse qu'il faudra mettre en évidence, la difficulté renvoyant tour à tour à un stimulus et à une perception, c'est à dire à une réalité objective et à une évaluation subjective. Puis il s'agira d'organiser le concept même, dans son hétérogénéité et sa multivariété. Nous proposerons alors une dimensionalisation de la difficulté, supposant par ailleurs que si ces dimensions relèvent de logiques et de fonctionnements distincts, c'est dans leur intégration, à la fois objective et perceptive, que l'analyse des situations de terrain pourra trouver quelque validité.

Ceci nous mènera à un détour incontournable pour l'intelligibilité de notre propos ultérieur, au travers de la discipline qui structurera l'ensemble de notre méthodologie expérimentale: la psychophysique. Nous en proposerons une approche succincte, parce que sélective, centrée sur les problématiques théoriques et méthodologiques que nous aurons à mobiliser par la suite. Ce détour est rendu nécessaire par la faible diffusion actuelle de la psychophysique dans le domaine de la recherche concernant les activités physiques et sportives.

La suite du document s'organisera autour des dimensions que nous aurons précédemment identifiées, et qui seront envisagées dans une perspective psychophysique, isolément dans un premier temps, puis dans la perspective de l'intégration perceptive.

Le champ dont nous avons tenté l'investigation étant relativement vierge, il nous a semblé nécessaire d'assurer nos modèles d'analyse par une série d'expérimentations fondamentales, que l'on pourra estimer fort éloignées de la réalité sportive. Il nous a néanmoins paru difficile d'en faire l'économie, l'appréhension des activités complexes exigeant la constitution préalable d'hypothèses de travail que seul un détour fondamental pouvait permettre de valider, voire de générer. Par ailleurs, la richesse du concept de difficulté et des problématiques qu'il soulève nous ont incité à mettre sur pied d'autres plans expérimentaux, plus appliqués que les précédents, mais éloignés encore de l'activité escalade. Dans un secteur théorique en voie de constitution, il nous a semblé important de diversifier les

approches, de proposer des investigations à la limite des connaissances actuelles, afin d'accumuler un corpus conséquent d'hypothèses et de résultats.

Notre travail s'appuie donc sur une série de sept expérimentations, qui tentent de rendre compte de l'ensemble des dimensions et des niveaux d'analyse que nous avons cru devoir identifier sous le concept de difficulté. Afin de rendre le texte plus limpide, les plans expérimentaux et les résultats des expériences sont regroupés en annexes en fin de document. Il nous a paru plus cohérent d'organiser notre travail de rédaction autour de l'analyse théorique et méthodologique de la difficulté, plutôt qu'à partir de nos diverses expérimentations, dont par ailleurs les hypothèses constitutives et les résultats se chevauchent et se croisent dans un réseau complexe et ramifié.

EPISTEMOLOGIE DE LA DIFFICULTE.

Toute montagne passe nécessairement  
par ces trois états:  
1-Un pic inaccessible.  
2-La plus difficile escalade des Alpes.  
3-Une course facile pour dames.  
(Mummery, 1881)

1.1. DU SAVOIR-FAIRE A LA TECHNIQUE.

La difficulté est avant tout une sensation, une expérience intime. Mais elle nous intéressera dans ce premier chapitre en temps que discours. Comme la technique, qui n'atteint son statut qu'en tant que savoir transmissible, communicable (Vigarelo et Vivès, 1983), on peut dire que la difficulté n'existe que par l'effort de traduction, de communication fait à son propos. Ce discours joue plusieurs fonctions. C'est tout d'abord celui de la communication de cette expérience intime, ce qui suppose l'élaboration d'un code commun, d'un étiquetage de différents niveaux de difficulté, selon une métrique plus ou moins évoluée. On débouche ainsi sur une possible hiérarchisation des tâches, qui permettra dans un second temps la structuration rationnelle des démarches d'enseignement.

On retrouve ici les trois objets identifiés par Arnaud (1986), dans le passage du savoir-faire à la technique et à son enseignement. Il s'agit en premier lieu de l'objet culturel. Ce niveau est caractéristique des sociétés traditionnelles. L'habileté est dans ce cadre une forme sociale porteuse de sens. Il s'agit d'un savoir-faire, "production individuelle, proche du tour de main, de la virtuosité, du coup d'oeil", qui au sens strict ne s'apprend pas et échappe à toute formalisation ou verbalisation. On peut dire qu'à ce niveau, la difficulté ne déborde pas hors de l'intimité de l'individu. D'ailleurs, les rapports entre la tâche et le sujet sont marqués par la cohérence et l'adéquation. Dans la logique du compagnonnage, l'apprenti s'imprègne petit à petit des compétences nécessaires à l'exercice du métier, dans un lent processus où jamais son habileté actuelle n'est réellement mise en défaut. Tâche d'initiation ou chef-d'oeuvre, le travail réalisé est la réification du savoir-faire du compagnon.

Ceci est à relier aux analyses de Guillaume (1980, 1981), sur l'histoire de la détermination positive des performances physiques. Partant des premiers essais de chronométrie sportive, remontant en France à 1801, l'auteur recherche les motifs culturels d'un écart manifeste entre une métrologie latente et ses manifestations effectives. Selon lui, cet écart relève d'un manque d'intérêt des sociétés traditionnelles pour la performance exceptionnelle. Ceci viendrait d'un système d'attentes, modelé par le complexe technologique

de l'époque, tendant à conformer le corps producteur à des qualités de modération, de travail lent et obstiné. L'auteur rappelle les investigations de Coulomb (1797), cherchant à définir "l'effet utile", dans le régime de travail régulier, cette notion étant issue d'une réflexion précoce sur le rendement des machines hydrauliques. On pourrait ainsi retrouver au niveau du complexe éotechnique (Mumford, 1950) une cause première de la tardive émergence d'un discours objectivant sur la difficulté. On peut également rappeler les exercices proposés par Madame de Genlis pour les enfants de la famille d'Orléans, comportant entre autres le transport de charges sans commune mesure avec le public visé. En fait, elle "choisit la gymnastique pour son pouvoir de provocation, en dépit d'une utilité problématique" (De-france, 1976). Mais son approche "didactique" montre que l'idée même d'une analyse de la difficulté est encore absente.

La seconde étape identifiée par Arnaud est l'objet technique. A ce stade apparaît un effort de rationalisation des pratiques, qui passe par la définition d'un standard comportemental, d'un savoir-faire légitime. Le passage du savoir-faire à la technique instaure un rapport savant à la pratique. Selon l'auteur, le moteur de ce processus seraient des impératifs sociaux et institutionnels de transmission collective des acquis culturels. Ainsi l'objet technique est étroitement lié à l'objet didactique, qui constitue la dernière étape du modèle. L'objet technique est "un référentiel pour les apprentissages".

C'est dans ce cadre que le discours sur la difficulté peut se développer pleinement. Amoros (1815) déclare qu'"il faut commencer par le commencement, suivre la chaîne des développements sans faire de saut ni de lacune, et arriver à la fin sans estropier ni sacrifier les enfants". Les deux principaux axes du discours sont clairement exposés: il convient tout d'abord de classer, de hiérarchiser les exercices en fonction de leur difficulté. Cette préoccupation est évoquée plus tard par Demeny (1093): "Le choix des exercices, leur classement et leur gradation, voilà ce qui importe". Le second problème est d'assurer la progressivité de l'enseignement en adaptant constamment les contraintes des tâches aux possibilités des élèves. Hébert (1941) insistera également sur cet aspect: "...si le dosage ou la difficulté sont trop faibles, les progrès seront nuls ou peu importants. Si au contraire le dosage ou la difficulté sont exagérés il peut se produire du surmenage ou des accidents".

L'émergence d'un discours sur la difficulté des exercices physiques semble donc avoir été consécutive au processus de technicisation et de didactisation des pratiques. Qu'en a-t-il été du discours particulier que constitue la cotation des difficultés en escalade?

## 1.2. L'EMERGENCE DES REGLES DU JEU.

L'escalade, et plus largement l'alpinisme, semblent actuellement s'organiser autour du concept de difficulté. A une première phase "exploratoire", où il s'agissait d'atteindre le sommet, ou de vaincre une face ou une arête, si possible par le chemin le plus "facile", a succédé une seconde étape où le problème se situe moins dans le but à atteindre que dans la "qualité" de la voie à parcourir. Cette évolution ne présente néanmoins pas de rupture tranchée. Mummery, acteur émérite de l'exploration alpine, écrivait dès 1895: "l'essence même du sport alpin est, non pas dans l'ascension d'un pic, mais dans la lutte pour surmonter les difficultés". Karl Planck et Hans Dülfer lanceront avant la première guerre mondiale l'idée d'une cotation des difficultés. On peut néanmoins dire que ce phénomène s'exprime pleinement entre les deux guerres, par le développement de l'escalade artificielle. L'extrême ne se définit déjà plus par le sommet, mais par l'austérité du chemin d'accès. Si l'escalade

libre, qui apparaît et se systématise à partir de 1976, s'oppose dans ses principes à la précédente, c'est toujours la difficulté qui en organise la pratique. Seule la définition des moyens admissibles pour la vaincre connaît une violente révolution.

C'est sans doute dans cette définition, dans l'absolu, d'une "éthique" de l'escalade, c'est-à-dire d'une manière de faire légitime, que l'on doit rechercher les origines du souci de la cotation des difficultés. Car c'est le respect de règles communes, dans l'utilisation ou le rejet de certaines techniques ou artifices, qui permet la comparaison des ascensions, ou la hiérarchisation des passages.

Aux origines de l'alpinisme, tous les moyens sont permis pourvu qu'ils permettent d'atteindre le sommet. Quand en 1492, Antoine de Ville parvient au sommet du Mont-Aiguille, c'est à l'aide de "subtilz angins": sa caravane comprend un tailleur de pierre, un charpentier, et un "eschelleur du roy", habile à escalader les murailles des châteaux-forts récalcitrants. La conquête du Peter Botte, à l'île Maurice, en 1832, utilise des moyens similaires: échelles et lanciers de cordes. Quand il s'agira d'apprécier la difficulté des courses, dans un compte-rendu ou une note technique, Devies (1934) relève que "beaucoup d'auteurs se sont réfugiés dans une prudente et totale abstention. D'autres, au contraire, ont multiplié les indications, mais ils se sont servis d'expression si diverses qu'il est souvent peu commode de se rendre compte de la valeur relative de deux escalades".

C'est le munichois Paul Preuss qui le premier, en 1912, jette les bases d'une éthique rigoureuse de l'escalade.

"1. Dans un ascension en montagne, il ne suffit pas d'être au niveau de la difficulté qu'on affronte, il faut être d'un niveau bien supérieur.

2. La difficulté qu'un grimpeur peut affronter à la descente, sans corde et l'âme tranquille, doit représenter la limite maximale de la difficulté affrontée à la montée.

3. L'usage de moyens artificiels est légitime seulement en cas de danger.

4. Le piton est une réserve en cas de difficulté, non le fondement d'une technique d'assurage.

5. La corde peut être une aide mais non le moyen indispensable d'effectuer une ascension.

6. Le principe de la sécurité doit tout dominer, non par l'assurage à l'aide de moyens artificiels mais par la juste appréciation de sa propre force" (cité par Jouty, 1986).

L'histoire fera de Preuss un visionnaire, puisque si entre les deux guerres, c'est au contraire l'escalade artificielle qui marquera le développement de l'alpinisme de haut-niveau, le renouveau de l'escalade libre à la fin des années soixante-dix sera un retour à certains de ses principes. Mais l'important réside dans cet effort de codification, d'élaboration de règles du jeu. Et il n'est pas neutre que les premières propositions en matière de codification des difficultés soient venues à la même époque des grimpeurs munichois (Deviés, 1934).

C'est Welzenbach, en 1925, qui propose le premier modèle cohérent. Son échelle des difficultés présente six degrés:

- 1er degré: facile
- 2ème degré: peu difficile
- 3ème degré: difficile
- 4ème degré: très difficile
- 5ème degré: extraordinairement difficile
- 6ème degré: extrêmement difficile.

La présentation de cette échelle par Devies (1934) montre que si l'éthique de Preuss n'est plus à l'ordre du jour, ces degrés se définissent néanmoins selon une manière de faire légitime. Il est notamment précisé que l'usage des pitons ne doit être nécessaire qu'à partir du cinquième degré.

Le remaniement de cette échelle (Devies, 1943) va encore accentuer la tendance. La logique de l'échelle de Welzenbach est conservée, et l'on retrouve six degrés de difficulté:

- I: facile
- II: peu difficile
- III: assez difficile
- IV: difficile
- V: très difficile
- VI: extrêmement difficile.

Une distinction est faite entre les chiffres, qui s'appliquent aux passages d'escalade, et les libellés, qui s'adressent à l'ensemble d'une voie. Mais surtout la cotation chiffrée n'est valide que pour les passages franchis en libre (c'est-à-dire à l'époque sans l'utilisation des étriers). Une seconde cotation est introduite concernant les passages artificiels, de A1 à A4. Longtemps la définition du "libre" restera versatile. Ce sera tout d'abord le "libre Saussois", admettant l'utilisation des pitons comme moyen de progression, à condition de ne pas les équiper d'étriers, puis ce sera le "clou à clou", tolérant le repos au niveau d'un piton, à condition qu'il ne serve pas pour la progression. L'échelle de cotation suivra vaille que vaille les affres de l'éthique. on verra apparaître par exemple la notation "ASE", pour les passages en artificielle sans étriers.

L'étape la plus marquante sera la "libération " de l'escalade, dans les années soixante-dix. Cette fois la règle se fait beaucoup plus contraignante: "l'escalade libre est celle où le grimpeur n'utilise pour progresser que les aspérités de la roche, en un mot les prises. Les artifices tels que pitons, coinçeurs, anneaux de cordes, ou autres sont exclusivement réservés à l'assurage d'une chute éventuelle du grimpeur.[...] Cette conception du libre doit servir de base au système de cotation des passages ..." (Droyer et Golden, 1979). Dans ce cadre, la difficulté "ne réside pas tant dans celle d'un mouvement particulier très ardu que dans la répétition de mouvements difficiles et athlétiques induisant une difficulté de continuité" (Droyer, 1978). La logique de ce système finira par rendre caduque, au cours des années 80, la cotation distincte

des passages et des voies d'escalade. Dorénavant le chiffre s'applique à l'ensemble de la voie, mais cette cotation n'a de sens que si le grimpeur se conforme à l'éthique moderne.

L'évolution de l'escalade semble donc parfaitement s'inscrire dans le schéma général évoqué précédemment. la cotation de la difficulté n'existe que par la technicisation de la pratique, et sa rigueur est directement liée à la précision des règles du jeu. C'est parce que l'escalade atteint peu à peu sa "maturité sportive" (Droyer et Golden, 1979) que le discours sur la difficulté devient fiable et pertinent. A-t-elle pour autant atteint le stade de l'objet didactique? Selon Dupuy (1987), "...pour beaucoup d'éducateurs, le grimper est une activité naturelle dont l'apprentissage serait relativement spontané [...]. Seules, les règles et techniques de sécurité font l'objet d'une formation suivie". En fait, nous pensons que le passage au dernier stade du modèle d'Arnaud est actuel, ce qui corrobore avec la récente institutionnalisation de l'escalade compétitive, la création d'un monitorat et d'un professorat de sport spécifique. Le travail que nous entreprenons s'inscrit en toute logique dans ce processus, ambitionnant de faire du système de cotation une véritable variable didactique, guidant entraîneurs et éducateurs dans la conception de voies adaptées aux objectifs qu'ils se définissent.

### C. LE SENS DE L'EXTREME.

Mais l'évolution de la cotation des difficultés en escalade recèle d'autres aspects intéressants, et notamment dans le traitement des difficultés extrêmes. Il s'agit sans doute de la seule activité où très tôt on a envisagé le problème des limites supérieures des possibilités humaines. Le principe du système de Welzenbach réside dans une conception figée de cet extrême: "Chaque individu de capacité constante peut construire sa propre gradation de difficulté.[...] Mais entre toutes les gradations, il n'y en a qu'une seule d'emploi général: celle qui se réfère à *la plus grande capacité possible*. La gradation ainsi rapporté à un maximum fixe est donc fixe et complète" (Devies, 1934). L'idée générale est que "la limite du possible, dans chaque spécialité athlétique, est la catégorie des valeurs, performances, vers laquelle convergent les records isolés de la spécialité elle-même, avec des progrès qui, malgré les efforts, le style, l'entraînement, deviennent de plus en plus petits" (M.D. Rudatis, cité par Devies, 1934). Les progrès des performances humaines suivraient donc une loi logarithmique, s'épuisant vers un asymptote horizontale, inéluctable. C'est cette logique, sans doute pertinente dans l'absolu, qui fera affirmer à P. Henry (1982) que "...l'écart des degrés numériques diminue quand la difficulté augmente", ce qui laisserait supposer que l'échelle de cotation n'est pas construite sur une estimation de la difficulté, mais sur un historique des progrès quantifiés des performances.

Quoiqu'il en soit, Devies en 1934 pense que les meilleurs grimpeurs du moment ont quasiment atteint cet extrême, même s'il répugne à proposer des exemples concernant le sixième degré supérieur. Ceci n'empêchera pas les grimpeurs de franchir des passages de plus en plus difficiles, repoussant toujours plus loin les prétendues limites des possibilités humaines. La citation de Mummery que nous avons placé en exergue à ce chapitre paraît à rebours d'une rare clairvoyance. Le même Mummery écrivait en 1895 (cité par Agresti, 1978): "la lutte comporte les mêmes risques, et pour le grimpeur ancien qui attaquait ce que nous appelons maintenant des rochers faciles, et pour nous autres modernes qui nous mesurons à de formidables rocs, et pour le grimpeur futur, être encore idéal, qui donnera l'assaut à des murailles que nous regardons encore sans espoir d'être accessibles". Ceci entraînera de fréquentes révisions à la baisse des cotations, rendues nécessaires par le "tassement" des difficultés vers le haut de l'échelle. Une autre solution sera proposée par

Alain et Devies (1947), qui consistera à étendre les limites du sixième degré, l'ancien VI inférieur devenant le VIa, l'ancien VI le VIb, l'ancien VI supérieur le VIc, l'échelle pouvant continuer ensuite indéfiniment, VIId, VIe, VIf, etc... Dans cette logique, la définition du sixième degré donné par Welzenbach reste valide, on admet simplement avoir surestimé les performances des grimpeurs de 1934.

Cette définition sera plus tard largement critiquée, et notamment par Messner (1975), pour lequel "après l'introduction du Vème degré par Mummery, du VIème par Preuss, nous en serions depuis Bonatti et Cozzolino au VIIème degré". L'Union Internationale des Associations d'Alpinisme prendra acte de cette "transformation historique de l'escalade" en créant officiellement un nouveau degré, ainsi défini: "VII ou EX. Difficultés exceptionnelles. Réservé à une élite. Les meilleurs grimpeurs ont besoin d'un entraînement particulier adapté à la structure de la roche pour forcer de tels passages à la limite de la chute. Il faut une très grande maîtrise de soi et un engagement total. Ces passages sont rarement franchis lors de la première tentative" (Bossus, 1979). Il est à noter que les grimpeurs genevois, adoptant ce nouveau degré, préférèrent à EX la cotation ABO, abominable...

Il faut remarquer que la concession de l'UIAA ne transformait pas fondamentalement la logique du système. Il s'agissait de prendre acte d'une erreur de jeunesse de l'échelle de cotation, qui avait crû trop tôt que les limites des possibilités humaines étaient atteintes. Mais ce n'était que déplacer le problème, et il n'a fallu que quelques années pour que le phénomène de tassement se reproduise dans le septième degré. Le pas est franchi par J.C. Bouvier au début des années 1980, qui attribue à Chimpanzodrome, au Saussois, la cotation VIIa. Si la voie est légèrement déclassée par la suite, l'évolution continue avec le premier 8b en 1984, et 8c en 1987.

Agresti (1979) avait prévenu qu'"avec un tel système, on ne coterait plus de façon approximative ce qui, dans un passé encore récent, était davantage psychologique que technique, mais bien plutôt l'immuabilité des propriétés intrinsèques du terrain". Cette prédiction se réalise en fait quatre années plus tard, vers 1983, quand les grimpeurs rompent avec l'idée d'une cotation subjective. On n'évaluera plus une performance, mais les caractéristiques objectives des passages. Dans ce sens, un passage est lié durablement à sa cotation, au-delà de l'évolution des performances des grimpeurs.

Nous ne nous étendrons pas à ce niveau sur la possibilité ou les écueils éventuels d'une telle évaluation. Ces problèmes constituent la base de la problématique sous-tendant notre travail. Ce que nous voulons mettre en avant, c'est la "révolution copernicienne" que cache l'ouverture vers le haut de l'échelle de cotation. Le grimpeur est ainsi évacué de la problématique de la difficulté, même si paradoxalement un passage n'existe en tant que tel que parce qu'il a été franchi, et si sa cotation dépend de toutes façons de l'évaluation subjective de ses vainqueurs.

Le passage des chiffres romains aux chiffres arabes, l'utilisation pour tous les degrés des lettres pour distinguer les niveaux dans les degrés (5a, 5b, 5c), l'affinement de la cotation par l'adjonction à ces niveaux d'une "tendance supérieure" (7b+) -alors que Henry (1982) doutait que l'on puisse objectivement distinguer un VIa d'un VIb, selon les "lois mathématiques de calcul d'erreur"-, tout montre que le bouleversement des conceptions est profond, que l'on tient à marquer nettement et durablement la rupture. L'exemple des grimpeurs américains a pu également être attractif, qui avaient adopté depuis longtemps une cotation décimale, ouverte vers le haut.

Avatar de l'histoire ou solution finale du problème de la cotation? Si l'on ne sait encore rien du mécanisme intime de l'évaluation subjective de la difficulté, de ses rapports avec une difficulté objective dont les critères restent à définir, il n'en demeure pas moins que ce système est en cohérence avec l'escalade sportive, compétitive, "moderne" -mais Mummery en 1895 se qualifiait également de moderne-. En fait, elle est en cohérence avec ce qui est présenté par de nombreux auteurs comme le stade ultime du développement des pratiques physiques, notion qu'il n'est pas de notre propos de développer ici.

DIFFICULTE, TACHES ET SITUATIONS MOTRICES

L'essai d'épistémologie historique qui précède suffit à introduire les principales composantes des modèles que nous allons utiliser. La difficulté est sentiment diffus ou représentation infraconsciente. Elle semble émerger, à l'insu du sujet, des résistances qu'offre à ses entreprises son milieu d'évolution. Elle apparaît comme une expérience unique, liée à la dyade fusionnelle d'un individu et de son action. Mais la difficulté se fait aussi discours, et cette transition va nécessiter un effort de labellisation des sensations, et la construction d'échelles communes. On convient alors qu'il ne s'agit plus d'une intimité indicible, mais d'une expérience commune, comparable et exprimable, susceptible de généralisation. Où la difficulté réside-t-elle dans ce cadre? Se résout-elle dans la perception d'un individu épistémique, perçoit moyen de sujets hypothétiques, ou est-elle attachée à la tâche, c'est-à-dire au but que l'on se fixe dans un environnement donné? Subjectivité ou donnée objective?

Cette réflexion trace le contour des deux objets qui vont organiser l'ensemble de notre travail. Ils nécessitent néanmoins une opérationnalisation plus précise, que nous allons tenter de réaliser en les intégrant dans un modèle plus vaste, celui de l'analyse des tâches, particulièrement développé en psychologie ergonomique (Leplat, 1980; Leplat et Hoc, 1983)) et repris récemment dans le domaine des activités physiques et sportives (Famose, 1983a, 1990). Dans une première approche, ce modèle s'organise autour de trois éléments, alignés sur une chaîne séquentielle: la tâche, l'activité, et la performance (cf.figure 2.1.).

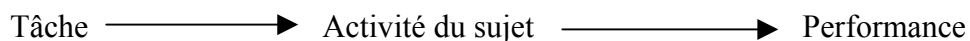


Figure 2.1. Modèle d'analyse de la performance (d'après Famose, 1990).

Ce modèle nous semble constituer un cadre intégrateur, incontournable pour ébaucher une réflexion sur la difficulté. Nous allons en proposer une présentation succincte, entièrement orientée par notre propos sur la difficulté, et qui s'enrichira et évoluera progressivement au fil du discours.

## 2.1. TACHE ET ACTIVITE.

La distinction tâche-activité est fondamentale dans la logique de fonctionnement du modèle. Selon Leplat et Hoc (1983), "la tâche indique ce qui est à faire, l'activité ce qui se fait. La notion de tâche véhicule avec elle l'idée de prescription, sinon d'obligation. La notion d'activité renvoie elle, à ce qui est mis en jeu par le sujet pour exécuter ces prescriptions, pour remplir ces obligations".

En première approche, la tâche est donc une "activité déterminée et obligatoire" (Famose, 1983a). Dans ce sens, les auteurs s'accordent à la définir comme "un but à atteindre dans certaines conditions" (Leplat, 1980). Le but spécifie le résultat qui doit être atteint après la réalisation motrice. Il renvoie à l'état final du système, après accomplissement de la tâche (Leplat et Hoc, 1983). On attribue à la tâche une existence objective, indépendante des activités ou des processus que le sujet mettra en jeu pour la réaliser. Dans la logique de cette définition, la tâche préexiste à tout investissement réel du sujet. En regard, l'activité fait référence à ce que le sujet met en jeu pour satisfaire aux exigences de la tâche. Il s'agit d'une série d'opérations cognitives et motrices qui vont permettre au sujet:

- d'avoir une image claire du but à réaliser,
- d'identifier la situation, de prédire quel type d'événement risque de se produire,
- de décider quel type de réponse il doit apporter à la suite de cette identification,
- de mettre en oeuvre cette réponse.

Les ressources mobilisées par le sujet seront de nature bio-informationnelle et bio-énergétique, dans des proportions diverses en fonction du type d'exigences véhiculées par la tâche. Si la série d'opérations ainsi décrite apparaît comme séquentielle, l'importance des différentes étapes va dépendre des caractéristiques objectives de la tâche. On peut remarquer que si la dernière étape lie intimement ressources énergétiques et informationnelles, les trois premières renvoient exclusivement aux secondes. Elles font en fait référence au modèle classique du traitement de l'information, postulant l'existence de plusieurs stades successifs de traitement, intervenant entre la présentation du signal et le déclenchement de la réponse (cf. figure 2.2.).

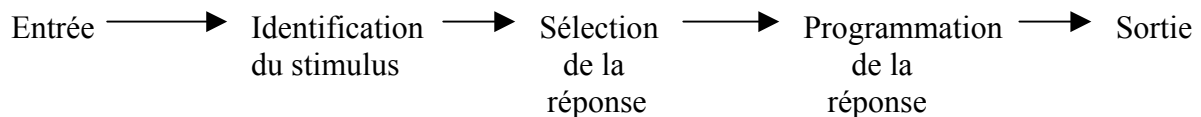


Figure 2.2. Modèle sériel du traitement de l'information (d'après Schmidt, 1982).

L'idée centrale qui organise et valide cette approche est celle de la correspondance entre la tâche et l'activité du sujet, c'est-à-dire entre les contraintes de la première et les ressources mobilisées par la seconde. Une analyse plus fine de la notion de tâche fait apparaître deux niveaux, d'une part celui des *exigences*, qui renvoient aux caractéristiques objectives, à l'architecture de la tâche (Famose, 1983a), et d'autre part celui des *demandes*, qui correspondent au type et au niveau des ressources sollicitées (i.e. la notion de nature de la

tâche, Famose, 1983a). On suppose que les exigences définissent les demandes, à partir desquelles on pourra inférer l'activité du sujet lors de l'accomplissement de la tâche.

## 2.2. LES DIFFERENTS NIVEAUX D'ANALYSE DE LA DIFFICULTE.

Le modèle proposé permet de définir plusieurs niveaux d'analyse du concept de difficulté. Ces propositions ne constituent qu'une première approche, que nos travaux expérimentaux pourront valider ou faire évoluer.

On peut isoler premièrement la difficulté objective, qui renvoie à l'architecture de la tâche, c'est-à-dire à ses exigences. Il s'agit d'une caractéristique absolue, dans le sens où elle est indépendante de l'activité particulière d'un sujet ou des ressources dont il dispose. Cette définition s'appuie sur la logique du modèle précédemment évoqué, donnant à la tâche une existence autonome et objective. Cette difficulté doit pouvoir être décrite et mesurée en ne faisant référence qu'à une analyse des contraintes. Ceci suppose un effort de modélisation des tâches, l'isolation de dimensions pertinentes et la construction d'échelles appropriées.

En la rapportant aux ressources disponibles chez le sujet, on peut introduire la notion de *difficulté relative*. C'est à dire qu'une tâche de difficulté objective donnée pourra être facile pour un premier sujet, et impossible pour un second. La difficulté relative dans ce sens est un descripteur du système tâche-sujet. On peut noter que Desharnais (1971) parle à ce niveau de difficulté proprement dite, réservant le terme de complexité à ce que nous avons appelé difficulté objective. Nous préférons réserver ce terme de complexité pour un autre usage, au niveau de la dimensionnalisation des exigences (cf. Chapitre 3.).

Le second niveau sera celui de la difficulté subjective, qui correspond aux représentations du sujet, à l'évaluation qu'il réalise des demandes de la tâche. Si cette évaluation précède la performance, on parlera de *difficulté estimée*. Famose (1990) parle à ce sujet de difficulté perçue estimée à l'avance. Si elle accompagne ou succède à la performance, on parlera de *difficulté perçue*. Ce second niveau fait entrer en jeu non seulement la tâche et les ressources disponibles chez le sujet, mais encore son activité, c'est à dire la manière dont il mobilise ses ressources pour atteindre le but défini, que cette activité soit anticipée, dans le cas de la difficulté estimée, ou actualisée en ce qui concerne la difficulté perçue.

C'est en fait la liaison tâche-activité du sujet qu'il faut questionner. Les auteurs s'accordent à dire que cette liaison est médiée par la tâche que se fixe lui-même le sujet, à partir de la tâche qui lui a été proposée. Famose (1982a) parle de tâche redéfinie, Leplat et Hoc (1983) de tâche effective: "Ainsi apparaît la nécessité de distinguer, à côté de la tâche prescrite, qui définit ce que l'on attend du sujet, une autre tâche correspondant à ce qu'il fait réellement". La tâche effective peut se décrire par un but et des conditions d'exécution: ici ce sont le but et les conditions effectivement pris en considération par le sujet. Les auteurs notent qu'il existe une étroite correspondance entre la description de la tâche effective et celle de l'activité. En fait, "la tâche effective, telle qu'elle est décrite, constitue [...] un modèle de l'activité" (Leplat et Hoc, 1983).

Il serait sans doute réducteur de soutenir que la tâche redéfinie dérive de manière univoque de la tâche assignée, au terme d'un traitement qui ne relèverait que de caractéristiques propres à l'expertise du sujet. La redéfinition de la tâche dépend certes de l'habileté spécifique que s'attribue le sujet, par rapport au but assigné et aux contraintes

environnementales et procédurales, mais il est indéniable que la signification que revêt pour le sujet l'atteinte -ou d'ailleurs la non-atteinte- du but est extrêmement importante. Considérons une tâche de saut en hauteur. Pour un niveau d'exigence équivalent, la tâche va revêtir des significations diverses suivant qu'il s'agit d'un saut d'entraînement, d'une concours de compétition, ou de l'épreuve d'Education Physique du Baccalauréat. L'enjeu de la prestation, la présence d'autres compétiteurs, du public, voire la conversion des performances et/ou du niveau d'habileté en notes certificatrices, sont autant d'éléments susceptibles d'influencer le processus de redéfinition de la tâche et la nature de l'activité du sujet. Dans ce sens, on peut se demander si la notion de tâche est suffisante dans le cadre de l'étude de la difficulté subjective. Revenons sur ce concept.

### 2.3. DEFINITIONS DE LA TACHE

La notion de tâche a été introduite dans le champ de l'apprentissage moteur dans un but de clarification théorique. Le discours pédagogique était jusqu'alors organisé à partir de concepts tels que ceux d'exercice, ou de situation pédagogique, dont la polysémie rendait difficile l'opérationnalisation. Exercice renvoie en effet à la fois à l'activité du sujet, à l'idée de répétition, d'entraînement, mais aussi à la nature même de l'activité proposée (exercices de force, de souplesse,...). Quant à la notion de situation, si elle renvoie plus précisément à l'environnement mis en place par l'enseignant, elle se rapporte également à un type d'intervention pédagogique, visant en réaction à un enseignement artificiel et analytique à demander à l'enfant de réaliser des "mouvements" plus finalisés, plus signifiants (Famose, 1982b).

Ces ambiguïtés ont incité certains auteurs à proposer le concept de *tâche motrice*, qui définit un ensemble de contraintes extérieures au sujet, dont on peut décrire les caractéristiques de manière objective, et qui vise à une mobilisation des ressources du sujet. La tâche motrice joue le rôle de pivot entre les stratégies pédagogiques de l'enseignant et les procédures d'apprentissage. Elle constitue en quelque sorte l'interface entre le maître et l'élève. Or, "quels que soit les objectifs, les présupposés théoriques, pédagogiques ou idéologiques de l'enseignant -et bien que ce ne soit pas indifférent quant aux inéluctables "sélections" qu'il opère par son choix-, en dernier ressort il propose toujours une ou plusieurs tâches motrices aux élèves" (Bertsch, 1984). Concept transversal, permanent, elle apparaît dès lors comme une entrée incontournable pour l'analyse scientifique des processus d'enseignement et d'apprentissage (Famose, 1982a, 1983a).

Dans la logique du système tâche-activité décrit précédemment, la base du dispositif réside donc au niveau des exigences. Ceci amène deux questions. La première concerne l'éventail des éléments pris en compte par la définition de la notion de tâche, la seconde la nature même de ces éléments.

Leplat (1980), nous l'avons déjà évoqué, présente la tâche comme "un but à atteindre dans certaines conditions". La définition de la tâche comportera donc au moins ces deux éléments. De manière générale, les auteurs s'accordent sur la notion de but: explicite, il spécifie le résultat qui devra être atteint au terme de la réalisation motrice. Il faut noter que la réalisation d'un but quelconque suppose généralement la réalisation soit simultanée, soit successive, d'un certain nombre de sous-buts.

Une ambiguïté apparaît néanmoins en ce qui concerne la définition des conditions

d'atteinte de ce but.

Selon Famose (1983a, 1990), il s'agit des conditions environnementales et procédurales qui vont réifier le but en l'inscrivant au sein d'un système précis de contraintes spatio-temporelles.

Les conditions environnementales renvoient à ce que l'on appelle couramment l'aménagement du milieu. Elles constituent des contraintes qui restreignent les degrés de liberté de mouvement du pratiquant. C'est-à-dire que ce dernier doit nécessairement les prendre en compte, les surmonter, voire les utiliser pour réaliser la tâche (Famose, 1990). Si le but ne s'actualise que par la précision de ces conditions, réciproquement ces dernières n'ont de pertinence que par rapport au but assigné. Ces contraintes peuvent être distribuées selon deux versants: d'une part celles qui créent de l'incertitude, et d'autre part celles qui génèrent une résistance mécanique. Les premières nécessiteront un traitement bio-informationnel, les secondes la mise en oeuvre des ressources bio-énergétiques. Considérons un alpiniste en marche d'approche. Les facteurs de résistance mécanique proviendront de la lourdeur de sa charge, de l'importance du dénivelé, et peut-être de la raréfaction en oxygène due à l'altitude. Par ailleurs, un des sous-but qu'il devra s'assigner sera de conserver son équilibre, malgré sa charge et les irrégularités du terrain. L'adaptation constante de son pas et de sa posture va nécessiter une gestion informationnelle serrée, à la fois de son déplacement et de ses déséquilibres successifs.

Les conditions procédurales sont des prescriptions quant aux opérations à mettre en oeuvre pour atteindre le but. Elles concernent généralement la forme du mouvement à accomplir. Par exemple, en saut en hauteur, on peut exiger une performance en "rouleau" ou en "fosbury".

Dans cette définition, que nous qualifierons d'étroite, les conditions renvoient donc à *un environnement direct, à la prise en compte nécessaire et suffisante*.

Leplat (1980) propose une analyse en terme de *conditions de travail*, pouvant être distinguées en conditions internes (concernant l'état du travailleur par rapport à la tâche: caractéristiques anthropométriques, état organique, âge, sexe, qualification, expérience, compétence, traits de personnalité,..) et en conditions externes. L'analyse de la tâche "coïncide dans son principe avec celle des conditions externes de travail, puisqu'elle amène à s'interroger sur les facteurs qui influencent l'activité du travailleur". L'auteur propose de classer ces conditions de la façon suivante:

-Conditions physiques: caractérisées souvent sous le nom d'ambiance ou d'environnement du travail (bruit, éclairage, vibration,..).

-Conditions techniques ou technologiques: relatives aux contraintes techniques auxquelles le travailleur doit répondre (outils, règles,..)

-Conditions organisationnelles: relatives aux règles de l'institution (division des tâches, organisation temporelle, modes de contrôle et de commandement,..)

-Conditions socio-économiques: propres à la société globale et plus ou moins modelées par l'institution (répartition des pouvoirs, rapports de forces sociaux, salaires, législation sociale, conjoncture économique,..)

Cette définition est de toute évidence beaucoup plus large que la précédente. On peut en

effet noter que Famose ne prend en compte que ce que Leplat appelle les conditions techniques, et rejette l'ensemble des autres dans les *facteurs contextuels* (Famose, 1990), influençant l'activité du sujet mais extérieurs à la tâche objective stricto sensu. La définition étroite n'intègre que le but et les conditions essentielles à son atteinte, c'est-à-dire les conditions qui ne prennent de sens que par rapport à lui. Il faut dire que cette définition présente une puissance théorique indéniable. Elle a permis, par la correspondance étroite qu'elle postulait entre les caractéristiques de la tâche et certaines étapes du traitement de l'information, de progresser largement dans la compréhension des processus de l'apprentissage moteur (Durand, Famose et Bertsch, 1985; Famose, Durand et Bertsch, 1985; Famose, Bertsch et Durand, 1986; Famose et Konikowski, 1986; Famose, 1986; Durand et Barna, 1986).

Ce n'est donc pas le concept en temps que tel que nous remettons en cause, mais sa *validité écologique* (Neisser, 1976; Famose, 1987a, 1987b). Les tâches étudiées dans les expérimentations précitées avaient toutes les caractéristiques classiques des tâches de laboratoire. Pour reprendre les termes mêmes de Famose (1987a), les sujets étaient dans des situations normalisées, standardisées, par opposition au caractère "habituel", écologique, des situations de terrain; les sujets développaient une activité gratuite, alors qu'en situation naturelle, l'activité est le plus souvent finalisée et signifiante; enfin les tâches proposées avaient un caractère analytique, à l'opposé de la globalité des situations de terrain.

#### 2.4. SITUATION ET TACHE CONTEXTUALISEE.

Pour comprendre les processus mis en jeu par le sujet, c'est donc au niveau de la tâche effective que doit porter l'analyse. A la lumière des développements précédents, on peut avancer que trois éléments convergent dans le processus de redéfinition.

-La tâche objective, au sens étroit du terme,

-les facteurs contextuels, parmi lesquels on peut distinguer les *facteurs de bruit*, c'est-à-dire l'ensemble des distracteurs potentiels de l'environnement, et les *facteurs d'enjeu*, que l'on peut définir fonctionnellement comme les coûts et bénéfices objectifs que le sujet pourra tirer de la réussite ou de l'échec dans la tâche (sanction, évaluation, certification, salaire, blessure, médiatisation,...)

-les facteurs personnels, tels que les besoins, les attitudes, la personnalité, le style cognitif, l'expérience antérieure, la motivation, etc.

Il est évidemment tentant de regrouper ces éléments en facteurs externes et internes, ce qui reviendrait à reprendre la définition large de la tâche développée par Leplat en 1980. Mais il nous semble important de respecter la notion de tâche, dans son sens maintenant bien établi dans la littérature en psychologie du sport. L'analyse de la redéfinition de la tâche devra passer par celle d'un système complexe tâche-contexte-sujet, que l'on peut regrouper sous le terme de *situation*. Rappelons à ce sujet la définition donnée par Leplat et Hoc (1983): "Une situation peut être considérée comme un système tâche-sujet. Analyser une situation ce sera analyser ce système, son fonctionnement et par là l'interaction entre les deux termes. L'activité est l'expression de cette interaction. Dans cette perspective, on est amené à concevoir que l'activité n'est jamais spontanée mais toujours déclenchée et guidée par la tâche, d'autre part que la tâche est susceptible d'être modifiée par le sujet au cours de son activité". Dans cet

extrait, les auteurs n'évoquent pas explicitement les facteurs contextuels. Mais on peut supposer qu'ils se réfèrent alors à la définition large que Leplat donnait à la notion de tâche dans son texte de 1980.

Dans cette acception, le concept n'est pas très loin de celui utilisé dans le champ de l'éducation physique. Nous avons déjà parlé de l'usage particulier du terme qui était fait dans le cadre de la "pédagogie des situations". Recommandée officiellement pour la pratique de l'éducation physique à l'école maternelle, "cette démarche éducative a l'avantage d'introduire, pour motiver et soutenir l'activité enfantine, des objets, des matériels, des installations qui posent des problèmes à résoudre" (circulaire du 8 février 1980). Il s'agit à l'époque de se démarquer d'une pédagogie du modèle, supposée éliminer toute activité d'élaboration de la part de l'élève, c'est-à-dire toute activité de redéfinition des tâches. C'est ce qui amènera Famose (1982b) à définir la situation comme la tâche redéfinie par l'enfant avant le début de son action, en fonction de ses caractéristiques personnelles. La pédagogie des situations devient alors "l'utilisation de types de tâches assignées qui permettent à l'enfant dans son processus de redéfinition d'élaborer des buts et des projets personnels".

Il peut sembler alors intéressant d'introduire un autre concept, isolant les "facteurs externes" de la situation. On peut alors parler de *tâche contextualisée*, se composant de deux sous-ensembles, la tâche et le contexte. D'une manière générale, la tâche fera appel à une gestion bio-informationnelle et bio-énergétique, alors que le contexte fera appel à une gestion émotionnelle. En effet, nous avons vu qu'il renvoyait surtout au système des coûts et bénéfices consécutifs à l'activité et à son résultat, et donc à la prise de risque, au sens large. Ce sur quoi nous voulons mettre l'accent, c'est que le contexte n'intervient pas uniquement comme modulateur, de la motivation ou du niveau d'activation par exemple, mais peut dans le cadre de la redéfinition des tâches générer un but complètement différent du but prescrit. En escalade, un grimpeur placé dans une situation où le risque corporel, en cas de chute, est élevé, peut évacuer le but initial qui était de monter, de franchir le passage, pour se concentrer sur celui de ne pas tomber. Et même si ce grimpeur poursuit sa progression, sa stratégie informationnelle, le choix des prises qu'il effectuera, son organisation motrice même seront réorganisées par ce nouveau but. Dans le même ordre d'idées, au cours d'un entraînement de football, le but dans une tâche de tir de penalty sera évidemment de marquer. Mais dans une épreuve de tirs au but, dans une finale importante, ce peut être de "surtout ne pas rater". Dans les deux cas, les caractéristiques objectives de la tâche prescrite, au sens strict, ne varient pas. Mais l'évolution du contexte, donc de l'ensemble de la situation, peut modifier dans une large mesure l'activité du pratiquant. Si nous disons "peut modifier", c'est que l'on peut envisager que le sujet puisse faire abstraction du contexte, et que son activité soit entièrement modelée par la tâche prescrite. On peut sans doute avancer l'hypothèse qu'il s'agit là d'une des caractéristiques des performances de haut-niveau. Car si la tâche représente les conditions nécessairement prises en compte dans l'atteinte du but, le contexte renvoie à un ensemble de conditions à la prise en compte possible, dans un certain sens optionnelle,- et l'on pourrait sans doute décrire des stratégies cognitives de contrôle de ces conditions-, mais certainement primordiales pour comprendre l'activité du débutant en situation signifiante d'apprentissage, notamment sportive.

C'est certainement à ce niveau que réside la pertinence écologique de la notion de situation. Dans cette logique, réfléchir sur la difficulté, c'est d'abord en identifier les sources objectives, au niveau de la tâche bien entendu, mais également à celui du contexte. Il faudra également se poser la question des interactions entre ces deux sources, dans l'appréhension de la situation par le sujet: sont-elles différenciées dans l'estimation naïve de la difficulté? Leur différenciation dépend-elle du niveau d'habileté, et/ou évolue-t-elle dans une perspective

développementale? Les contributions respectives de la tâche et du contexte dépendent-elles du type d'activité sportive et du sexe du pratiquant, comme semblent le montrer les approches différentielles réalisées à partir du modèle de la "confiance dans le mouvement" ("movement confidence", Griffin et Keogh, 1982; Griffin, Keogh et Maybee, 1984)?

Pour résumer, nous allons tenter d'approfondir la notion de difficulté en l'appréhendant au travers d'un système tâche-contexte-sujet. Nous essaierons dans ce cadre d'analyser les contributions relatives de chacun de ces éléments et de leurs interactions, dans une perspective systémique. Mais dans un premier temps, il nous faut nous pencher sur la difficulté en elle-même, afin de l'opérationnaliser plus précisément, dans ses dimensions et niveaux possibles d'analyse.

LES DIMENSIONS DE LA DIFFICULTE.

Nous l'avons précisé dès l'introduction, la difficulté est hétérogène et multivariée. On peut considérer qu'elle rend compte de l'ensemble des contraintes qui s'opposent à l'atteinte du but assigné. Si l'on cherche à faire l'étiologie d'un échec, on se rend vite compte de cette variété. Ainsi, en escalade, l'échec pourra être consécutif à l'épuisement du grimpeur, dans une voie sollicitant ses ressources bioénergétiques au-delà de son potentiel disponible. Il pourra également venir d'une faute technique, dans un passage particulièrement délicat, particulièrement exigeant quant à la précision requise. On peut également envisager que le grimpeur, dans un passage proposant un nombre conséquent d'alternatives motrices, n'ait pas su réaliser un choix pertinent. Enfin, l'échec peut être dû à une inhibition consécutive à la peur, au vertige.

On conçoit qu'un modèle dimensionnalisé doive être avancé afin de clarifier et structurer le champ des exigences objectives. Ceci pose de toute évidence le problème des critères présidant à la dimensionnalisation. La mise en avant de critères descriptifs risque de déboucher sur un modèle atomisé, qui n'aura par ailleurs qu'une validité locale, relative à l'activité qui l'aura généré. C'est pourquoi nous proposerons un modèle macroscopique, fondé non sur une activité sportive particulière, mais sur le cadre théorique de l'analyse des tâches.

La première distinction isolera d'une part les exigences liés à la tâche stricto sensu, c'est-à-dire les exigences à la prise en compte nécessaire à la réussite du but, et d'autre part les facteurs contextuels, liés à l'environnement lointain, matériel, institutionnel ou affectif. Ces facteurs contextuels, quoique sans liens nécessaires avec le but assigné, sont susceptibles de faciliter ou de contrecarrer l'activité du sujet. Nous nous intéresserons plus précisément aux facteurs d'enjeu. Ce sont ces derniers qui donnent à la situation sa signification réelle. Ils définissent en quelque sorte l'enjeu de la mise en activité, en déterminant les conséquences de la réussite ou de l'échec éventuel. C'est dans ce sens que nous les grouperons sous le concept de *risque*.

Quant aux exigences liées directement à la tâche, nous les distinguerons en fonction du type des ressources qu'elles mobilisent, soit dans un schéma désormais classique, bio-informationnel d'une part, bio-énergétique d'autre part (Durand, 1983; Delignières, Legros et Famose, 1990). Certaines sous-dimensions devront être définies. Ainsi, en ce qui concerne les exigences informationnelles, nous jugerons pertinent de distinguer d'un côté la *complexité*, et de l'autre la *difficulté* proprement dite. C'est pourquoi nous éviterons dorénavant d'utiliser le

terme de difficulté dans le sens général qui lui a été attribué dans les pages précédentes, préférant le réserver pour cet usage spécifié. Les exigences énergétiques caractériseront ce que l'on appellera *l'intensité* de la tâche.

L'objet de ce chapitre est d'affiner la définition de chacune de ces dimensions. Nous nous limiterons dans un premier temps au niveau des exigences objectives, c'est-à-dire à la façon dont ces dimensions s'opérationnalisent dans l'architecture même des situations. Mais il va de soi que ces différentes dimensions peuvent être abordées à tous les autres niveaux que nous avons précédemment définis, soit celui des exigences relatives, et celui des exigences subjectives, estimées ou perçues.

### 3.1. LE RISQUE.

Il nous faut donc ici distinguer plusieurs niveaux (Hans, 1984):

- le risque objectif, variable quantitative qui caractérise une situation,
- le risque subjectif, estimé ou perçu, qui caractérise le sujet et correspond à une évaluation subjective et personnelle de la situation,
- l'acceptation du risque ou prise de risque, décrivant la préférence d'un sujet, et désignant son choix ou sa décision de prendre un risque d'une certaine grandeur dans une situation donnée.

Ces deux derniers niveaux seront étudiés plus précisément, et dans leurs rapports avec le premier, dans les parties suivantes (cf. chap.4. et chap.6.). Nous nous limiterons ici au risque objectif.

La modélisation psychologique du risque s'inscrit généralement dans le prolongement des théories de la décision. On considère qu'une situation risquée est une situation de décision présentant les caractéristiques suivantes:

- une ou plusieurs alternatives sont présentées aux sujets,
- chacune de ces alternatives peut être caractérisée par une probabilité d'occurrence de la réussite ( $p$ ), et par une probabilité d'occurrence de l'échec ( $q=1-p$ )
- la réussite ou l'échec sont chacun caractérisés par leur utilité, ou valence (Robaye, 1963). Nous les désignerons par  $a$  pour la réussite, et par  $b$  pour l'échec.

On peut alors définir le risque objectif de plusieurs manières (Hans, 1984):

*a- Le risque est la probabilité d'échec ( $r=q$ ).* On retrouve une définition de ce type chez Atkinson (1957). Nous reviendrons plus loin sur le modèle développé par cet auteur (cf. chap. 5.). Disons que cette définition ne semble réellement opérationnelle que dans les situations dans lesquelles les utilités respectives de la réussite et de l'échec sont insignifiantes. Atkinson introduit la notion d'incitation (incentive), représentant l'attraction relative envers le but, ou la répulsion relative envers les conséquences négatives de l'échec. Cette définition est proche de celle de l'utilité que nous avons présenté plus haut. Néanmoins l'auteur postule que cette incitation est une fonction linéaire de la probabilité subjective de succès ( $I_s=1-P_s$ ). Ceci

renvoie à des situations de challenges gratuits, dans lesquels la satisfaction ou l'insatisfaction du sujet ne seront liés qu'aux bénéfices intrinsèques de l'atteinte du but. Ce modèle semble en fait rester centré sur la tâche, sans prendre en compte le contexte dans lequel elle se situe.

Ce modèle est également utilisé par Howarth (1988), en ce qui concerne la conduite automobile. L'auteur estime que le risque objectif peut être mesuré statistiquement, par le rapport occurrences d'accidents/opportunités. En ce qui concerne la conduite automobile, ce rapport est évidemment très faible. Howarth montre que cette probabilité rend davantage compte du comportement des conducteurs que la valence d'un accident éventuel (qu'il nomme risque perçu). Ce résultat n'est pas autrement surprenant si la situation est appréhendée au travers d'une définition plus fine du risque (voir plus bas, le risque comme perte attendue).

b- *Le risque est la valence de l'échec ( $r=b$ )*. Il s'agit donc des conséquences négatives de l'événement, celles-ci comprenant par ailleurs la non-obtention des conséquences positives de la réussite. Si cette valence est liée au contexte matériel, il s'agira en premier lieu des risques corporels. Risque devient alors synonyme de *danger* (par exemple, le risque de chute lors d'une escalade en solo). Si cette valence est liée au contexte institutionnel ou médiatique (par exemple, lors de l'épreuve d'escalade d'un concours de recrutement ou lors d'une compétition), le risque objectif renverra à *l'enjeu* de la situation.

c- *Le risque est la perte attendue*. Cette définition combine probabilité et valence de l'échec ( $r= qb$ ). Cette valeur est une fraction de l'espérance mathématique ( $pa + qb$ ), qui représente le résultat moyen attendu. Cette définition est notamment défendue par Oppe (1988), et c'est un concept de ce type qui est intégré dans le modèle de la "confiance dans le mouvement" (Griffin et Keogh, 1982; Griffin, Keogh et Maybee, 1984; pour une présentation détaillée de ce modèle, voir chap. 4.1.). Dans l'exemple cité plus haut sur la conduite automobile (Howarth, 1988), on se retrouve face à une situation dans laquelle la valence de l'échec est plus ou moins élevée, mais dans laquelle la probabilité d'apparition de l'accident reste extrêmement faible. Ceci explique que dans ce cas, la valence de l'échec peut être paradoxalement ignorée, et que l'on peut considérer que le risque équivaut à la fréquence des accidents.

Il convient à ce niveau de distinguer les situations de chance ou de hasard (dans lesquelles les probabilités reposent sur des événements aléatoires: paris, loteries), et les situations qui mettent en jeu l'habileté des sujets. Les situations rencontrées dans le cadre des activités sportives sont évidemment du second type. Dans ces dernières, les probabilités reposent sur l'éventualité d'un événement sur lequel le sujet peut exercer une action ou un contrôle (Hans, 1984). Dans ce sens, c'est déjà un risque relatif qui est ici défini. On considère alors que dans une situation dangereuse, le risque encouru est moindre pour l'expert que pour le débutant.

d- *Le risque est la variance de la distribution des utilités possibles ( $r= pq(a-b)^2$ )*. Cette définition prend en compte l'ensemble des éléments de la situation, soit les probabilités et les valences respectives de la réussite et de l'échec. Dans le cadre d'un pari, elle mesure la distribution des résultats possibles autour de l'espérance mathématique. Le risque sera d'autant plus élevé que  $p$  et  $q$  seront équivalents, c'est-à-dire que la situation sera aléatoire, et d'autant plus que les valences seront disproportionnées.

Ces essais de définition mettent en avant la difficulté qu'il y a à circonscrire objectivement le risque, c'est-à-dire de lui donner une existence autonome, antérieure à l'activité d'un sujet donné. On peut envisager de donner aux probabilités et aux utilités une

définition statistique, comme le propose Howarth (1988) pour la conduite automobile. Il est peu probable qu'une telle approche soit opérationnelle pour rendre compte du comportement d'un sujet particulier. On essaiera plus loin (cf.chap. 6.) de voir si le risque peut être appréhendé en tant que stimulus dans le cadre de la psychophysique, où s'il doit être considéré uniquement comme une variable influençant latéralement la perception des exigences de la tâche.

### 3.2. LES EXIGENCES INFORMATIONNELLES: DIFFICULTE ET COMPLEXITE.

De nombreux auteurs ont tenté ces dernières années de proposer des classifications des exigences informationnelles (Famose, 1983, 1990; Billing, 1980; Hayes et Marteniuk, 1976; Alain et Salmela, 1980). On peut distinguer deux approches distinctes du problème: la première consiste à partir de l'architecture de la tâche, et d'en répertorier les dimensions de variation pertinentes (Famose, 1983, 1990). La seconde part des fonctions mobilisées et tente de remonter jusqu'aux exigences susceptibles d'être la cause de cette mobilisation (Billing, 1980). Nous allons passer successivement en revue ces deux approches, afin d'examiner dans quelle mesure elles peuvent procurer une métrique des exigences informationnelles objective.

#### 3.2.1. ARCHITECTURE DE LA TACHE ET FONCTIONS REQUISES.

Famose (1983, 1990) propose un modèle d'analyse des caractéristiques objectives des tâches. La première version de ce modèle est organisée autour de quatre pôles: le but, les opérations, l'aménagement matériel, les critères de réussite (figure 3.1). Divers indicateurs sont proposés pour évaluer la difficulté objective d'une tâche motrice:

But	Clarté du but Concret-abstrait
Opérations	Transport ou non-transport Grandeur d'erreur permise Compatibilité
Aménagement Matériel	Incertitude Spatiale Incertitude temporelle Durée de présentation Discrimination Incertitude événementielle
Feedback	Balistique-contrôlé Modalités sensorielles

Figure 3.1: Grille d'analyse des exigences bio-informationnelles des tâches motrices (d'après Famose, 1983).

Famose (1990) propose une version modifiée de sa grille (figure 3.2). L'économie globale du système de classification est néanmoins identique.

Le but	Clarté Nombre de sous-buts
Conditions Environnementales de type informationnel	Incertitude spatiale Incertitude temporelle Incertitude événementielle Durée de présentation Discrimination Nombre de stimuli présents Grandeur d'erreur permise (spatiale ou temporelle) Pression temporelle Durée du mouvement requis Compatibilité
Etat du corps	Transport ou non-transport

Figure 3.2: Grille d'analyse des exigences informationnelles des tâches motrices (d'après Famose, 1990).

La dimensionnalisation proposée appelle quelques précisions et remarques:

a- Dimensions liées au but:

*Clarté du but*: Elle fait référence à son degré de spécification. La clarté du but peut provenir soit de la précision des consignes verbales, soit des contraintes canalisatrices de l'aménagement matériel (Delignières, 1989). Cette dimension englobe la dimension abstrait/concret, qui était isolée dans le modèle de 1983.

*Nombre de sous-buts*: La réalisation d'un but suppose généralement la réalisation soit simultanée, soit successive, d'un certain nombre de sous-buts. Le nombre des sous-buts inscrits dans l'architecture de la tâche va conditionner sa difficulté.

b- Dimensions liées aux conditions environnementales:

*Incertitude spatiale*: Elle se rapporte à la probabilité qu'a le sujet de prédire où un événement se produira.

*Incertitude temporelle*: Elle se rapporte à la possibilité qu'a le sujet de prévoir le moment d'apparition du stimulus. La régularité d'apparition dans le cas de séries de stimuli, ou la présence de signaux préparatoires diminuent cette incertitude.

*Incertitude événementielle*: C'est la probabilité que le sujet a de prévoir quel événement va se produire.

*Discrimination*: C'est la possibilité de bien distinguer dans l'environnement les signaux pertinents à la réalisation de la tâche.

*Durée de présentation*: Elle se rapporte au temps durant lequel le sujet peut porter son attention sur le signal. Il nous semble que cette dimension pourrait être fusionnée avec la pression temporelle.

*Grandeur d'erreur permise*: Plus la marge d'erreur est réduite, plus le processus de sélection et d'organisation des unités motrices va être sollicité. L'auteur distingue la précision spatiale (largeur de la cible) et temporelle (vitesse de déplacement de l'objet)

*Pression temporelle*: définie comme le rapport entre le temps accordé et le temps requis.

*Durée du mouvement requis*: Ceci renvoie à la dimension balistique/contrôlé: dans le premier cas, le mouvement se déroule en boucle ouverte et ne charge pas le système de traitement de l'information.

*Compatibilité*: Cette dimension concerne la liaison stimulus-réponse. On considère que certaines liaisons sont plus "naturelles" que d'autres, parce que plus courantes, plus stéréotypées. Les liaisons peu compatibles nécessitent un effort d'inhibition des réponses spontanées.

c. Dimension liée à l'état du corps:

*Transport/non transport du corps*: Elle se rapporte à l'état du corps et des membres pendant l'exécution de la tâche. On considère que la mobilisation du corps augmente le nombre de degrés de liberté du mouvement et par là l'incertitude quant à la programmation et l'exécution du geste pertinent.

L'auteur propose en outre des outils d'évaluation des exigences objectives. Par exemple, en ce qui concerne l'incertitude spatiale, il donne l'échelle suivante (d'après Famose, 1983):

Grande incertitude	L'objet se déplace simultanément sur trois plans
Incertitude moyenne	L'objet se déplace simultanément sur deux plans
Incertitude faible	L'objet se déplace sur un plan
Aucune incertitude	L'objet est immobile

Ce type d'échelle suggère quelques réflexions. Tout d'abord, il ne peut s'agir en tout état de cause que d'une échelle de niveau ordinal (cf. chap. 5.2.), permettant au mieux un

classement, au pire un simple étiquetage des différentes tâches. Encore la dimension servant d'exemple se prête-elle aisément à un critériage rationnel et progressif. D'autres, comme la concrétisation du but ou le caractère balistique ou contrôlé des feedbacks, ne peuvent guère échapper à une logique binaire. D'autres encore, comme la discriminabilité du stimulus ou la clarté du but, ne peuvent être évaluées que par un jugement largement subjectif, rendant difficilement possible les comparaisons intertâches. Les échelles proposées ici reposent en fait entièrement sur l'expertise de l'enseignant. Ce qui est loin de les déprécier. Elles constituent certainement un appréciable outil pour l'ajustement empirique des exigences des tâches motrices. Elle peuvent permettre l'élaboration d'un profil global des exigences de la tâche. Mais en aucun cas elles ne peuvent servir à une *mesure* objective de la difficulté.

Billing (1980) renverse la problématique en partant des fonctions requises. Il organise son approche par rapport au modèle classique du traitement de l'information, distinguant les mécanismes perceptifs, les mécanismes de prise de décision ou de sélection de la réponse, les mécanismes de programmation. Il associe à ce modèle la disponibilité des feedbacks.

-*Complexité perceptive*: Les exigences perceptives d'une tâche vont varier en fonction du nombre de stimuli à prendre en compte, de leur vitesse et de leur durée, de leur intensité et de leur prégnance, de la confusion possible entre stimuli.

-*Complexité décisionnelle*: Elle accroît avec le nombre de décisions à prendre, le nombre d'alternatives présentes par décision, la pression temporelle.

-*Complexité de programmation*: Elle augmente avec le nombre d'actions musculaires nécessaires, le nombre de degrés de liberté du mouvement, la vitesse et la précision requise.

-*Complexité liée au feedback*: Elle diminue avec la quantité, la précision et la pertinence du feedback

Ces deux modèles se recoupent largement, et l'on peut par ailleurs définir une correspondance forte entre la dimensionnalisation du modèle de Famose (1983) et les étapes du modèle classique du traitement de l'information (Figure 3.3).

Stade perceptif	Aménagement du milieu.
Stade décisionnel	But
Stade de programmation	Opérations
Rétroactions	Feedback

Figure 3.3: Correspondance entre les exigences de la tâche et les ressources sollicitées (d'après Famose, 1983).

Cependant, dans le cadre qui nous préoccupe, c'est-à-dire l'identification et la quantification de dimensions opérationnelles au niveau des exigences objectives, la logique de la démarche de Billing nous paraît plus adéquate. Notre analyse va en effet porter non pas sur la difficulté objective en tant que telle, mais sur la façon dont cette dernière est perçue et traitée par le sujet. Il nous semble donc plus pertinent de nous baser sur un modèle de fonctionnement du traitement de l'information, plutôt que sur une analyse systématique de la tâche. Mais si la dimensionnalisation de Billing est intéressante, elle ne permet pas davantage une mesure des exigences des tâches.

### 3.2.2. EXIGENCES INFORMATIONNELLES ET QUANTITE D'INFORMATION.

Un autre modèle, fonctionnant selon une logique identique, est celui d'Hayes et Marteniuk (1976). Ces auteurs réalisent une distinction fonctionnelle entre complexité et difficulté: la *complexité* est en rapport avec la quantité d'information à traiter pour l'organisation et le déclenchement du mouvement, alors que la *difficulté* est en rapport avec la quantité d'information à traiter pour le contrôle du mouvement. D'après ce modèle, c'est l'incertitude issue de l'environnement qui est pertinente en ce qui concerne la complexité, et les informations relevant des processus de feedback pour la difficulté. Cette approche permet de distinguer des composantes de la tâche, plus ou moins indépendantes, mais reliées préférentiellement à une phase du traitement. Complexité et difficulté renvoient à deux sources différentes d'information, l'incertitude extérieure d'un côté, et les informations rétroactives de l'autre. Elles présentent par ailleurs un aspect séquentiel, le traitement de la complexité précédant le mouvement, et celui de la difficulté accompagnant l'exécution.

Ce modèle permet en outre la quantification (Alain, 1976). La quantité d'information véhiculée par les tâches est mesurable, du moins en ce qui concerne les tâches simples. Rappelons les principes de cette mesure (Hebenstreit, 1989). Soit  $N$  le nombre d'événements possibles et  $n$  le sous-ensemble désigné par l'information. On pose par définition:

$$\text{Quantité d'information} = I = k \log(N/n),$$

où  $k$  est une constante qui dépend du choix de l'unité. En prenant pour unité de quantité d'information celle qui réduit l'incertitude de moitié ( $n = N/2$ ), on a  $k = 1/\log 2$ . Pour simplifier les formules, on utilise des logarithmes de base 2, ce qui donne:

$$I = \log_2(N/n) \quad (\text{bits ou logons}).$$

Cette grandeur exprime la quantité d'information contenue dans un sous-ensemble particulier de l'ensemble des possibles. C'est une mesure a posteriori, le sous-ensemble étant supposé connu.

Dans une situation d'incertitude, composée d'un ensemble  $E$ , de cardinal  $N$ , et de  $k$  sous-ensembles  $E_i$ , de cardinal  $n_i$ , formant une partition de  $E$ , la quantité d'information liée à  $E_i$  est par définition:

$$I(E_i) = \log_2(N/n_i).$$

La probabilité d'occurrence de  $E_i$  est égale à

$$p_i = n_i/N.$$

On définit l'entropie de la partition par la somme des quantités d'information liées à chacun des sous-ensembles formant la partition, affectées de leurs probabilités d'occurrences respectives:

$$H = \sum_i p_i \log_2(N/n_i). \quad (1)$$

L'entropie mesure la quantité moyenne d'information apportée par chaque occurrence.

Elle est une mesure de l'incertitude de la situation. Dans le cas particulier où les  $k$   $E_i$  constituent des alternatives équiprobables, on a :

$$H = \log_2 k,$$

et si en outre le cardinal des  $E_i$  est égal à 1,

$$H = \log_2 N.$$

Selon Hayes et Marteniuk, la variable la plus intéressante pour analyser cette notion de quantité d'information est le temps nécessaire à son traitement par le système. Dans ce cadre, les variables utilisées pour rendre expérimentalement compte de la complexité et de la difficulté sont respectivement le temps de réaction (TR) et le temps de mouvement (TM).

### 3.2.3. COMPLEXITE ET TEMPS DE REACTION.

L'influence du nombre d'alternatives équiprobables sur le temps de réaction a été montrée dès 1885 par Merkel. Hick (1952) reproduit les résultats de Merkel avec 2 sujets. Les stimuli sont constitués par 10 lampes arrangées en un cercle irrégulier, les réponses sont données en appuyant sur des clés, reliées bijectivement aux lampes. L'expérience comprend 8 conditions, un condition de TR simple et 7 conditions de choix (2 à 10 alternatives équiprobables, à l'exclusion de 7 et 9).

Hick montre que l'on peut rendre compte de la relation qui lie le TR moyen au nombre (N) de choix équiprobables par une formule du type :

$$TR = k \log_2(N+1).$$

Hyman (1953) reprend un protocole de même nature et propose une formule légèrement différente :

$$TR = a + b \log_2 N \quad (2).$$

L'entropie caractérisant la tâche étant égale à  $H = \log_2 N$  (les stimuli étant équiprobables), on obtient à partir de la formule (2) :

$$TR = a + bH.$$

Le temps de réaction moyen est une fonction linéaire de la quantité d'information moyenne apportée par la tâche (loi de Hick). le facteur  $b$  représente la pente de la droite de régression du TR en fonction de l'entropie.  $b$  représente donc le temps nécessaire pour traiter un bit d'information supplémentaire. L'inverse,  $1/b$ , est appelé taux de transmission d'information (ou taux de gain d'information). Il représente le nombre de bits d'information qui peuvent être transmis en une seconde par le système. Il est une mesure de la capacité du système (Holender, 1975). Hyman (1953) montre que cette relation fondamentale est valide y compris dans le cas où les stimuli ne sont pas équiprobables. Il convient alors de calculer l'entropie de la partition en tenant compte de la probabilité d'occurrence de chacun des stimuli la constituant (formule (1)).

Cette loi, élaborée dans le cadre de l'incertitude événementielle a été vérifiée par ailleurs en ce qui concerne la discriminabilité du stimulus et l'incertitude temporelle (Crossman, 1955; Klemmer, 1957, cités par Hayes et Marteniuk, 1976).

Certains résultats expérimentaux relativisent néanmoins le degré de généralité de cette loi. Hyman (1953) s'est posé la question de savoir si la relation linéaire qui lie le TR moyen à l'entropie des stimuli permet de prédire le TR pour un signal particulier de probabilité donnée. Il montre que l'augmentation de la quantité d'information apportée par un signal a un effet plus fort sur le TR quand elle est obtenue par une augmentation du nombre des éventualités que quand elle est obtenue par une modification des fréquences relatives d'apparition dans une situation où le nombre d'alternatives reste constant. Hyman met en outre en évidence des effets séquentiels, le TR pour un stimulus dépendant du stimulus qui le précède immédiatement dans la séquence. Ces différents effets peuvent être expliqués si l'on postule l'existence d'un mécanisme de préparation sélective (Holender, 1975): à chaque essai, le sujet se prépare sélectivement à recevoir un signal. Si le signal présenté est celui pour lequel le sujet s'était préparé, le TR est rapide, sinon, le TR est plus lent.

Un autre aspect primordial est l'effet de la pratique. Mowbry et Rhoades (1959, cités par Hayes et Marteniuk, 1976) étudient cet effet dans deux situations de choix à 2 et 4 alternatives, les sujets effectuant en tout 42000 essais. Si la différence entre TR est initialement substantielle, elle s'amenuise et disparaît au fil des essais. D'une manière générale, on montre que l'entraînement permet de diminuer la pente de la relation de Hick. Ceci amène Hayes et Marteniuk (1976) à considérer que la complexité est une caractéristique relative, dépendant de l'expertise des sujets.

De telles remarques ont une résonance particulière dans le domaine des activités physiques et sportives. Dans les situations d'opposition notamment, le jeu de l'adversaire consiste à jeter de l'incertitude sur la liste des événements possibles, sur leurs probabilités et moments d'occurrence. On a pu mettre en évidence (Ripoll, Papin et Simonet, 1983) les stratégies exploratoires développées par les experts afin de décoder l'environnement et en lever rapidement l'incertitude, ou plutôt pour en mesurer l'incertitude réelle. Car si l'on considère qu'une tâche sportive véhicule une entropie objective, les sujets en fonction de leur expertise vont réagir à des entropies variables, mais de toutes façons supérieures. Le niveau d'entropie traité par les experts devrait se rapprocher du niveau objectif.

Dupuy (1987,1988) introduit pour l'escalade la notion de "complexité informationnelle", dans un sens similaire à celui que nous avons proposé plus haut. La complexité dépend de la densité des prises, et de leur structuration spatiale (c'est-à-dire de leur regroupement en grandes unités significatives: fissures, "dülfer",...). On retrouve, au travers des spécificités de l'activité, les notions de discriminabilité du stimulus, de nombre d'alternatives possibles, que nous avons évoquées précédemment. Dans ce cadre, le problème que doit résoudre le grimpeur est de "lire" le passage rocheux pour définir sa trajectoire globale de déplacement et isoler les systèmes successifs de prises qu'il va utiliser. La complexité dans un passage donné sera maximale dans ce que l'on appelle le "à vue", c'est-à-dire quand le grimpeur escalade la voie pour la première fois, et en découvre la structure au fur et à mesure de sa progression. Inversement, la complexité relative sera minimale dans un essai "après travail", quand le grimpeur aura défini le cheminement et les systèmes de prises les plus appropriés.

Enfin, on peut poser comme hypothèse qu'au niveau des "supports à grimper", la complexité objective maximale se retrouve dans le milieu naturel, les structures artificielles d'escalade, notamment modulables, présentant essentiellement une complexité moindre.

### 3.2.4. DIFFICULTE ET TEMPS DE MOUVEMENT.

La relation entre difficulté et temps de mouvement a surtout été mise en évidence par les travaux de Fitts (1954), dans une tâche de double pointage (reciprocal tapping). Les sujets doivent pointer alternativement et le plus vite possible deux cibles de largeur  $W$  et séparées par une distance  $A$ . Chaque essai dure 15 secondes.  $A$  représente l'amplitude du mouvement requis et  $W$  la marge d'erreur permise (figure 3.4).

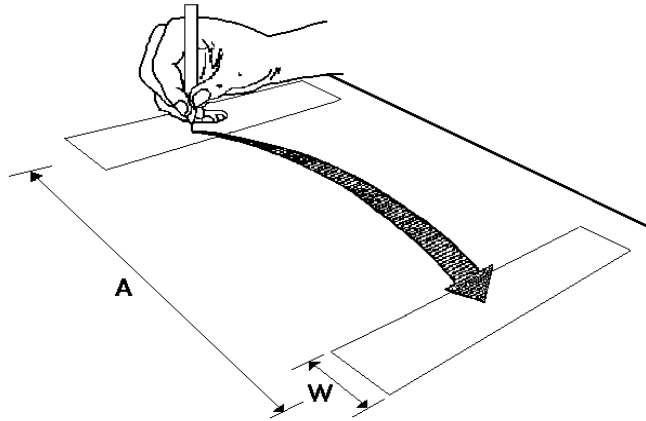


Figure 3.4. Dispositif expérimental de Fitts (1954).

Dans une réflexion analogique, par rapport à la théorie fondamentale de l'information, Fitts considère que  $W$  représente le sous-ensemble des pointers corrects, et  $2A$  l'ensemble des pointers possibles, de part et d'autre de chaque cible. Ceci lui permet de calculer pour chaque tâche un indice de difficulté (ID), qu'il définit comme la quantité moyenne d'information à traiter pour le contrôle du mouvement:

$$ID = \log_2 (2A/W) \text{ bits/réponse.}$$

Dans son protocole initial, Fitts utilise 16 conditions, issues du croisement de quatre valeurs de  $A$  et de quatre valeurs de  $W$ . Il montre que le temps de mouvement croît linéairement avec l'indice de difficulté:

$$TM = aID + b.$$

Cette relation a été confirmée ultérieurement, notamment pour des mouvements discrets (Fitts et Peterson, 1964; MacKenzie et coll., 1987).

Cette distinction que nous opérons entre difficulté et complexité peut paraître artificielle. Dans les deux cas, le stimulus objectif est défini comme une quantité d'information à traiter. Et l'on peut arguer le fait d'un feedback constitue une entrée informationnelle, qui va donc suivre le même trajet cognitif que les informations caractérisant la complexité de la tâche (Famose, 1990). Fitts et Peterson (1964) montrent néanmoins que le temps de réaction et le temps de mouvement sont deux variables indépendantes: la valeur du TR ne permet pas de prévoir celle du TM, soit chez des individus confrontés à une même tâche, soit chez un même

individu impliqué dans des tâches différentes. Complexité et difficulté semblent donc renvoyer à des processus de programmation d'une part, d'exécution d'autre part, fonctionnellement indépendants. Cette distinction est par ailleurs reprise dans le domaine des activités sportives par Alain et Salmela (1980), pour lesquels le niveau de complexité dépend du nombre et de la nature des conditions (ou buts intermédiaires) qui doivent être rencontrées pour que le but de la tâche soit atteint, et le niveau de difficulté de la grandeur d'erreur permise, c'est-à-dire de la *précision requise*, spatiale ou temporelle. Ce modèle rejoint celui d'Hayes et Marteniuk, puisque l'augmentation du nombre de conditions renvoie à un accroissement du nombre d'alternatives envisageables.

Pour définir la difficulté en escalade, on peut dans un premier temps dire qu'il s'agit des contraintes qui subsistent après travail, quand les problèmes de lecture de la voie ont été résolus. A ce niveau, une voie peut être devenue très simple, mais néanmoins demeurer extrêmement difficile.

### 3.2.5. LA PRESSION TEMPORELLE.

L'analyse des tâches en terme de quantité d'information constitue une première approche, mais qui ne prend de sens par rapport à de nombreuses situations, notamment sportives, que par le temps mis à la disposition du sujet pour en effectuer le traitement. Phillip, Reiche et Kirchner (1971) montrent même que la pression temporelle est la principale source de difficulté dans les tâches de contrôle aérien. Cette contrainte spécifique affecte à la fois le versant perceptif et le versant moteur des actions du sujet (Stein, 1987), c'est-à-dire dans le cadre de notre modèle, la complexité et la difficulté des tâches.

La mesure de la pression temporelle, en temps que contrainte objective, peut s'envisager de deux manières. La plus simple consiste à faire le rapport entre la quantité d'information à traiter et le temps disponible. La difficulté objective s'exprime alors en bits par seconde. La seconde se base sur le temps requis pour le traitement de l'information véhiculée par la tâche. La pression temporelle sera alors mesurée par le rapport entre temps disponible et temps requis (Stein, 1987). Nous développerons plus loin une analyse détaillée de ces deux approches (cf. chap. 8.1.1.3.).

### 3.2.6. DIFFICULTE ET INTENSITE INFORMATIONNELLES.

Dans le cadre d'une de nos expériences (cf. Annexe 3.), nous avons été amené à avancer l'hypothèse d'une autre dimension des exigences informationnelles, à savoir *l'intensité mentale* (Delignières, Legros et Famose, 1990). Cette notion est issue d'une recherche de Dornic et Andersson (1980), selon lesquels il conviendrait de distinguer, au niveau des demandes des tâches cognitives, la difficulté mentale d'une part, et l'effort mental d'autre part. Les auteurs montrent que les sujets sont tout à fait capables de distinguer ces deux dimensions et de les évaluer séparément.

On peut développer ce modèle en passant au niveau des exigences objectives de la tâche. En effet, la différenciation, au niveau des demandes, de deux dimensions subjectives, laisse supposer que l'on peut différencier également, à celui des exigences objectives, c'est-à-dire de l'architecture même des tâches mentales, une première dimension, la difficulté mentale

objective, et une seconde que l'on pourrait appeler l'intensité mentale. Dornic et Andersson, bien que ne développant pas leur argumentation explicitement à ce niveau, sont dans cette logique quand ils comparent objectivement cette fois les tâches "limitées par la difficulté" (difficulty-limited), et les tâches "limitées par l'effort" (effort-limited).

Les auteurs insistent par ailleurs sur le fait que la notion d'effort mental ne se superpose pas à celle d'attention, même si elle y reste attachée. Les tâches saturant en difficulté requièrent également une focalisation attentionnelle, bien qu'étant perçue comme demandant peu d'effort. Selon Dornic et Andersson, la source principale de l'effort mental résiderait dans la nécessité d'opérer de fréquentes transformations dans le contenu de la mémoire de travail. La tâche demandant le plus d'effort mental dans la recherche citée est une tâche dite de "mémoire courante", dans laquelle on présente successivement aux sujets des cartes comprenant deux symboles: une lettre, parmi deux lettres possibles, et une figure géométrique, parmi deux figures possibles. Les sujets doivent identifier les transformations de cartes en cartes. Ceci requiert de fréquents glissements attentionnels entre les informations externes et internes, très exigeants en ce qui concerne les processus de contrôle de l'information (rappel, répétition, codage,...). On peut dire que le niveau d'intensité informationnelle caractérisant une tâche va surtout dépendre de l'importance de son contenu sémantique et hypothético-déductif.

Dornic et Andersson sont moins catégoriques en ce qui concerne les sources de la difficulté mentale. Ils supposent qu'au niveau perceptif, la performance réalisée est prépondérante. L'examen des tâches proposées et l'ensemble des travaux que nous avons précédemment évoqués laissent supposer l'importance d'une part de la pression temporelle (Phillip, Reiche et Kirchner, 1971), et d'autre part de la précision requise (Fitts, 1954; Hayes et Marteniuk, 1976; Alain et Salmela, 1980). Difficulté et intensité informationnelles solliciteraient donc des ressources cognitives nettement différenciées. On peut avancer l'hypothèse selon laquelle les tâches motrices seraient davantage caractérisées par leur difficulté, pression temporelle et/ou grandeur d'erreur permise, que par l'effort mental requis (Delignières, Legros et Famose, 1989).

### 3.3. LES EXIGENCES ENERGETIQUES: L'INTENSITE.

Durand (1983) distingue l'intensité de la "complexité" des tâches, la première renvoyant au coût bio-énergétique, la seconde au coût bio-informationnel (c'est-à-dire ce que nous avons distribué sous les concepts de complexité et de difficulté). Il faut comprendre l'intensité comme une caractéristique objective de la tâche, ayant une existence autonome par rapport à l'effort physique que les sujets pourront y déployer. La mesure de cette intensité ne pose pas trop de problèmes tant que l'on se préoccupe de tâches de laboratoire, unidimensionnelles. Ainsi, pour les tâches de déplacement (course ou marche sur tapis roulant), cette intensité peut s'exprimer en fonction de la vitesse imposée (en km/h, Borg et coll., 1987). Sur bicyclette ergométrique, on utilise la mesure du travail requis (en watts, Gamberale, 1972; Borg et coll., 1987). L'intensité des tâches de levage et déplacement d'objets peut s'exprimer en fonction du poids à mobiliser (Gamberale, 1972). L'essentiel est de trouver un descripteur de la tâche en relation avec les réponses métaboliques du sujet. Il faut néanmoins noter que ces mesures ne sont valides que dans le cadre des variations intratâches, et que les comparaisons intertâches d'intensité ne sont possibles que par le biais indirect des efforts objectifs.

La mesure de l'intensité des tâches complexes demeure problématique. Durand (1983)

va tenter d'en dégager les dimensions constitutives. Il distingue celles qui sont liées aux opérations requises, et celles qui renvoient à l'aménagement matériel.

Dimensions liées aux opérations:

a- *Forme de travail*: ce dernier peut être statique, dynamique résistant ou dynamique moteur, chacune de ces formes requérant des dépenses énergétiques différentes.

b- *Durée*: Cette dimension est prédominante pour la pénibilité du travail.

c- *Amplitude des mouvements*: Dimension difficilement opérationnalisable, certaines recherches liant ce facteur à la dépense énergétique selon une courbe à optimum, régie par un principe d'économie.

d- *Vélocité des mouvements*: Cette dimension pose un problème similaire à la précédente. L'auteur préconise l'utilisation d'échelles ordinales rudimentaires.

e- *Surface du polygone de sustentation*: Plus cette surface est réduite, plus le sujet devra effectuer de mouvements compensateurs et de maintien postural, coûteux en énergie.

f- *Hauteur du centre de gravité*: Cette dimension concerne la posture. Plus cette dernière sera érigée, plus le nombre de groupes musculaires recrutés sera élevé.

g- *Récupération*: Cette dimension concerne le rapport entre la durée de contraction et la durée de relâchement.

Dimensions liées à l'aménagement matériel:

a- *Poids déplacé ou maintenu*: L'auteur propose de l'opérationnaliser en le rapportant au poids corporel.

b- *Orientation de l'effort par rapport à la pesanteur*: Cette dimension renvoie prioritairement à l'inclinaison du support.

c- *Résistance des fluides*: Ces forces sont caractéristiques des milieux aérien et aquatique. La résistance de l'air en constitue un bon exemple.

d- *Déperdition des forces au niveau des appuis*: D'opérationnalisation délicate, cette dimension renvoie à la nature des sols et autres surfaces utilisées pour la progression.

Cette classification constitue en l'état un outil appréciable d'aménagement empirique des tâches. Néanmoins son utilisation pour la quantification de l'intensité semble illusoire. D'autres travaux seraient nécessaires, permettant d'étalonner chaque dimension de manière précise et rationnelle et d'évaluer objectivement leurs contributions relatives à l'intensité globale. On retrouve ici les réserves que nous avons formulées à l'égard du modèle de Famose. L'investigation quantitative de l'intensité semble devoir passer dans un premier temps par celle de l'effort objectivement dépensé dans l'exercice de la tâche. Diverses méthodes sont alors envisageables, en fonction de la nature et de la durée des efforts (étude de la consommation d'oxygène, analyse des variations de la fréquence cardiaque, de la lactémie, électromyographie,...). De nombreux travaux ont été réalisés dans ce sens, dans le cadre des activités sportives ou de l'ergonomie (Andersen et coll., 1979).

En ce qui concerne l'escalade, Schürch et coll. (1986) analysent les réponses métaboliques de grimpeurs débutants dans des voies de 2ème, 3ème et 4ème degré. Ils mettent en évidence une augmentation significative de la fréquence cardiaque et de la lactémie en fonction du niveau d'exigences. Chevallier Hamberger (1984), utilisant la technique du monitoring ambulatoire, fait une analyse similaire avec des grimpeurs de haut-niveau. Elle décrit l'escalade comme une activité à faible dépense énergétique de type aérobie. L'écart entre le niveau des grimpeurs et la difficulté, et surtout le profil des voies servant à l'expérimentation laisse néanmoins planer un doute sur ce résultat (voie de 6b, en dalle). Le Couadou et Maurel (1988), dans une étude plus systématique explorant les degrés supérieurs de difficulté (de 6a à 8b) décrivent plutôt une activité anaérobie avec fréquence cardiaque maximum, au moins pour les voies extrêmes (cf. Tableau 3.1). Le seuil aérobie/anaérobie se situerait pour la population testée au niveau 6c/7a, ce qui explique le résultat de l'étude précédente. Les auteurs mettent en outre en évidence l'efficacité technique des grimpeurs de haut-niveau, source d'économie énergétique à difficulté égale.

Grimpeurs	Fréquence cardiaque		Lactémie (mmole/l) <sup>3</sup>	
	Forts	Moyens	Forts	Moyens
Difficulté				
5c-6b	147	163	4.90	6.12
6c-7a	163	170	5.44	8.22
7b-8a	183		7.26	

Tableau 3.1: Variation de la fréquence cardiaque et de la lactémie avec la difficulté (d'après Le Couadou et Maurel, 1988).

Quoiqu'il en soit, il semble indispensable de dépasser ce type de travaux pour mettre en relation l'effort et les caractéristiques objectives des tâches. Car en dernier ressort, l'entraîneur ou l'enseignant ne manipule pas l'effort exercé mais l'intensité, c'est-à-dire l'architecture des tâches.

L'examen de certaines des dimensions retenues par Durand (1983), par exemple l'amplitude des mouvements, la surface du polygone de sustentation, la hauteur du centre de gravité, laisse supposer que si difficulté et intensité peuvent être expérimentalement dissociées ( par exemple, la tâche de pointer de Fitts (1954), ou les tâches d'effort de Gamberale (1972)), dans de nombreuses tâches sportives leurs influences réciproques seront prépondérantes.

Dans le cas particulier de l'escalade, cette distinction est particulièrement ardue. Dupuy (1987) ne s'y risque pas et englobe difficulté et effort dans la notion d'"intensité athlétique", dépendant des caractéristiques physiques du support: verticalité, morphologie et topologie des prises. Pourtant les deux dimensions semblent pouvoir être intuitivement séparées, et Tiberghien (1984), ouvrant des perspectives de recherche en psychophysique sur l'escalade, parle du caractère "athlétique" ou "délicat" des passages. Mais à part le critère

"enchaînement", c'est-à-dire la succession des passages sans points de repos, qui semble être une des dimensions spécifiques de l'effort en escalade, au niveau d'un passage isolé, difficulté et effort semblent avoir des développements parallèles. On peut supposer, comme le suggère le modèle d'Alain et Salmela (1980), que la difficulté renvoie à la grandeur d'erreur permise, notamment dans le placement des pieds et des mains et dans la trajectoire du centre de gravité, et l'effort à l'énergie à déployer pour franchir le passage. Nous tenterons, au cours d'une de nos expériences, d'isoler ces deux dimensions dans des tâches complexes d'escalade et d'en proposer une description quantifiée (cf. Annexe 7, et chapitres 7.3. et 8.3.).

### EXIGENCES SUBJECTIVES ET MODELISATIONS PSYCHOLOGIQUES.

A ce point de notre travail, nous avons délimité et structuré notre champ d'investigation. Il nous semble important dorénavant d'en asseoir la pertinence dans le domaine des habiletés motrices. Car au-delà de la compréhension des déterminants de la "difficulté" objective et de son évaluation par le sujet, notre ambition est d'avancer dans celle du comportement global du pratiquant en situation d'apprentissage ou de performance. C'est pourquoi nous allons nous attarder sur une revue des principaux modèles psychologiques prenant en compte l'estimation ou la perception des exigences comme variable explicative du comportement.

Chacun de ces modèles obéit à une logique particulière, liée à son cadre théorique d'élaboration et aux aspects du comportement dont il entend rendre compte. Notre visée n'est pas d'en proposer une synthèse, même si l'on pourra se rendre compte de certaines filiations et de processus intégratifs dans la série des élaborations théoriques qui vont suivre. Il s'agit plutôt de situer les exigences subjectives au sein de divers réseaux conceptuels et procéduraux, sans pour autant espérer épuiser la richesse des interrelations envisageables. Même si cela ne constitue pas l'objectif spécifique de notre travail, nous n'excluons ni la possibilité éventuelle, ni l'exigence déontologique à long terme de déboucher sur des applications de terrain dans le cadre de l'apprentissage. Cette revue pourra servir de base à l'élaboration ultérieure d'hypothèses de travail, reliant notre essai d'analyse quantifiée des phénomènes aux logiques de fonctionnement avancées par les différents modèles.

#### 4.1. PERCEPTION DES EXIGENCES ET REGULATION DES EMOTIONS.

Les travaux récents dans ce domaine sont basés sur la notion de niveau d'éveil ou d'activation. Cette notion repose sur l'observation classique selon laquelle le système nerveux fonctionne à une plus ou moins grande intensité: le niveau d'éveil varie d'un minimum à un maximum lorsque l'on passe du sommeil à la veille, puis à la veille attentive et enfin à l'émotion. On considère généralement que le stress est lié à une trop forte élévation du niveau d'activation (Jones et Hardy, 1988)

#### 4.1.1. PERCEPTION DES EXIGENCES ET NIVEAU D'ACTIVATION.

Le niveau d'activation varie sous l'influence de nombreux facteurs. Le rôle des facteurs contextuels a été mis en évidence par de nombreux travaux, et notamment le risque corporel (Mace, 1979), les situations compétitives (Jones et Hardy, 1989), la température ambiante (Holland et coll., 1985). Ainsi Mace (1979) montre que l'exposition de sujets néophytes à une situation subjectivement dangereuse (une descente en rappel d'un immeuble de vingt trois mètres), entraîne une élévation de la fréquence cardiaque, qui ne peut être liée entièrement aux exigences métaboliques de l'exercice, et qui précède même la mise en activité. Le sujet dans cette situation est en état d'éveil maximal, il est en état de stress psychologique.

D'autres travaux montrent l'importance de l'estimation des exigences de la tâche dans ce processus (Welford, 1973; Sanders, 1983). Ces auteurs font l'hypothèse que le stress constitue une variable intermédiaire, entre stimulus et réponse. Selon cette logique, *le stress renverrait à une divergence fondamentale entre la difficulté perçue et l'habileté perçue* (Jones et Hardy, 1988). L'évaluation subjective de la situation serait donc le facteur primordial.

L'élévation du niveau d'éveil peut être expliquée par le phénomène de dissonance cognitive (Champagnol, 1976). La dissonance, ou discrédance, consiste en un écart entre deux états mentaux. Chaque fois qu'une dissonance apparaît, le niveau d'éveil du sujet s'élève. Cette élévation s'accompagne d'affects dont la tonalité change selon l'importance de l'écart ou de la dissonance existant. Si l'écart est faible, la tonalité générale de la situation est relativement neutre puis, à mesure que l'écart s'accroît, les affects deviennent de plus en plus intenses et sont à dominante agréable ou positive. Au-delà d'une certaine zone, si la discrédance est trop grande, ce sont les affects à tonalité négative qui dominent. Il faut noter que le taux d'activation ressenti comme agréable varie d'un individu à l'autre. Certains, particulièrement casses-cous ou avides de sensations fortes, sont prêts à toutes les expériences et toutes les innovations alors que d'autres sont plus timorés et acceptent très mal les taux de dissonance trop élevés.

#### 4.1.2. NIVEAU D'ACTIVATION ET PERFORMANCE.

On s'accorde classiquement à reconnaître que ces deux dimensions sont liées par une courbe en U inversé (cf. figure 4.1.). Dans un premier temps, l'élévation du niveau d'activation entraîne un accroissement de la performance. Puis au-delà d'un certain niveau, on assiste à une détérioration du niveau de performance. Cette hypothèse tire son origine des travaux déjà anciens de Yerkes et Dodson (1908), et a été confirmée à maintes reprises (Stauffacher, 1937; Burgess et Hokanson, 1961; Davey, 1971).

Easterbrook (1959) suggère que les effets du stress sur la performance sont dus aux effets de l'éveil sur l'attention sélective. L'hypothèse est celle d'un rétrécissement du champ attentionnel avec l'élévation de l'éveil: l'émotion diminue l'étendue des signaux que le sujet peut traiter. Au début, l'élévation de l'éveil entraîne une focalisation sur les stimuli pertinents, et la performance s'améliore. Puis on arriverait à un "effet de tunnel", qui éliminerait également les stimuli pertinents. En situation de stress, le sujet ne traiterait plus que les signaux *subjectivement centraux*. Baddeley (1972) précise, dans le cadre de cette hypothèse, que si ces signaux centraux sont pertinents par rapport aux exigences de la tâche, la performance peut s'élever. Dans le cas contraire, elle régresse.

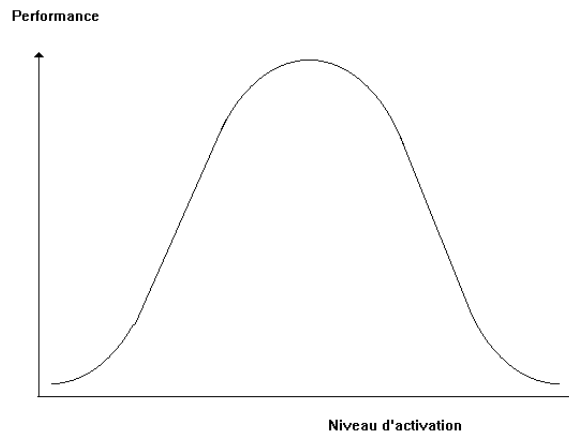


Figure 4.1. Relation niveau d'activation-niveau de performance, selon l'hypothèse du U inversé.

Une hypothèse alternative est fournie par Naatanen (1973) et Mandler (1975). Ces auteurs estiment que la détérioration de la performance avec l'élévation de l'éveil vient d'un effet de distraction. L'éveil générerait des signaux internes qui entreraient en concurrence avec les signaux pertinents pour la tâche.

Ce modèle du U inversé repose sur une approche unidimensionnelle de la notion d'éveil, approche qui semble dorénavant trop simpliste pour rendre compte des phénomènes observés (Jones et Hardy, 1989). Certaines propositions ont été récemment avancées pour dépasser ce niveau.

Les modèles distinguent généralement deux dimensions, d'une part le niveau d'éveil, renvoyant à la vigilance corticale, et d'autre part le niveau d'activation, dont les indicateurs courants sont le tonus musculaire ou la fréquence cardiaque (Sanders, 1983). Certains modèles basés sur l'anxiété font un distinguo approchant entre l'anxiété cognitive, caractérisée par des attentes négatives, un manque de concentration, et l'anxiété somatique, révélée par des indices tels que la nervosité, la tension artérielle, la fréquence cardiaque (Hamilton, 1959; Morris et Liebert, 1973). On a pu montrer que ces deux types d'anxiété dépendaient sélectivement de certains aspects de la situation. Ainsi Morris et Liebert (1973) montrent que l'absence de feedback accroît sélectivement l'anxiété cognitive, et la menace de chocs électriques l'anxiété somatique. Morris et coll. (1981) montrent que l'évaluation sociale accroît l'anxiété cognitive. D'autre part, l'anxiété cognitive s'élève et se stabilise longtemps avant un événement important, alors que l'anxiété somatique n'apparaît que lorsque l'événement est imminent (Martens et coll., 1988).

Il semble que ces deux types d'anxiété aient des effets largement différenciés sur le traitement de l'information. D'une manière générale, selon Martens et coll. (1988), l'anxiété cognitive affecte les processus de décision et de programmation, et l'anxiété somatique les processus effecteurs. Parallèlement, dans le cadre de son modèle, Sanders montre que la vitesse de perception varie avec le niveau d'éveil, et la préparation motrice avec le niveau d'activation.

#### 4.1.3. PERFORMANCE ET EMOTION.

Si l'estimation anticipée des exigences de la tâche influe sur le niveau d'éveil, la performance et la perception directe des exigences vont également être source d'émotion. En contraste avec les processus inconscients étudiés par la psychanalyse, la théorie de l'attribution met l'accent sur la psychologie naïve du sujet qui interprète les événements et conduites courantes. Le modèle le plus utilisé est celui de Weiner (1972), distinguant deux dimensions: la stabilité et la localisation des causes (internes ou externes au sujet). La figure 4.2. représente les causalités fréquemment retenues, par croisement des deux dimensions.

Causalités	Stables	Instables
Internes	Habilité	Effort
Externes	Difficulté	Chance

Figure 4.2.: Les attributions causales (d'après Weiner, 1972).

En 1979, Weiner enrichit son modèle autour de trois dimensions: la contrôlabilité, la localisation, la stabilité de la cause. La difficulté de la tâche apparaît comme une causalité externe, stable et relativement contrôlable (dans le sens où en améliorant son habileté ou en fournissant plus d'effort, on peut espérer la dominer). Les attributions internes reviennent à poser l'individu comme responsable des événements qui se produisent: c'est lui qui constitue le lieu de contrôle de ces événements. A contrario, les attributions externes correspondent à une certaine forme de démission de la part de l'individu qui ne se perçoit pas comme responsable. La dimension stable-instable a d'autres répercussions psychologiques: les attributions stables correspondent au postulat que les événements observés obéissent à une certaine régularité et sont susceptibles de se reproduire dans la mesure où les causes qui les ont déterminés ont elle-mêmes une certaine constance et régularité. En revanche les attributions à des causes instables correspondent à l'idée que le monde et les événements qui s'y produisent sont imprévisibles, changeants et incertains.

Il est fréquemment reconnu qu'attribuer un échec à une cause interne et stable (l'habileté par exemple) s'accompagne d'une baisse de la motivation, d'un abandon de la tâche et d'un état émotionnel à tonalité désagréable. L'attribution à une cause externe (la difficulté) ou à une cause interne mais instable (l'investissement) n'aura pas les mêmes répercussions.

La nature de l'événement influe également sur la causalité revendiquée: Roberts et Duda (1984) distinguent les résultats absolus (victoire ou défaite) et relatifs (niveau de satisfaction). Selon les auteurs, les résultats cohérents (vainqueurs satisfaits ou vaincus insatisfaits) sont attribués à des causes internes, les résultats ambigus (vainqueurs insatisfaits, vaincus satisfaits) à des causes externes. De même, la répétition d'un résultat sera attribuée à une cause stable, et un résultat surprenant à une cause instable.

A la lumière de ces éléments, il peut sembler intéressant, dans le cas d'un échec, d'orienter la recherche de causalité du pratiquant vers la difficulté de la tâche. Ceci aura tendance à exonérer sa responsabilité tout en assurant le progrès possible. Une telle

orientation est-elle possible?

On a pu montrer que le type d'attribution causale réalisé par un individu était relativement stable. Il existerait des tendances à attribuer un résultat à des causes internes ou externes, stables ou instables (Famose, 1990). Roberts et Duda (1984) mettent en évidence une différenciation sexuelle, dans l'évaluation du sentiment de compétence dans un match de tennis. Les critères de jugement utilisés par les femmes sont l'habileté et la chance, alors que les hommes se basent sur le résultat, la difficulté de la tâche (représentée ici par l'habileté de l'adversaire), et la stratégie.

Est-il possible néanmoins de manipuler les attributions causales? Certaines expériences ont inscrit dans leur protocole ce type de démarche. Schachter et Singer (1962, cités par Leyens, 1979) montrent qu'en manipulant les instructions de présentation d'une expérience, on peut modifier profondément la logique d'attribution causale des sujets. Kukla (1972b), à propos d'une tâche mentale, laisse croire à un groupe de sujets que la réussite dépend uniquement de l'habileté déployée, et à un autre groupe qu'elle dépend à la fois de l'habileté et de la quantité d'effort investi. Les sujets sont différenciés en outre dans chaque groupe selon leur type dominant d'attribution causale. La théorie suppose que l'attribution de la réussite à l'effort tend à améliorer les performances (cf. chap. 4.4.). Les résultats montrent que les instructions n'ont eu un effet significatif que sur les sujets qui présentaient déjà une tendance à faire des attributions d'effort. Yukelson et coll. (1981), qui cherchaient à éprouver la théorie de Kukla dans le domaine des tâches motrices, se livrent également à une manipulation des attributions. Les résultats indiquent un effet significatif des instructions. Les sujets que l'on a orienté vers une attribution d'effort ont de meilleurs résultats.

L'orientation de l'attribution vers la difficulté pourrait passer par des instructions biaisant soit les standards de performance, soit directement l'estimation de la difficulté. Dans le cas de l'escalade, on peut intentionnellement sur- ou sous-coter la voie qu'un grimpeur s'apprête à franchir. Si la difficulté objective de la voie correspond aux limites actuelles du grimpeur, et que la tentative est un échec, la surcotation peut inciter à une recherche causale dans le sens de la difficulté.

## 4.2. PERCEPTION DES EXIGENCES ET REGULATION DE LA MOTIVATION.

D'une manière générale, on a vu que le sujet élaborait simultanément et en interaction une représentation de la tâche et de sa propre compétence, qui constituait le principe régulateur fondamental de l'émotion. Les modèles rendant compte de la motivation décrivent des phénomènes comparables.

### 4.2.1. REJET ET ACCEPTATION DE LA TACHE.

Atkinson (1957) a tenté d'élaborer un modèle théorisant les processus par lesquels un individu choisit de s'engager dans une tâche en fonction du niveau de difficulté qu'elle présente. Cette approche se constitue dans l'interaction de trois déterminants:

-*le niveau d'expectation*, identifié par l'auteur en tant que probabilité subjective de succès (Ps). Cette définition est proche de celle proposée par Robaye (1957) qui renvoie au niveau qu'un individu s'attend à atteindre lorsqu'il se trouve placé devant une tâche à

accomplir.

-*La valeur incitatrice* du succès (Is) et de l'échec (Ie) escomptés. Ceci renvoie aux notions de valence ou d'utilité (Robaye, 1963).

-*Les motifs*, ou tendances à rechercher le succès (Ms) ou à éviter l'échec (Me), ces deux tendances pouvant être plus ou moins fortes et prégnantes selon les individus. Ces motifs sont une caractéristique stable de la personnalité, proches de la notion de *niveau d'aspiration* (Robaye, 1957).

Atkinson propose certains postulats quant à la nature de ces déterminants et aux relations qu'ils entretiennent. Ainsi, il estime que la difficulté estimée peut être directement inférée de la probabilité subjective de succès. Plus le succès est probable, plus la tâche serait estimée facile. La difficulté estimée serait donc proportionnelle à la probabilité subjective d'échec ( $DE = a(1-Ps)$ ). Nous examinerons plus loin les critiques qui ont été formulées à l'égard de ce postulat. L'important pour notre propos, c'est une tentative d'opérationnalisation quantifiée de la difficulté subjective et son introduction dans un modèle de comportement.

Le second postulat de l'auteur est que la valeur d'utilité du succès est inversement proportionnelle à la probabilité subjective de succès:

$$Is = 1 - Ps.$$

Is est donc une fonction linéaire positive de la difficulté estimée. Plus une tâche est facile, moins elle est attirante. D'un autre côté, la valeur d'utilité d'un échec escompté est proportionnelle à la probabilité subjective de succès mais de signe opposé:

$$Ie = -Ps.$$

Son intensité est d'autant plus importante que le risque d'échouer est faible. Le signe négatif indique qu'il s'agit d'une incitation à éviter la tâche.

Par rapport à une tâche donnée, Atkinson suppose que la motivation est la somme de deux composantes, d'une part la motivation d'accomplissement, et d'autre part la motivation d'évitement. Il parle alors de *motivation résultante*. Ces deux composantes peuvent être calculées de la façon suivante:

$$\text{Motivation d'accomplissement} = Ms \times Ps \times (1 - Ps),$$

$$\text{Motivation d'évitement} = Me \times (1 - Ps) \times (-Ps).$$

On peut également exprimer ces composantes en fonction de la difficulté estimée, en posant  $DE = 1 - Ps$ :

$$\text{Motivation d'accomplissement} = Ms \times (1 - DE) \times DE,$$

$$\text{Motivation d'évitement} = Me \times DE \times (DE - 1).$$

Une telle théorie a des conséquences précises. Chacune des deux composantes est déterminée en valeur absolue par le produit d'une probabilité et de sa probabilité complémentaire ( $p \times (1-p)$ ). Ce produit se distribue selon une courbe en U renversée, centrée sur l'équiprobabilité ( $p = .50$ ). L'intensité de chacune des composantes est donc maximale

quand la difficulté est moyenne ( $P_s=.50$ ), et s'atténue quand la probabilité de succès s'accroît ou diminue. La figure 4.3. rend compte de cette relation.

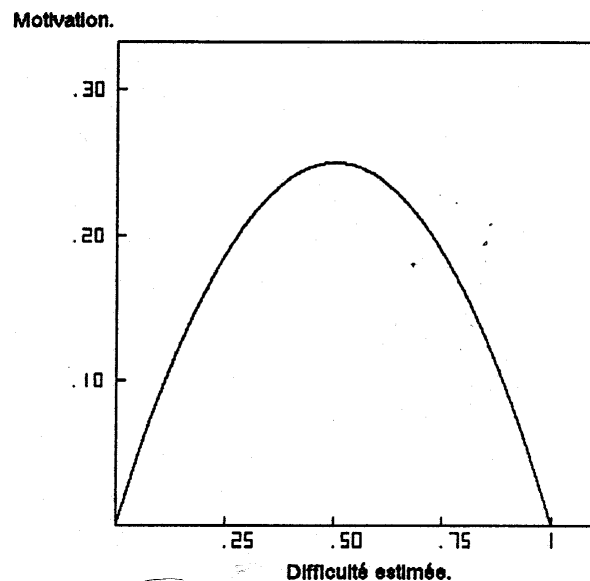


Figure 4.3.: Intensité de la motivation d'accomplissement ou d'évitement en fonction de la difficulté estimée, c'est-à-dire de la probabilité subjective d'atteinte du but (d'après Atkinson, 1957).

L'intensité relative des deux composantes dépendra donc entièrement de la valeur de  $M_s$  et de  $M_e$ , c'est à dire des tendances à rechercher le succès ou à éviter l'échec. Un sujet qui recherche activement les succès optera pour une tâche de difficulté moyenne, qui correspond à une probabilité raisonnable de réussite. Le résultat aura alors une véritable signification du fait de la difficulté de la tâche. En revanche, un individu essentiellement déterminé par la peur de l'échec aura tendance à ne choisir aucune tâche (puisque la motivation résultante est négative), ou s'il est contraint de le faire, optera pour des tâches très simples ou très difficiles. Dans ce cas, le choix d'une difficulté très faible correspond au souci de ne pas subir l'échec, et le choix d'une difficulté maximum, à la volonté de se déculpabiliser, l'échec ne pouvant être attribué qu'à l'extrême difficulté de la tâche.

Atkinson estime en outre que la force relative d'une des deux tendances accroît la probabilité subjective de l'issue correspondante de succès ou d'échec. En d'autres termes, un individu déterminé par l'évitement de l'échec aura tendance à estimer la tâche plus difficile, à difficulté objective équivalente. La figure 4.4. rend compte de cette propriété.

Cette modélisation appelle plusieurs remarques. La première est qu'il semble que dans la réalité, l'individu ne procède pas de manière probabiliste, du moins dans la logique arithmétique développée par Atkinson. Selon Robaye (1963), l'expectation n'est pas une variable métrique. L'estimation naïve n'est pas numérique: le sujet n'associe pas des probabilités précises de succès aux différentes tâches, mais procède de façon plus qualitative (on a beaucoup, peu ou pas du tout de chances de réussir). "Toute expression verbale quantifiée d'une expectation est artificielle" (Robaye, 1963).

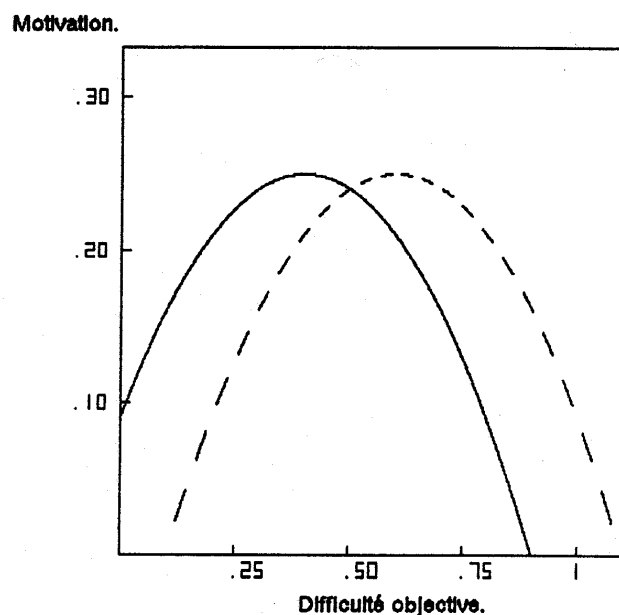


Figure 4.4.: Intensité des motivations d'accomplissement (en pointillés) et d'évitement (en trait plein), en fonction de la difficulté objective, ou probabilité objective d'échec (d'après Atkinson, 1957).

La seconde remarque est relevée par Durand (1987), qui observe que des enfants très jeunes (4-5ans), dissocient la difficulté de la probabilité subjective de succès. Ils sont capables d'estimer avec une bonne précision la difficulté d'une série de tâches, et d'envisager également avec une bonne précision leurs chances de réussite, sans que ces deux estimations soient confondues. Cela semble indiquer que la probabilité subjective de succès et la difficulté estimée ne relèvent pas de la même construction cognitive.

Kukla (1972a) affirme également que difficulté estimée et probabilité subjective de succès doivent être distingués, du moins dans les situations mettant en oeuvre l'habileté, dans lesquels les concepts probabilistes ne sont pas applicables. La cotation en escalade montre clairement que les grimpeurs sont parfaitement capables de hiérarchiser, voire de quantifier les difficultés, en faisant abstraction de leurs probabilités de succès (cf. Expérience 11, Annexe 7).

Certaines conclusions d'Atkinson méritent néanmoins un examen approfondi. Ainsi Harter (1978), à propos de tâches non sportives (résolution d'anagrammes), a mis en évidence l'existence d'un niveau optimal de difficulté, correspondant à une motivation maximale. Pour qu'une tâche soit motivante, il faut qu'elle représente un "challenge optimal", c'est-à-dire que sa difficulté soit moyenne par rapport à la compétence du sujet. Trop simple, elle ne permettrait pas même en cas de réussite de démontrer une compétence certaine, trop élevée, les échecs sont nombreux et provoquent des affects négatifs. On retrouve la relation en U inversée décrite par Atkinson.

Par ailleurs, en présentant la tâche soit comme un jeu, soit comme un travail récompensé, Harter manipule l'estimation subjective de la difficulté: elle montre ainsi qu'à difficulté objective égale (mesurée par le nombre de lettres composant l'anagramme, ou par la performance en terme de temps de réponse), une tâche est jugée plus difficile en condition de

travail récompensé qu'en situation de jeu. Parallèlement, le challenge optimal est objectivement plus difficile en situation jouée qu'en situation de travail. Ceci indique clairement que l'"optimum de difficulté" renvoie davantage à une représentation de la tâche qu'à une réalité objective.

Durand (1987) met en doute cette notion dans le cadre des activités physiques. Demandant à des jeunes joueurs de tennis d'estimer la valeur motivationnelle des tâches qui leur sont proposées lors de séances d'entraînement, l'auteur met en évidence une corrélation en .67 entre difficulté et motivation, et de -.25 entre intensité et motivation. Ceci met l'accent sur l'importance de la *nature* de la tâche considérée. Les pratiquants perçoivent différemment l'impact des exigences informationnelles et énergétiques: plus les tâches sont difficiles, plus elles sont motivantes, et inversement plus elles sont intenses. En outre, cette recherche ne met pas en évidence d'optimum de difficulté. L'auteur note néanmoins que cette observation peut être lié à l'échantillonnage des tâches.

Dans une logique similaire, Durand (1987) montre que des garçons et des filles ne réagissent pas de la même manière quand ils sont confrontés à des tâches de lancers et d'équilibre: les filles choisissent un niveau de difficulté plus important pour les équilibres et les garçons pour les lancers de précision. Ces investigations semblent montrer que le modèle du "challenge optimal" est insuffisant: la nature des exigences auxquelles le sujet est confronté est un facteur affectant sa motivation, en même temps que le niveau de ces exigences.

#### 4.2.2. EXIGENCES ESTIMÉES ET INVESTISSEMENT CONSENTI.

Kukla (1972a, 1974) propose une approche intégrant les théories de la décision (Atkinson, 1957; Robaye, 1963) et la théorie de l'attribution. Il développe un modèle dont la variable principale est l'intensité du comportement: la performance dépend avant tout de l'effort intentionnel (*intended effort*), concept que l'on retrouve dans la littérature de langue française sous les termes d'effort consenti (Famose, 1990), ou d'effort voulu (Dornic, 1986). Même si ce concept les recouvre en partie, il se distingue nettement des notions d'effort mental (Dornic et Andersson, 1980) et d'effort physique (les anglo-saxons utilisent d'ailleurs à ce sujet le mot "exertion"). Nous préférons parler d'*investissement consenti*, que nous définirons comme le niveau de mobilisation des ressources du sujet. Nous nous rapprochons ainsi de la conception large, à la fois quantitative et qualitative, développée par Kukla.

Selon l'auteur, la probabilité d'atteinte du but dans les situations d'habileté ne constitue pas un percept antérieur et déterminant toute prise de décision. Cette probabilité est en partie induite par le niveau d'investissement consenti. Dans une tâche dans laquelle la performance s'évalue de manière dichotomique en terme de réussite ou d'échec, on suppose à chaque niveau d'investissement correspond, avec une certaine certitude subjective, un résultat particulier. En dessous d'un certain niveau, l'investissement est supposé conduire à l'échec, et au-dessus au succès (cf. Figure 4.5.). Kukla postule que le niveau choisi est le plus bas pouvant conduire au résultat escompté, soit le point de discontinuité de la courbe.

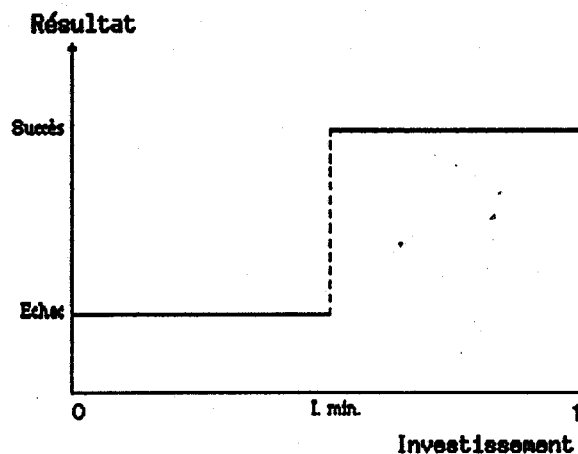


Figure 4.5.: Relation théorique entre investissement et résultat attendu pour une tâche à évaluation binaire (d'après Kukla, 1972a).

Plus la tâche sera difficile, plus le point de rupture sera déporté vers la droite. La théorie suppose en outre que l'investissement se distribue de 0 à 1, c'est-à-dire qu'il existe un maximum absolu. Une certaine difficulté va donc correspondre à ce maximum. On considère alors que pour toute tâche de difficulté supérieure, le sujet est voué à l'échec, quelque soit l'investissement qu'il consent. Dans la logique du choix du niveau minimal d'investissement pouvant mener au résultat escompté, le sujet sélectionnera alors l'investissement minimum, soit 0.

Kukla lie donc axiomatiquement difficulté estimée et investissement: plus la tâche est jugée difficile, plus grand est l'investissement considéré nécessaire à l'atteinte du but. Dans cette logique, l'investissement consenti augmente avec la difficulté estimée, aussi longtemps qu'il semble significatif au sujet, c'est-à-dire jusqu'à ce que la difficulté atteigne une limite au-delà de laquelle la tâche n'apparaît plus réalisable. L'investissement chute alors brusquement au plus bas niveau (figure 4.6.)

Le niveau d'investissement consenti est également déterminé par ce que Kukla appelle l'*habileté estimée* (perceived ability). A difficulté estimée équivalente, un sujet se sentant habile pensera qu'un niveau modéré d'effort est nécessaire à la réussite, alors qu'un sujet se percevant comme peu habile pensera devoir mobiliser ses ressources à un niveau élevé. Ceci se traduit par un glissement de la courbe de la figure précédente vers la droite, à mesure que s'élève le sentiment de compétence (cf. Figure 4.7.). Cette modélisation fait apparaître que dans un premier temps, l'accroissement de la difficulté entraîne une augmentation de l'investissement, même si le niveau consenti par les sujets se percevant comme peu habiles est toujours plus élevé. Puis apparaît un secteur où seuls les sujets qui se supposent habiles persévèrent dans l'investissement. Dans un dernier temps, la difficulté est telle que quelque soit l'habileté perçue, tous les sujets n'investissent plus aucun effort dans la tâche. Ces trois secteurs permettent à Kukla de répartir les tâches en fonction de leur difficulté estimée initiale, faible, intermédiaire ou forte.

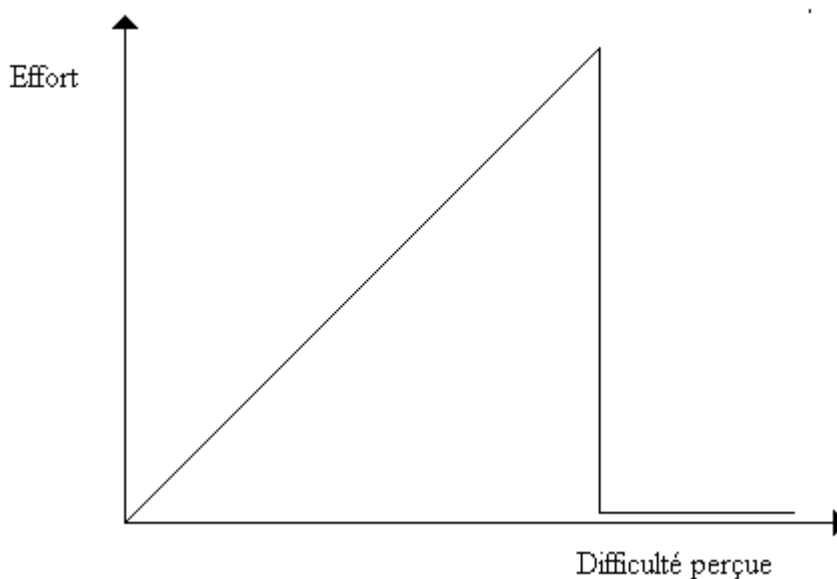


Figure 4.6.: Relation théorique entre la difficulté estimée et le niveau d'investissement consenti (d'après Kukla, 1972a).

A ce niveau il faut bien préciser ce que Kukla entend par habileté estimée. Dans un autre article (Kukla, 1972b), il montre que le sentiment de compétence est avant tout lié à la motivation résultante, définie comme la somme des composantes motivationnelles d'accomplissement et d'évitement. Les sujets à haute motivation résultante ont tendance à s'attribuer une habileté propre élevée. Dans ce sens, l'habileté estimée n'entretient qu'un rapport indirect avec l'habileté objective. Elle renvoie davantage à un trait général de personnalité (le besoin d'accomplissement) qu'à une construction relative à une tâche précise.

Cette théorie permet des prédictions quant à la façon dont les individus réagissent au succès ou à l'échec (Kukla, 1972a). Soient deux groupes, dont les sujets diffèrent par leur niveau d'habileté estimée. On suppose que par rapport à la tâche utilisée, l'habileté objective est équivalente. On admet en outre qu'une série de succès entraîne une baisse de la difficulté estimée, et une série d'échec a l'effet inverse. Dans ce cadre, si la difficulté estimée initiale est faible, l'échec entraînera chez tous les sujets une élévation de la performance, par augmentation de l'investissement. Si l'échec perdure, la performance régressera après un pic, et ce plus précocement dans le groupe à faible motivation résultante. Si la difficulté estimée est forte, le succès entraînera chez tous les sujets un accroissement de la performance (le point de décrochage des courbes ayant tendance à se décaler vers la droite). Si le succès continue, la performance régressera également au-delà de l'atteinte d'un pic, et ce plus précocement dans le groupe à haute motivation résultante. Enfin si la difficulté perçue est intermédiaire, une série de succès entraînera une augmentation de la performance dans le groupe à basse motivation résultante, et une baisse dans l'autre groupe. Une série d'échec aura l'effet inverse. Ces prédictions ont été en partie démontrées par Yukelson et coll., (1981).

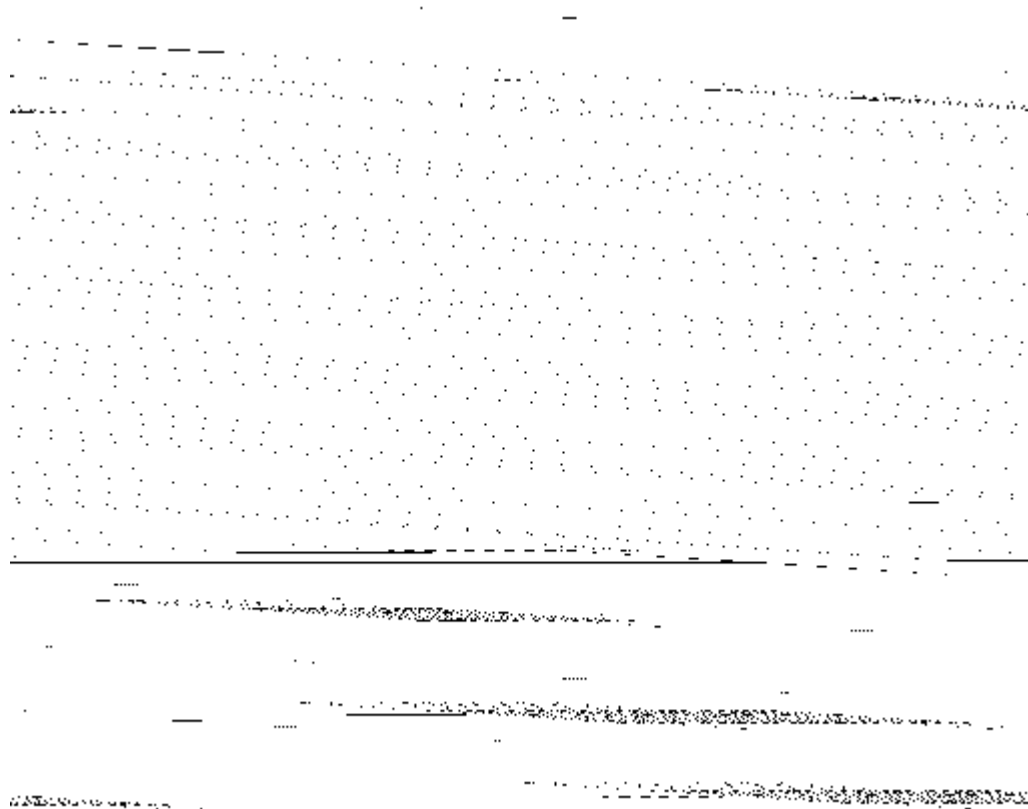


Figure 4.7.: Relations théoriques entre difficulté estimée et investissement consenti, en fonction du sentiment de compétence. En trait plein: sujets à bas niveau d'habileté estimée; en pointillés: sujets à haut niveau d'habileté estimée (d'après Kukla, 1972a).

Le choix du niveau d'investissement dépend également des différences individuelles en ce qui concerne les attributions causales. On a vu que les sujets se différencient quant à la manière dont ils attribuent, de manière constante, la cause de leurs réussites ou de leurs échecs. Les principales attributions relevées renvoient à la chance, à l'habileté, à l'effort ou à la difficulté de la tâche. Kukla (1972b) montre à propos d'une tâche mentale que les sujets qui attribuent principalement leurs performances à l'effort obtiennent de meilleurs résultats que ceux qui se réfèrent à l'habileté, et ce d'autant plus que la réussite dans la tâche leur a été présentée comme relevant à la fois de l'habileté et de l'effort. Yukelson et coll. (1981) confirment ce résultat en ce qui concerne une tâche motrice (lancer de fléchettes).

Nous y avons introduit la *difficulté perçue*. Bien que Kukla n'en parle pas, on peut faire l'hypothèse qu'elle participe à la construction de la difficulté estimée, davantage sans doute que le résultat qui ne doit jouer qu'un rôle modulateur. L'importance relative de ces deux facteurs reste encore à déterminer. Ce schéma suppose que la difficulté estimée influe sur l'investissement consenti pour l'essai en cours, et la difficulté perçue sur l'essai subséquent.

Ce modèle, qui met au principe de la performance l'investissement consenti par le sujet, et relie le niveau de cet investissement à la difficulté subjective, nous paraît d'un intérêt fondamental. Il montre l'importance de l'estimation des exigences par le sujet et l'intérêt pour l'entraîneur ou l'enseignant de manipuler finement ces évaluations. La figure 4.8. propose une représentation des différents éléments en interaction.

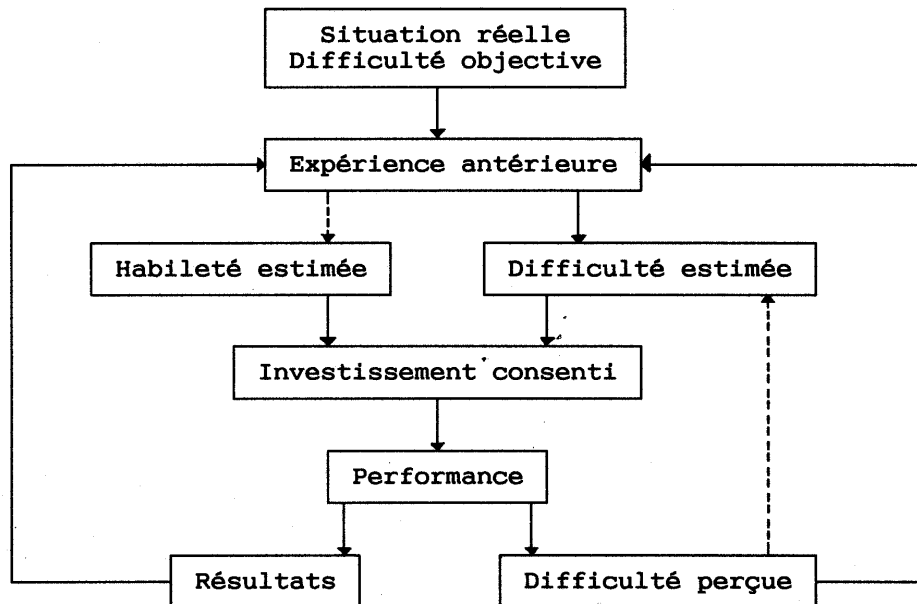


Figure 4.8.: Difficulté subjective et performance (d'après Kukla, 1972).

Dans le cadre d'activités continues comme l'escalade, on peut supposer l'existence d'une boucle courte (représentée en pointillés sur le schéma), régulant en continuité le niveau d'effort investi.

Dornic (1986) complexifie le modèle de Kukla, à partir de recherches sur les différences interindividuelles en situation de stress. L'auteur propose une hypothèse de stratégie, fondée sur le fait que dans la plupart des tâches de traitement informationnel, il existe plusieurs stratégies de traitement possibles, chacune étant caractérisée par un niveau d'efficacité (c'est-à-dire un rapport investissement/ performance) particulier. Cette hypothèse a été abondamment développée en psychologie ergonomique (Spérandio, 1977; Vermersch, 1978; Teiger, 1977). Le choix de la stratégie ne se fait pas au hasard, et Dornic met l'accent sur l'importance de la perception et de l'interprétation par le sujet de l'ensemble de la situation. La figure 4.9. illustre le modèle développé par l'auteur.

La situation objective, c'est-à-dire les exigences de la tâche situées dans un contexte particulier, met en action le réseau complexe des expériences pertinentes emmagasinées en mémoire et déclenche les modifications à support biologique qui sont sensés dépendre de l'éveil et/ou de la capacité d'éveil. Le résultat est une image subjective de la situation. L'étape suivante comprend un appréciation des exigences de la situation et des ressources et habiletés disponibles. Elle débouche en outre sur le choix d'un niveau d'investissement consenti, notion similaire à celle développée par Kukla (1972a), qui sera déterminant dans le choix de la stratégie.

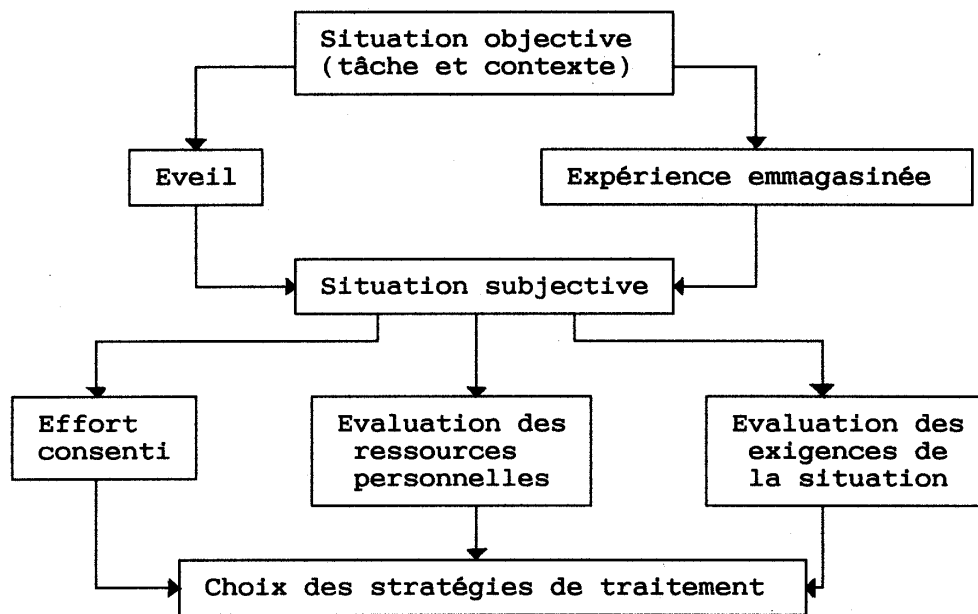


Figure 4.9.: Séquences des opérations dans le traitement des informations relatives à une situation (d'après Dornic, 1986).

Ce modèle met en avant le fait que le choix de la stratégie de traitement n'est pas déterminé mécaniquement par la structure objective de la tâche, mais dépend davantage de l'estimation subjective de ses exigences. Dans le cadre des activités physiques, diverses études ont montré l'adaptation des stratégies au niveau d'exigence des tâches. On peut citer Warren (1984), qui montre que confronté à une tâche de gravissement d'escalier, les sujets sont capables d'estimer avec précision et uniquement à partir de la perception visuelle, la hauteur des marches qui ne sont plus "montables" normalement, c'est-à-dire sans recours aux mains ou à d'autres comportements d'escalade. Les sujets procèdent par catégorisation perceptive: certains escaliers sont jugés montables et d'autres non. La limite entre ces catégories constitue un "point critique", c'est-à-dire un point correspondant à un changement des patterns moteurs réalisés pour atteindre le but de la tâche. L'efficacité semble constituer un moteur puissant du choix de la stratégie. Ainsi, on a pu montrer que le choix de l'amplitude des foulées en course (Lin, 1980, cité par Sparrow, 1983), de même que le choix plus fondamental de recourir à la marche ou à la course en fonction de la vitesse de défilement du tapis roulant (Zarrugh, Todd et Ralston, 1974) renvoyait avec une grande précision au choix de la stratégie la moins coûteuse du point de vue énergétique.

#### 4.3. UNE PROPOSITION INTEGRATIVE: LA CONFIANCE DANS LE MOUVEMENT.

Griffin et Keogh (1982) développent le concept de *confiance dans le mouvement* (movement confidence), défini comme un sentiment individuel d'"adéquation" dans une situation mettant en oeuvre la motricité. Les auteurs parle également d'*assurance* dans l'approche d'une situation. Selon eux, la confiance est spécifique, dans le sens ou elle peut varier suivant les situations (Griffin, Keogh et Maybee, 1984). Il ne s'agit donc pas d'une caractéristique globale et stable du sujet, comme par exemple le niveau d'aspiration (Robaye, 1957). D'autre part, si le sentiment de compétence, c'est-à-dire l'adéquation entre l'habileté et les demandes de la tâche, constitue un déterminant important de la confiance, cette dernière ne s'y résout pas. Les comportements des sujets apparaissent plus complexes que s'ils n'étaient définis que par le seul sentiment de compétence (Griffin, Keogh et Maybee, 1984). La confiance dans le mouvement (CM) vient d'une évaluation de soi-même et de la situation, dont le produit peut se décomposer en deux facteurs, d'une part le sentiment de compétence (C), et d'autre part les expériences sensorielles escomptées lors de l'exécution (S):

$$CM = C + S.$$

Deux dimensions de valences opposées composent ce second facteur: c'est d'une part le plaisir escompté (PE), renvoyant à des préférences personnelles pour tel type de sensations issues de la mise en jeu motrice, et d'autre part le risque estimé (RE), compris comme l'évaluation des blessures possibles, de leur gravité et de leur probabilité d'occurrence. L'équation de la confiance dans le mouvement peut alors prendre la forme suivante:

$$CM = C + (PE - RE).$$

Le plaisir escompté ne renvoie pas à la maîtrise de la tâche, mais aux sensations agréables qui peuvent naître d'un afflux de sensations kynestésiques, proprioceptives, d'un désordre sensoriel. On se situe ici dans un autre cadre que celui de la motivation d'accomplissement puisque le déterminisme fondamental n'est pas la recherche de l'efficacité mais du plaisir et de diverses sensations agréables. On peut ici faire référence aux travaux de Berlyne (1970), qui s'inscrivent dans le cadre théorique général de la *dissonance cognitive*. Selon cet auteur, il y aurait chez l'homme une tendance à rechercher un certain taux d'activation du système nerveux central, consécutif à un certain niveau de dissonance cognitive. Ce taux de dissonance peut être provoqué par de multiples facteurs: désordre sensoriel, nouveauté de la tâche, caractère extrême des sensations. Dans ce sens, le risque revêt un caractère nettement ambivalent. Car sa présence est également source de dissonance, et de plaisir. Il semble donc se distribuer sur les deux dimensions isolées par Griffin et Keogh, selon une répartition dépendant évidemment de la personnalité des pratiquants.

La confiance apparaît d'autre part comme un médiateur important de l'activité du sujet. Elle déterminera premièrement le choix de participer ou non à la tâche proposée. Plus largement, elle influera sur le choix d'un individu pour la pratique d'une activité sportive donnée (Griffin, Keogh et Maybee, 1984). En outre, les auteurs postulent une influence sur le fonctionnement même du système de traitement de l'information (cf. Figure 4.10.).

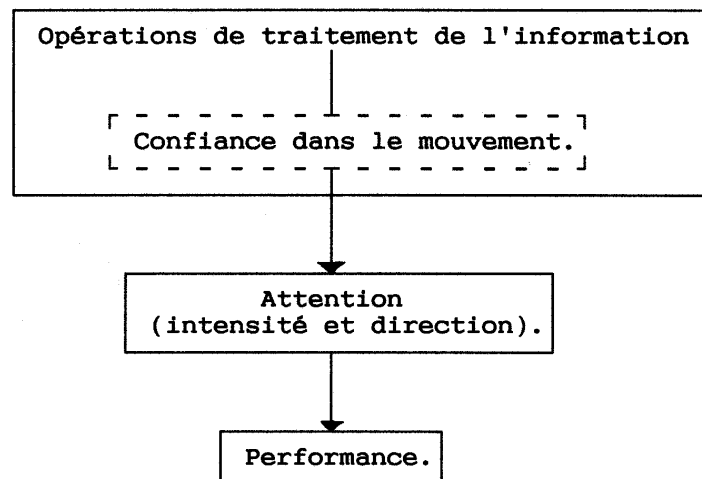


Figure 4.10.: Le rôle de la confiance dans le mouvement comme médiateur au sein des processus de traitement de l'information (d'après Griffin et Keogh, 1982).

La confiance dans le mouvement est supposée contribuer directement à l'orientation des processus attentionnels. Ainsi un grimpeur percevant un risque de chute peut focaliser son attention sur le vide, sur les conséquences possibles, sur le matériel d'assurage, et ainsi négliger les indices nécessaires à sa progression. De même le grimpeur peut orienter son attention davantage sur la forme du mouvement, au vu du plaisir escompté à réaliser une structure gestuelle particulière, et par là perdre en efficacité absolue. On peut également interpréter ces phénomènes comme des processus de redéfinition de la tâche, par modification du but, dans le sens de ne pas tomber dans le premier cas, et de produire une forme gestuelle dans le second (Famose, 1990).

Ce modèle, associant l'estimation des exigences de la tâche et des facteurs contextuels est intéressant car il dépasse l'approche strictement énergétique des travaux de Kukla. L'évaluation des exigences est intégrée dans la logique du système de traitement de l'information, et y occupe alors une position latérale, parallèle aux processus de traitement, mais pouvant en affecter le fonctionnement à chacune des étapes.

La présentation de ces différents cadres théoriques, nous l'avons précisé dès l'introduction de ce chapitre, n'avait pas pour ambition d'en établir une synthèse globale. Néanmoins, on peut proposer un tableau général, situant l'évaluation subjective des exigences et du contexte au sein des interactions décrites par les modélisations précédentes (Figure 4.11.). Ceci permettra d'en illustrer l'importance centrale et l'intérêt de leur étude systématique. Ce schéma s'inspire largement du modèle de synthèse proposé par Famose (1990, p. 62).

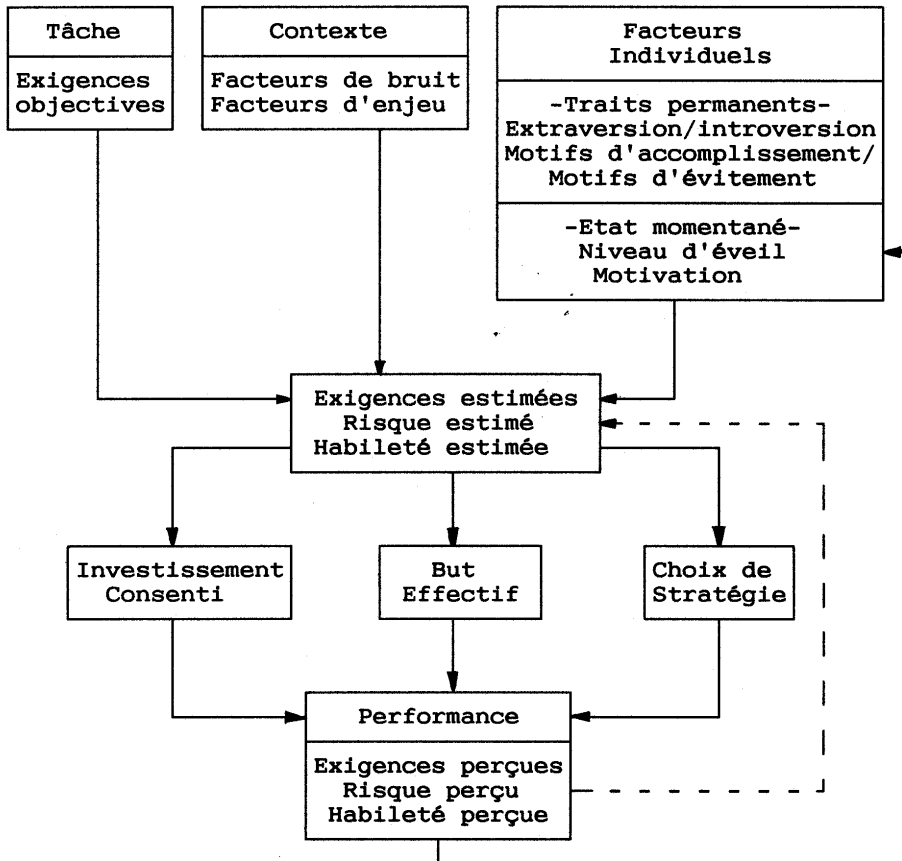


Figure 4.11.: Rôle des exigences subjectives dans la régulation de la performance.

LA PSYCHOPHYSIQUE
-------------------

L'apparition de la Psychophysique remonte à la publication du livre de G.T. Fechner, *Elemente der Psychophysik* (1860). Il s'agit pour l'auteur de la "science exacte des relations fonctionnelles ou relations de dépendance entre le corps et l'esprit" (cité par Richard, 1988). Son projet, sous-tendu par une vision moniste de l'homme, a ouvert un domaine de recherche particulièrement fécond. Une définition plus actuelle nous est donnée par Guilford (1954): "étude des relations quantitatives entre les faits physiques et les faits psychiques qui leur correspondent", ou par Richard (1988): "étude des relations entre les stimuli et les sensations". La psychophysique a joué un rôle de choix dans l'histoire de la psychologie. Fraisse (1968/69) et Tiberghien (1984) montrent qu'elle constitue le premier modèle de dépassement de la psychologie introspective, et qu'elle ouvre la voie au behaviorisme. Notamment, la psychophysique a abordé le problème fondamental de la mesure, elle a développé des méthodes et avancé des solutions qui ont eu une grande importance dans l'évolution de la psychologie expérimentale.

Dans le cadre de ce texte, il est hors de question de proposer un panorama exhaustif de la psychophysique, que l'on pourra par ailleurs trouver dans deux ouvrages récents en langue française (Tiberghien, 1984; Bonnet, 1986). Il s'agit plutôt d'en exposer les principales méthodologies, en insistant davantage sur leurs fondements théoriques que sur leurs résultats particuliers. Une connaissance claire du fonctionnement intime de la construction des échelles psychophysiques nous semble en effet indispensable à l'intelligibilité des travaux que nous présenterons ultérieurement.

Conscient d'écarter des pans importants de la culture psychophysique, nous nous limiterons à trois grands cadres méthodologiques: la méthode des seuils (Fechner), la construction d'échelles de rapports (Stevens), et la méthode des jugements absolus. Ce choix correspond aux options expérimentales que nous avons prises, et que nous exposerons dans une partie consacrée à la difficulté en tant qu'objet d'étude de la psychophysique.

### 5.1. LA PSYCHOPHYSIQUE FECHNERIENNE.

Le projet de Fechner était en fait de parvenir à quantifier l'introspection. Position délicate quand on sait que la psychologie introspective de l'époque rejetait toute idée de

mesure des faits de conscience (Bergson sera un critique violent du projet psychophysique), et que c'est pour éluder ce problème qu'une psychologie du comportement (behaviorisme) apparaîtra au début du vingtième siècle. L'introduction de la mesure semblait impliquer le rejet de la conscience.

Fechner ne croit d'ailleurs pas qu'une mesure directe de l'intensité de la sensation soit possible, ou du moins valide. Par contre, il pense qu'une mesure indirecte est envisageable. Le concept de seuil sensoriel est central dans la théorie fechnerienne. Le seuil est la quantité d'énergie nécessaire pour produire une différence juste perceptible entre deux sensations. On distingue deux types de seuils:

-*Le seuil absolu* (absolute threshold), qui est la plus petite grandeur du stimulus provoquant une réponse de détection.

-*Le seuil différentiel*, qui est la plus petite différence de grandeur du stimulus permettant une réponse de discrimination. On appelle la sensation correspondante le "*jnd*" (just noticeable difference).

Les méthodes de mesure des seuils sensoriels consistent à faire varier l'intensité du stimulus autour d'un stimulus-étalon (ou autour du point liminaire pour la détermination du seuil absolu), en demandant à chaque présentation un jugement ("perçu" ou "non perçu", "plus grand" ou "plus petit"). Si par rapport à un stimulus-étalon  $x_1$ , on détermine que le passage de  $x_1$  à un stimulus  $x_2$  correspond au plus petit accroissement nécessaire pour qu'une différence soit perçue, alors le seuil différentiel est:

$$\delta x_1 = x_2 - x_1$$

Néanmoins la grandeur des seuils est variable entre les sujets. On leur donne alors une définition probabiliste: il s'agit des accroissements ayant 50% ou 75% de chances d'être détectés. On considère donc que les mesures individuelles sont entachées d'erreurs, aléatoires, réparties autour de la valeur vraie selon une distribution gaussienne. Certaines précautions méthodologiques ont été apportées afin de contrôler des erreurs systématiques (notamment dues aux effets d'ordre dans la présentation des stimuli).

La théorie s'organise autour de deux postulats fondateurs. Le premier est la loi de Weber, selon laquelle l'accroissement d'intensité du stimulus nécessaire pour avoir une différence juste perceptible de sensation est une fraction constante de ce stimulus.  $x$  étant l'intensité du stimulus et  $k$  une constante,

$$\delta(x)/x = k \quad (1).$$

Le second est le postulat de Fechner, selon lequel la grandeur subjective du seuil sensoriel (c'est-à-dire le *jnd*) est une constante tout au long de la dimension sensorielle étudiée.  $s$  étant la sensation et  $c$  une constante,

$$\delta(s) = c \quad (2).$$

Fechner décide alors de prendre cette constante comme unité de mesure de la sensation. La construction d'une échelle psychophysique selon sa méthode consistera donc à déterminer le seuil absolu ( $x_0$ ), puis à mesurer successivement les seuils différentiels  $\delta x_i$  en prenant à chaque fois comme stimulus étalon:

$$x_i = x_{i-1} + \delta x_{i-1}$$

A chaque valeur de  $x_i$  correspond un niveau de sensation  $s_i$ , exprimé en jnd, tel que:

$$s_i = i$$

La fonction psychophysique est donc:

$$s_i = f(x_i)$$

La construction d'échelles selon cette méthode produit des fonctions logarithmiques:

$$s_i = a \cdot \log(x_i) + b$$

On démontre mathématiquement (Tiberghien, 1984; Bonnet, 1986) que cette fonction logarithmique est contenue dans les deux postulats de départ de la théorie. La validité des échelles ainsi construites dépend donc de la validité de ces deux postulats. Or, pour la plupart des dimensions sensorielles étudiées, la loi de Weber, lorsqu'elle est valide, n'est vérifiée que pour les valeurs moyennes du stimulus. Le rapport de Weber ( $\Delta x/x$ ) augmente considérablement pour les fortes intensités, et lorsque l'on se rapproche du seuil absolu. Ceci suppose également que le postulat de Fechner ne se vérifie pas pour les valeurs extrêmes.

Thurstone utilise une méthode de comparaison par paires de l'échantillon des stimuli. La seule réponse demandée aux sujets est un classement des deux stimuli présentés. La construction de l'échelle fait appel comme précédemment à un calcul probabiliste. Il s'agit donc d'une méthode indirecte, comme celle de Fechner, et basée sur l'imprécision du jugement. Stevens (1968/69) regroupe ces deux méthodes sous la dénomination d'échelles de confusion. Les échelles thurstoniennes sont par ailleurs très proches des échelles fechneriennes (Bovet, 1969). Elles permettent en outre d'appréhender des distributions de stimuli sans métrique évidente, comme les attitudes ou le jugement esthétique.

## 5.2. L'ESTIMATION DIRECTE DES SENSATIONS.

Stevens (1968/69) va développer de nouvelles méthodes en psychophysique en introduisant de nouveaux postulats. Il réalise une distinction entre deux types de dimensions sensorielles:

-Les *continuums métathétiques*, correspondant à des variations qualitatives, comportant un changement du siège de l'excitation au niveau physiologique (par exemple, la hauteur des sons, ou la tonalité chromatique). Ces continuums obéiraient au postulat de Fechner.

-Les *continuums prothétiques*, correspondant à des variations quantitatives, relevant d'une modification additive de l'excitation (par exemple, l'intensité sonore). Dans ce cas, si Stevens reconnaît la validité de la loi de Weber, il postule que le jnd n'est pas une grandeur subjective constante, mais croît proportionnellement à la grandeur de la sensation.  $h$  étant une constante,

$$\delta(s)/s = h \quad (3).$$

Tout comme les postulats de Fechner menaient logiquement à une fonction logarithmique, on démontre que les deux postulats retenus par Stevens pour les continuums prothétiques conduisent à une fonction psychophysique de type puissance:

$$s_i = a \cdot x_i^b$$

Ces postulats retenus par Stevens et par suite les méthodes de construction des échelles qu'il a développées et que nous exposerons plus bas semblent découler logiquement de la théorie de la mesure qu'il a proposée par ailleurs (Stevens, 1968/1969). S'insurgeant contre l'idée ancienne que mesurer, c'est compter, il estime que le système numérique est un modèle comprenant plusieurs sortes, ou plutôt plusieurs niveaux de règles. La mesure est le fait d'attribuer des nombres à des objets ou à des événements, en suivant une règle rigoureuse. Puisqu'il y a différentes sortes de règles, il y a différentes sortes de mesure. La mesure sera possible quand il y aura isomorphisme entre les relations empiriques des objets et les relations formelles des nombres. A cette condition, les secondes servent de modèle pour les premières.

Stevens décrit quatre niveaux de propriétés empiriques des objets pour lesquelles les nombres peuvent servir de modèles.

*L'identité:* les nombres étiquettent des objets ou des classes d'objets. Les seules opérations empiriques possibles sont les relations d'égalité et d'inégalité entre les objets. La Classification Périodique des Eléments est une échelle de mesure de ce niveau (échelle nominale).

*L'ordre:* les nombres représentent les objets selon leur rang. Les opérations de détermination du rang (inférieur à, supérieur à) sont possibles. L'échelle de dureté des minéraux est un exemple de ce type de mesure (échelle ordinale).

*Les intervalles:* les nombres peuvent servir à représenter les différences ou les distances entre les éléments. On obtient des échelles de classement à intervalles égaux. Les opérations de détermination de l'égalité des intervalles et des différences sont possibles. Les échelles de température Celsius et Fahrenheit sont de ce niveau.

*Les rapports:* les nombres peuvent servir à représenter les rapports entre éléments. La détermination de l'égalité des rapports est possible. Ces échelles se distinguent des précédentes par l'apparition d'une origine, d'un zéro absolu. L'échelle Kelvin de température est une échelle de rapport.

Ces échelles sont nettement hiérarchisées, notamment en fonction du type et de la qualité des informations qu'elles peuvent procurer. Ainsi, au niveau des traitements statistiques que permettent les différents niveaux de règles, on peut proposer le résumé suivant (figure 5.1.).

Echelle	Statistiques permises
Nominale	Nombres de cas Mode Corrélation de contingence
Ordinale	Médiane Percentiles Corrélation d'ordre
D'intervalles	Moyenne Ecart-type Coefficient de corrélation
De rapports	Moyenne géométrique Moyenne harmonique Variation relative

Figure 5.1. Les différents niveaux de mesure (d'après Stevens, 1968/69, et Tiberghien, 1984).

Un autre aspect important relève de la nature des transformations qu'une échelle peut supporter sans qu'il y ait perte d'information, c'est à dire de manière à ce qu'elle conserve son niveau de propriétés. Ainsi, une échelle nominale peut supporter toute substitution terme à terme. Une échelle ordinale supportera toute transformation préservant l'ordre. Au niveau des échelles d'intervalles, ne sera permise que la multiplication par une constante avec addition d'une constante ( $y = ax + b$ ). Cette transformation conserve l'égalité des intervalles et des différences. Quant aux échelles de rapports, seule la multiplication par une constante est permise ( $y = ax$ ). Ceci conserve l'égalité des rapports et maintient le zéro absolu.

Les échelles de rapports représentent donc le niveau le plus intéressant, parce que le plus utile. Le projet de Stevens est donc de construire des échelles de rapports pour la mesure des sensations:..."grâce à elles nous pourrions dire de quelle façon une grandeur sensorielle croît avec le stimulus. Les nombres sur cette échelle nous permettraient de spécifier par exemple quand une sensation est deux fois plus intense qu'une autre" (Stevens, 1968/69).

Soient quatre intensités du stimulus  $x_1, x_2, x_3, x_4$ , et les sensations correspondantes  $s_1, s_2, s_3, s_4$ . Selon les postulats retenus par Fechner, on montre que si

$$x_1/x_2 = x_3/x_4$$

alors  $s_1 - s_2 = s_3 - s_4$

A des variations géométriques de  $x_i$  correspondent des variations arithmétiques de  $s_i$ . La seule information que l'échelle peut donner est l'égalité des différences. Les échelles fechneriennes sont au mieux des échelles d'intervalles. Par contre, dans le cas des postulats de Stevens, si

$$x_1/x_2 = x_3/x_4$$

alors  $s_1/s_2 = s_3/s_4$

Aux variations géométriques de  $x_i$  correspondent des variations géométriques de  $s_j$ . C'est à dire que *des rapports égaux entre stimuli produisent des rapports subjectifs égaux* (Stevens, 1968/69). L'échelle des sensations est donc bien une échelle de rapports.

Stevens a donc mis au point des méthodes permettant de s'assurer de la correspondance des variations géométriques. Nous en examinerons quatre:

- La méthode de production de rapports,
- La méthode d'estimation des grandeurs,
- La méthode d'estimation des rapports,
- La méthode d'égalisation inter-modalités.

La méthode de production de rapport ou méthode de fractionnement consiste, par rapport à un stimulus étalon  $x_1$ , à ajuster un stimulus de comparaison  $x_2$  de manière à ce qu'il semble être avec  $x_1$  dans un certain rapport. Les rapports les plus fréquemment demandés sont la moitié ou le double. Cette méthode suppose que l'intensité du stimulus soit manipulable aisément par le sujet.

Dans la méthode d'estimation des grandeurs, on désigne dans la série de stimuli à estimer un stimulus étalon, auquel on attribue une cotation arbitraire. Le sujet doit alors coter chaque stimulus de la série, dans une logique de rapport. C'est-à-dire que si l'étalon est coté 10 et que le stimulus présent semble deux fois plus intense, on attribuera la cotation 20. Pour la construction de l'échelle, la valeur scalaire du stimulus  $x_i$  sera la moyenne des cotations attribuées à ce stimulus par les différents sujets. On peut également laisser à chaque sujet le libre choix de la valeur attribuée à l'étalon. Il faut alors ramener les échelles individuelles à une même origine par une transformation linéaire.

On a pu montrer que le choix du modulus n'était pas neutre dans les résultats obtenus. Ainsi, un modulus central donne un exposant plus important qu'un modulus situé à une des extrémités du continuum (Bonnet, 1969). Bonnet (1986) préconise néanmoins d'utiliser l'intensité la plus faible du continuum, les sujets maîtrisant mieux les rapports multiplicatifs que les fractions.

La méthode d'estimation des rapports est une généralisation de la précédente. Chaque stimulus de la série sert tour à tour d'étalon et de stimulus de comparaison. Les stimuli sont présentés par paire. Une cotation est attribuée à l'étalon (par exemple, 10) et le sujet doit coter le second stimulus dans une logique de rapport. On construit alors une matrice des résultats sous la forme suivante, chaque  $s_{ij}$  étant la moyenne des estimations formulées par le groupe des sujets pour le stimulus  $x_j$  rapporté au stimulus  $x_i$  (cf. figure 5.2.).

Il est possible, dans le cas de plans expérimentaux particulièrement lourds, de ne construire qu'une demi-matrice. La seconde moitié peut être reconstituée ultérieurement, sachant que théoriquement,  $s_{ij} = 1/s_{ji}$ .

Diverses méthodes ont été proposées pour la construction de l'échelle. La plus simple est celle de Ekman (Bonnet, 1968/69). Après avoir calculé pour chaque  $x_i$  la somme des  $s_{ij}$  ( $\tilde{\sigma}_{ij}$ , somme de la ligne) et la somme des  $s_{ji}$  ( $\tilde{\sigma}_{ci}$ , somme de la colonne), on fait le rapport des deux

sommes et on prend la racine carrée:

$$s_i = \sqrt{(\delta_{li} / \delta_{ci})}$$

Stimulus	$x_1$	$x_2$	.. $x_i$	.. $x_j$	.. $x_n$	
$x_1$	$s_{11}$	$s_{12}$	.. $s_{1i}$	.. $s_{1j}$	.. $s_{1n}$	$\Sigma_{11}$
$x_2$	$s_{21}$	$s_{22}$	.. $s_{2i}$	.. $s_{2j}$	.. $s_{2n}$	$\Sigma_{12}$
$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$
$x_i$	$s_{i1}$	$s_{i2}$	.. $s_{ii}$	.. $s_{ij}$	.. $s_{in}$	$\Sigma_{li}$
$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$
$x_n$	$s_{n1}$	$s_{n2}$	.. $s_{ni}$	.. $s_{nj}$	.. $s_{nn}$	$\Sigma_{ln}$
	$\Sigma_{c1}$	$\Sigma_{c2}$	.. $\Sigma_{ci}$	.. $\Sigma_{cj}$	.. $\Sigma_{cn}$	

Figure 5.2. Matrice des résultats dans la méthode d'estimation des rapports (d'après Bonnet, 1986).

On a fait l'objection que les méthodes précédentes étaient trop dépendantes du comportement numérique des sujets, c'est-à-dire de la façon dont ils utilisaient le calcul algébrique. Stevens a alors proposé une méthode éliminant le problème des estimations numériques, la méthode d'égalisation inter-modalités. Il s'agit, par rapport à un stimulus quelconque  $x$ , de demander au sujet de produire une grandeur sensorielle équivalente, par exemple en force apparente, en serrant un dynamomètre à main.

Soit  $s = a \cdot x^b$  la fonction psychophysique de la modalité étudiée, et  $s' = a' \cdot x'^{b'}$  la fonction de la modalité de comparaison.

Réaliser des égalisations intermodales revient à poser:

$$s = s'$$

donc  $a \cdot x^b = a' \cdot x'^{b'}$

d'où  $x = (a'/a)^{1/b} \cdot x'^{(b/b')}$

ou  $x = c \cdot x'^{(b/b')}$

ou encore  $\log(x) = (b/b') \log(x') + \log c$

C'est-à-dire que sur des coordonnées bi-logarithmiques, les deux échelles de stimulus doivent être liées par une fonction linéaire. Connaissant la pente de cette fonction ( $b/b'$ ) et l'exposant de la fonction de comparaison ( $b'$ ), on peut calculer l'exposant de la fonction étudiée ( $b$ ).

Dans certains cas, il peut être intéressant de pouvoir construire ces échelles de rapports sans avoir recours à un module (par exemple, si le plan expérimental est tel qu'un intervalle de temps trop élevé séparerait l'expérience du module et l'expérience de certains stimuli). Une méthode a été mise au point par Borg (1974) pour résoudre ce problème. Tout le travail

méthodologique de Borg (voir chap. 5.3. et chap. 7.1.2.) est basé sur un postulat selon lequel l'intensité perceptive maximale peut être considérée comme équivalente pour tous les individus et pour toute modalité sensorielle, même si l'intensité correspondante du stimulus peut considérablement varier d'un sujet à l'autre. Cette intensité perceptive maximale va servir en quelque sorte de modulus absolu. Ce maximum étant équivalent quelque soit la modalité sensorielle considérée, Borg choisit de présenter la notion aux sujets au travers d'une modalité connue de tous, et éliminant les influences de l'apprentissage ou de la fatigue: il s'agit du goût, et plus particulièrement de l'acidité (sourness). On va demander aux sujets d'exprimer leurs sensations en pourcentages de ce maximum, c'est à dire que quelque soit le type de continuum étudié (Borg travaille à ce sujet sur la perception de l'effort), on demande aux sujets de préciser le pourcentage que représente le stimulus présent, par rapport à un maximum dans cette modalité, qui serait équivalent au niveau perceptif à la sensation maximale d'acidité. Borg montre que l'échelle ainsi construite, qu'il baptise "SOUR-scale", est une échelle de rapport d'exposant équivalent à ceux obtenus avec les méthodes directes classiques.

La fonction puissance est caractérisée par son exposant et sa constante multiplicative. A cet égard, certains auteurs (par exemple Galanter et Messick, 1961; Borg, 1962) suggèrent l'application d'une seconde constante, ajoutée à la variable indépendante:

$$s = a.(x + c)^b.$$

Ce type de fonction permet un ajustement plus précis que la fonction originale de Stevens. Cette constante c pourrait être reliée au seuil absolu (Bonnet, 1969).

On note généralement une grande variabilité dans les valeurs individuelles des exposants et constantes (Bonnet, 1969). On tentera plus loin d'en envisager les causes. L'exposant est également sensible aux conditions expérimentales (Bonnet, 1969): il varie avec l'*étendue dynamique du stimulus* (on peut définir cette étendue comme le rapport entre le seuil maximal et le seuil absolu), avec le nombre de stimuli et l'écart entre deux stimuli, avec la position de l'étalon sur le continuum (il est plus élevé si l'étalon a une position centrale). Il semble en outre que la valeur de cet exposant soit plus stable lorsqu'il est plus éloigné de l'unité, c'est à dire quand la fonction de puissance est une approximation bien meilleure qu'une fonction linéaire (Bonnet, 1969).

### 5.3. LES ECHELLES DE COTATIONS.

On parle également d'échelles de partition (Stevens, 1968/69) ou d'échelles de catégories. Dans ces méthodes, le sujet doit attribuer directement une valeur subjective à chaque stimulus de la série. Explicitement ou implicitement, le sujet doit baser ses estimations sur une échelle d'intervalles subjectivement égaux, définie à l'avance (rating scale). Nous nous intéresserons plus particulièrement à la méthode des jugements absolus, pour laquelle les sujets jugent les stimuli un par un, selon une échelle à catégories limitées. Dans ce cadre, absolu s'oppose à comparatif et non à relatif (Bovet, 1968/69).

Les échelles utilisées s'apparentent aux échelles de Lickert, utilisées en psychologie sociale pour la mesure des attitudes. Par exemple:

4. Tout à fait d'accord.
3. En partie d'accord.
2. Plutôt en désaccord.
1. Tout à fait en désaccord.

Une des plus connues est la *RPE scale* de Borg (1970a), pour la perception de l'effort, que nous étudierons précisément plus loin (figure 5.3.).

6	
7	<b>Very, very light</b>
8	
9	<b>Very light</b>
10	
11	<b>Fairly light</b>
12	
13	<b>Somewhat hard</b>
14	
15	<b>Hard</b>
16	
17	<b>Very hard</b>
18	
19	<b>Very, very hard</b>
20	

Figure 5.3.: RPE scale de Borg (1970a), pour la perception de l'effort.

On relève pour chaque stimulus la distribution des valeurs qui lui sont attribuées sur le continuum subjectif soit au cours d'essais successifs, soit pour des sujets différents. Les valeurs scalaires retenues pour la construction de l'échelle sont les tendances centrales de chacune de ces distributions.

L'échelle psychophysique obtenue ne peut dépasser le niveau des échelles d'intervalles. Encore faut-il que les sujets soient capables de maintenir égaux les intervalles subjectifs entre les échelons successifs. Ainsi, Gamberale (1985) estime que la RPE scale est de niveau ordinal. Dans ce sens, on peut se demander s'il est valide de décrire une fonction psychophysique entre l'échelle des stimuli, supposée être une échelle de rapport, et une échelle ordinale des sensations. De nombreux auteurs se risquent néanmoins à cet exercice (voir par exemple Borg et coll., 1987).

La fonction psychophysique obtenue est de toutes façons très largement dépendante de la construction des catégories. Divers travaux ont porté sur le nombre de catégories (Hallsten et Borg, 1975) et le type de label à utiliser (Borg, 1970a). Ainsi la RPE scale est conçue pour déboucher sur une relation linéaire entre l'effort objectif et l'effort perçu (Borg, 1970a). Le principe de Borg est d'étiqueter la première catégorie du label "rien du tout" ou "extrêmement léger", la plus haute catégorie "maximal", et de répartir ensuite symétriquement des labels progressifs de "léger" et d'"intense" autour de la catégorie médiane, elle-même étiquetée "moyen" ou "modéré". Borg (1982a, 1982b) montre par ailleurs que l'on peut, par un arrange-

ment particulier des labels, créer une échelle de catégorie donnant des résultats similaires aux méthodes d'estimation des rapports (figure 5.4.).

0	Nothing at all	
0.5	Extremely weak	(just noticeable)
1	Very weak	
2	Weak	(light)
3	Moderate	
4	Somewhat strong	
5	Strong	(heavy)
6		
7	Very strong	
8		
9		
10	Extremely strong	(almost maximal)
*	Maximal	

Figure 5.4.:La CR scale de Borg (1982).

Poulton (1979) montre qu'il existe une tendance à utiliser toute la marge de réponse possible. Ce point semble primordial pour guider la construction d'échelles de catégorie, dans une perspective clinique. D'une manière générale, les fonctions décrites avec ces échelles de cotation tendent à être logarithmiques pour les continuums prothétiques et linéaires pour les continuums métathétiques (Bonnet, 1986).

#### 5.4. RELATIONS ENTRE LES DIFFERENTS TYPES D'ECHELLES.

On a compris que le type de fonction obtenue dépend de la méthode de construction de l'échelle, et des théories psychophysiques sous-jacentes. En fait, toutes ces échelles sont des outils valides de mesure, dans le contexte des questions auxquelles elles sont aptes à répondre. Ainsi, selon Gescheider (1988), les échelles de rapports constituent des mesures valides de la grandeur des sensations. Les échelles de catégories permettraient quant à elles de mesurer la discriminabilité des sensations. Borg, introduisant la RPE scale dans le domaine de la perception de l'effort, estime que les échelles de rapports sont utiles si l'on veut étudier les rapports entre la charge de travail et l'effort perçu. Par contre, les échelles de catégories permettent d'identifier différentes intensités de travail ou de faire des comparaisons interindividuelles (Borg, 1978). Cette utilisation possible dans les études différentielles font de l'échelle de catégorie un outil incontournable pour l'approche clinique (Borg et Noble, 1974; Borg, 1974).

La validité de ces fonctions reste évidemment liée à leurs relations réciproques. A ce sujet, quelques invariants ont pu être mis en évidence. Les échelles fechnériennes ou thurstoniennes sont une transformation logarithmique des échelles directes (Galanter et Messick, 1961; Ekman et Künnapas, 1962; Stevens, 1968/69). En ce qui concerne les continuums prothétiques, les échelles de cotation semblent également être une transformation

logarithmique des échelles de rapports correspondantes (Eisler, 1962; Bonnet, 1986). Bonnet (1986) fait remarquer que cette relation logarithmique sera également obtenue si l'échelle de catégorie n'est pas elle-même logarithmique mais linéaire. Cette relation est logique entre deux échelles qui sont, par construction, arithmétique d'un côté, géométrique de l'autre. Cette propriété permettra à Borg (1987) de montrer que l'on peut, à partir d'une échelle de catégories, reconstituer une échelle de rapports en appliquant à la première une transformation exponentielle (ce procédé allant à l'encontre de la théorie classique de la mesure développée par Stevens, stipulant qu'on ne peut remonter dans la hiérarchie des systèmes de mesure):

$$R = k.a^{(C-d)} + b,$$

R représentant l'échelle de rapport, et C l'échelle de catégorie.

Piéron (1963) défend ardemment la loi logarithmique de Fechner. Son principal argument est que de nombreux résultats expérimentaux montrent qu'il existe une relation de ce type entre l'intensité du stimulus et les réponses périphériques (réponses physiologiques des récepteurs). Or on peut en effet supposer que les échelles de confusion, fechneriennes et thrustonniennes, rendent compte des processus à ce niveau. Stevens, on l'a vu, assimile sensation et réponse numérique du sujet. On peut en fait distinguer deux types de transformations (Gescheider, 1988), la première liant l'intensité du stimulus à la grandeur de la sensation:

$$s = f_1(x).$$

La seconde lierait cette sensation à la réponse numérique donnée par le sujet:

$$r = f_2(s).$$

Dans ce cadre, la fonction puissance de Stevens décrirait une relation  $f_3$ :

$$r = f_3(x) = f_2(f_1(x)).$$

En assimilant réponse du sujet et sensation, Stevens faisait donc le postulat implicite que  $f_2$  était linéaire:

$$r = f_2(s) = a.s$$

Si l'on donne pour hypothèses

$$r = a.x^b$$

et  $s = f_1(x) = c.\log x + d$  (fonction fechnerienne)

on a  $x = (r/a)^{1/b} = e^{(s-d)/c}$

d'où  $r = \alpha.e^{\beta s}$

avec  $\alpha = a/e^{(bd/c)}$  et  $\beta = b/c$

Le processus central qui donne naissance à la réponse subjective serait donc une

fonction antilogarithmique du processus périphérique (Ekman, 1961, cité par Bonnet, 1969). La dernière équation pourrait également s'écrire:

$$s = \tau \cdot \log r + \delta$$

avec  $\tau = 1/\beta$  et  $\delta = (\log(1/\alpha))/\beta$

C'est à dire que la grandeur psychologique des nombres serait une fonction logarithmique des nombres réels. Dans ce cadre, la loi puissance de Stevens ne serait qu'un cas particulier de la loi de Fechner, due à l'association de deux transformations logarithmiques. Ce point de vue est défendu notamment par Ekman (1964) et Wendt (1982, cité par Gescheider, 1988). Dans ce cadre interprétatif, la validité d'une échelle psychophysique ne peut être établie que par l'examen de la prédiction possible des réponses des sujets à partir des théories des processus cognitifs et sensoriels.

Ce modèle a deux étapes peut se révéler particulièrement heuristique dans l'approche de certains problèmes méthodologiques. On l'a évoqué précédemment, la distribution des exposants individuels obtenus en estimation de grandeurs présente une forte variance (Bonnet, 1969). Néanmoins, les exposants individuels sont relativement stables si l'on répète l'expérience. D'autre part, les exposants individuels obtenus pour différentes modalités corréleront fortement. Des erreurs systématiques semblent donc exister, d'une modalité à l'autre. Une source importante de variation viendrait donc du comportement numérique des sujets, c'est à dire de la transformation  $f_2$  (Gescheider, 1988). Le relatif succès de la méthode d'égalisation inter-modalité de Stevens vient néanmoins moduler cette affirmation (voir plus haut, chap. 5.2.).

L'étroite dépendance des fonctions obtenues avec les postulats retenus pour fonder la démarche méthodologique amène Tiberghien (1984) à formuler l'hypothèse suivante: si l'on a le choix d'un côté entre le postulat de Fechner et celui de Stevens, et d'autre part entre la loi de Weber et une autre loi qui stipulerait que le seuil sensoriel n'est pas proportionnel à la valeur du stimulus mais reste constant ( $\Delta x = k$ ), on obtient alors quatre possibilités d'élaboration théorique, qui déboucheront chacune sur des fonctions psychophysiques différentes (figure 5.5.).

		Stimulus	
		$\Delta x = k$	$\Delta x/x = k$ (Weber)
Sensation (ou réponse)	$\Delta s = c$ (Fechner)	$s = (c/k) \cdot x - c_1$ fonction linéaire ( $c_1 = (c/k) \cdot x_0 - s_0$ )	$s = (c/k) \cdot \log x - c_2$ fct. logarithmique (Fechner) ( $c_2 = (c/k) \cdot \log x_0 - s_0$ )
	$\Delta s = h \cdot s$ (Stevens)	$s = c_3 \cdot e^{(h/k) \cdot x}$ fct. exponentielle ( $c_3 = s_0 \cdot e^{-(h/k) \cdot x_0}$ )	$s = c_4 \cdot x^{(h/k)}$ fonction puissance (Stevens) ( $c_4 = s_0 \cdot (1/x_0)^{h/k}$ )

Figure 5.5.: Fonctions psychophysiques envisageables à partir des différents postulats (d'après Tiberghien (1984)).

A ce point du développement, on aura compris que derrière l'illusoire simplicité des résultats de la psychophysique se cachent de complexes élaborations théoriques, et que la plupart des modèles en restent au niveau de l'hypothèse. Et encore n'avons nous pas évoqué la nature du stimulus, qui dans le cadre de notre étude n'ira pas sans poser problème.

## 5.5. DIFFICULTE ET PSYCHOPHYSIQUE.

Bovet (1968/69), décrivant les stimuli pris en compte dans les expériences de jugements absolus, précise qu'ils "sont constitués par des éléments parfaitement décrits physiquement [...] et ne différant entre eux que par la valeur d'un seul attribut (intensité lumineuse, fréquence sonore, poids, surface, etc..). Notons que sont ainsi éliminés, d'une part, les variations multidimensionnelles, constituant les ensembles de stimuli utilisés dans les expériences d'identification de concept, par exemple, et, d'autre part, les ensembles d'objets non structurés à priori, donnant lieu à des construction d'échelles de préférence esthétique". Bonnet (1969) précise, à propos des méthodes directes, que l'unidimensionnalité est une condition nécessaire à la validité de l'échelle moyenne des réponses. Il est vrai que la psychophysique s'est constituée autour de dimensions sensorielles simples et unitaires. En regard, la difficulté apparaît essentiellement complexe et multivariée. Dans ce cadre, on peut se demander s'il est valide d'entreprendre une démarche psychophysique à son égard.

Borg (1962) semble avoir été le premier à considérer qu'il était possible d'utiliser ces méthodes pour traiter des dimensions plus complexes, et notamment l'effort physique. Pour audacieuse qu'elle fût, cette approche ne posait pas de problèmes majeurs, le stimulus, c'est-à-dire la charge de travail, étant aisément quantifiable, mesurable et expérimentalement manipulable. Dès 1962, Borg envisage une application possible à la difficulté, et une série d'expériences sera réalisée dans ce sens dans les années soixante-dix par le Département de Psychologie de l'Université de Stockholm (pour une revue, voir Borg, Bratfisch et Dornic, 1971a). Nous aurons l'occasion plus loin de revenir par le détail sur ces travaux. Portant successivement sur des tâches motrices et mentales, ils n'ont pas apporté de résultats convaincants. Au gré des expériences, la relation entre difficulté objective et subjective apparaît tour à tour de type linéaire, logarithmique ou exponentielle, ce qui amènera les auteurs à supposer l'intervention de contaminations secondaires, dues à la structure de la tâche, voire à douter même de la pertinence du concept de difficulté (Borg, Bratfisch et Dornic, 1971a, 1971b, 1971c). Ce qui surprend à l'examen de ces travaux, ce sont les problèmes que semblent rencontrer les auteurs pour définir et mesurer la difficulté objective. Dans certains cas, ils utilisent des standards de performance (pourcentages de succès ou d'échecs), relevées dans des échantillons étendus, distincts des groupes expérimentaux (Borg et Forsling, 1964). Ces standards sont alors sensés caractériser le niveau de contrainte imposé par la tâche. Dans d'autres, ce sont encore des variables de performance qui sont utilisées, mais il s'agit cette fois de la performance des sujets eux-mêmes (Bratfisch, Dornic et Borg, 1970). Ce n'est plus la tâche elle-même qui sert de critère, mais le comportement du groupe expérimental. Dans d'autres cas encore, la difficulté objective est inférée des caractéristiques intrinsèques de la tâche (Borg, Bratfisch et Dornic, 1971b, 1971c), sans pour autant que le critère retenu ne fasse l'objet d'hypothèses quant à sa pertinence pour décrire linéairement l'accroissement de la difficulté objective.

Ce qui ressort clairement de ces travaux, c'est que si la psychophysique s'applique classiquement à décrire la relation entre une échelle connue des stimuli et une échelle

construite des sensations, dans le cas de la difficulté, on risque de se trouver en face d'une équation complexe à deux inconnues, dont la solution passera nécessairement par un postulat préliminaire quant à la nature de l'une d'entre elles, postulat que l'on tentera de valider à posteriori à la lumière des vraisemblances apportées par les diverses théorisations psychologiques et psychophysiques.

A ceci va s'ajouter le problème de la multidimensionnalité de la "difficulté". On l'a précédemment évoqué, au niveau des tâches complexes, et notamment sportives, les différentes dimensions que nous avons isolées vont se combiner, sans doute interférer dans un sentiment global de difficulté, encore hypothétique. Expérimentalement, ces différentes dimensions peuvent assurément être dissociées, isolées dans des tâches de laboratoire. Les travaux de Borg sur l'effort physique en sont un exemple. Dans un premier temps, c'est dans cette approche unidimensionnelle que nous tenterons d'avancer prudemment. Mais cette première étape ne devra représenter qu'un détour méthodologique, une mise au point d'outils de travail permettant d'appréhender les tâches motrices dans toute leur complexité. Nous nous limiterons néanmoins à l'examen du fonctionnement de dimensions couplées, en tentant pourtant de retrouver à ce niveau une relative pertinence écologique.

Car en psychophysique, et peut être plus encore que dans d'autres disciplines, les effets de contexte semblent avoir une importance primordiale. Déjà au niveau des travaux portant sur les stimuli simples, on relève couramment l'extrême sensibilité des résultats aux conditions de passation. Il est courant de ne trouver aucune relation entre deux échelles construites à partir des mêmes stimulus, dans des contextes différents. A l'égard des dimensions qui nous intéressent, faisant appel de la part des sujets à une expérience intime infiniment plus complexe qu'une simple réponse périphérique, on ne saurait isoler impunément perception et cognition (Rejeski, 1985). On verra que la perception de l'effort a été le lieu de recherches fructueuses sur les effets de contexte. Dans ce cadre, on a vu qu'une des dimensions que nous avons retenues, le risque, appartenait davantage au contexte situationnel qu'à la tâche stricto sensu. L'expérience s'y rapportant sera une contribution à cette nécessaire approche des effets de contexte, que nous comptons poursuivre dans des recherches ultérieures (cf. Expérience 1, Annexe 1).

Dans ce panorama rapide de la psychophysique, nous avons volontairement laissé de côté un aspect important et très développé actuellement: il s'agit des méthodes dérivées de la théorie de la détection du signal. Cette exclusion est surtout d'ordre méthodologique. Les démarches de détection du signal nécessitent des modulations fines de l'intensité du stimulus. Elles ont pu être employées dans le cadre de la perception de l'effort (Blitz et Van Moorst, 1978). Mais en ce qui concerne la difficulté informationnelle, notre problème premier résidant dans l'identification même du stimulus, on comprendra qu'une telle méthode manquait de pertinence immédiate.

LE RISQUE.

L'opérationnalisation du risque objectif se réfère généralement aux modèles probabilistes dérivés de la théorie de la décision (Atkinson, 1957; Robaye, 1963; Oppe, 1988). Or, dans les situations sportives, il est impossible de préciser les probabilités des diverses éventualités, comme on pourrait le faire pour un jeu de pur hasard (Lambert, 1969). Le risque, s'il est lié aux caractéristiques objectives de la situation, va dépendre également de l'habileté du pratiquant et de l'adéquation du comportement qu'il va adopter. Il en va de même pour la valence de l'échec éventuel, et notamment en ce qui concerne le risque corporel. La gravité d'un possible accident est liée à l'habileté spécifique du sujet, relative aux comportements de sécurité qu'il peut mettre en oeuvre le cas échéant (Delignières, 1990).

Le risque subjectif apparaît comme un puissant médiateur du comportement adopté. A ce niveau il convient de distinguer deux niveaux d'acceptation: d'une part la dangerosité déclarée, qui correspond à un étiquetage verbal des situations, et qui peut être envisagée sans lien essentiel avec la mise en activité du sujet. Roche (1988) montre combien cette construction attitudinale peut relever de fonctionnements irrationnels et fatalistes. D'autre part il faut considérer le risque subjectif en tant que variable fonctionnelle, dont la mesure n'est pas évidente, si ce n'est en analysant son influence sur les comportements. Howarth (1988) relève cette dichotomie entre attitude et comportement en ce qui concerne la conduite automobile.

On l'a vu précédemment, les définitions du risque objectif combinent de manières diverses probabilités d'occurrence et valences des éventualités. l'étude du risque subjectif permet-elle de trancher pour l'une ou l'autre définition? L'étude d'Howarth (1988) semble montrer, pour la conduite automobile, que l'attitude socialement affirmée est basée sur la valence des accidents possibles, c'est-à-dire que la conduite est considérée comme hautement dangereuse. A contrario, le risque réellement pris en compte par les conducteurs semble déterminé principalement par les probabilités d'occurrence: ils agissent comme si les risques étaient très limités. Howarth note que ces décalages se retrouvent surtout au niveau de conduites familières et automatisées. Ce résultat concorde avec ceux de Robaye, Hubert et Decroly (1963): si les polyaccidentés de la route ne divergent pas fondamentalement des autres conducteurs dans l'estimation de la gravité éventuelle des accidents, ils en sous-estiment significativement les probabilités d'occurrence.

A l'inverse, Blomart (1963) montre que le comportement des sujets, dans une situation de travail inhabituelle à risque économique, est davantage influencé par la valence des accidents que par leur probabilité d'occurrence. Robaye, Hubert et Decroly (1963) démontrent également que les sujets polyaccidentés du travail ont tendance à minimiser la valence négative des incidents, quant a contrario ils déclarent que l'accident est un phénomène

fréquent.

On peut donc conclure provisoirement en disant que le risque subjectif, en tant que variable décisive du choix d'un comportement, semble dériver de la valence dans les situations nouvelles, et de la probabilité d'occurrence dans les situations familières. L'installation de l'expertise entraînerait une mutation progressive, dans une logique de balance, du "stimulus objectif".

Le risque subjectif doit évidemment être lié au concept de prise de risque. Robaye (1963) s'intéresse plus particulièrement aux comportements des sujets engagés dans des situations dangereuses. Selon l'auteur, "l'accident est l'aboutissement plus ou moins probable, plus ou moins grave, d'un épisode comportemental amorcé en vue d'atteindre un but". Un comportement est dangereux s'il rend l'accident possible. Ceci demande l'examen des variables de personnalité qui facilitent le choix de comportements dangereux.

Le choix d'un comportement de but sera fonction de

- la valence du but,
- la valence relative des différents comportements possibles,
- la valence des accidents possibles,
- la probabilité d'atteinte du but.

Ces différentes variables étant comprises comme des estimations personnelles du sujet. Ce dernier choisira le comportement pour lequel cette fonction sera maximale.

La valence des accidents possibles nous intéressera ici plus particulièrement. Selon l'auteur, on peut distinguer trois types de situations, en fonction du degré de gravité perçue: les conséquences pourront être estimées comme bénignes, graves ou inconnues. Le premier type de situation entraîne un comportement dangereux, ce qui est rationnel au sens de la théorie de la décision. Le second entraîne à l'inverse la prudence. Dans le troisième type, les facteurs personnels épuisent la variabilité des comportements.

Certains travaux ont tenté d'en rechercher les systématiques. Roberts (1975) montre que, dans une tâche sexuellement neutre, les hommes prennent plus de risque que les femmes. Par ailleurs, en développant le modèle d'Atkinson (cf. partie 4.2.), selon lequel la prise de risque est un corrélat de la motivation, résolu autour de la résolution du conflit entre deux motifs: l'accomplissement et l'évitement, l'auteur montre que les sujets caractérisés par l'accomplissement choisissent des risques moyens, alors que les autres optent pour des risques faibles ou élevés (Roberts, 1975). Robaye (1963) et Blomart (1963) insistent sur l'influence de l'attitude optimiste ou pessimiste des sujets dans le choix d'un comportement, surtout si la valence de l'accident est inconnue. Bouet (1968) relève au niveau motivationnel les sources susceptibles de générer la prise de risque en sport, et notamment le besoin d'affirmation de soi, et le besoin de domination de la peur.

L'influence du partenariat a également été investiguée. D'une manière générale, les groupes apparaissent plus risqués que les individus (Zaleska, 1969). L'auteur invoque des facteurs tels que la valorisation sociale du risque, la dilution de la responsabilité, ou l'influence de la majorité. Néanmoins Lambert (1969b) montre que si le groupe adopte une règle de majorité, il se développe un processus d'extrémisation du risque, dont l'amplitude et l'orientation

dépendent uniquement de la position moyenne des individus avant consensus. Le groupe aura tendance à être plus audacieux si ses membres sont audacieux, et plus prudent s'ils sont prudents.

On l'a évoqué précédemment, il convient de dissocier la dangerosité déclarée du risque subjectif, ce dernier ne pouvant guère n'être qu'inféré de son influence sur le comportement. Afin de mieux saisir la logique de cette influence, on peut se demander si les facteurs d'enjeu ou de risque sont susceptibles de modifier l'estimation ou la perception des exigences de la tâche. Harter (1978) en présentant une tâche de résolution d'anagrammes soit comme un jeu, soit comme un travail récompensé, montre qu'à difficulté objective égale (mesurée par le nombre de lettre composant l'anagramme, ou par la performance en terme de temps de réponse), une tâche est jugée plus difficile en condition de travail récompensé qu'en situation de jeu. L'enjeu semble donc "contaminer" le construct cognitif de la difficulté. Dans une logique proche, Durand (1987) montre que des enfants, jusqu'à 9-10 ans, confondent les notions de risque et de difficulté: une tâche d'équilibre est jugée plus complexe si elle se déroule sur un support élevé, alors même que la surface d'appui reste constante et que les enfants perçoivent clairement que la difficulté en dépend.

Expérience 1

Nous avons tenté d'analyser ce processus avec des adolescents, à propos d'une tâche d'escalade (cf. Annexe 1). Les sujets devaient gravir une voie verticale de huit mètres de haut, sur une structure artificielle d'escalade, strictement délimitée de manière à ce que la difficulté objective soit identique pour chacun. Seuls les facteurs de risque varient: le premier groupe gravit la voie assuré du haut, c'est-à-dire qu'en cas d'échec, le grimpeur est immédiatement soutenu par la corde; le second groupe franchit la voie en tête, assuré du bas. En cas d'échec, le sujet risque dans ce cas une chute plus ou moins importante (jusqu'à trois mètres) en fonction de l'éloignement de dernier point d'assurage. Le niveau d'habileté moyen dans les deux groupes est équivalent. Après réalisation de la tâche, on demande aux sujets d'en coter la difficulté, selon une échelle de catégorie en 15 points, dérivée de la RPE scale de Borg (cf. Annexe 1). Les sujets du second groupe donnent des cotations significativement plus élevées que ceux du premier ( $t=2.43$ ,  $p<.05$ , cf. figure 6.1.).

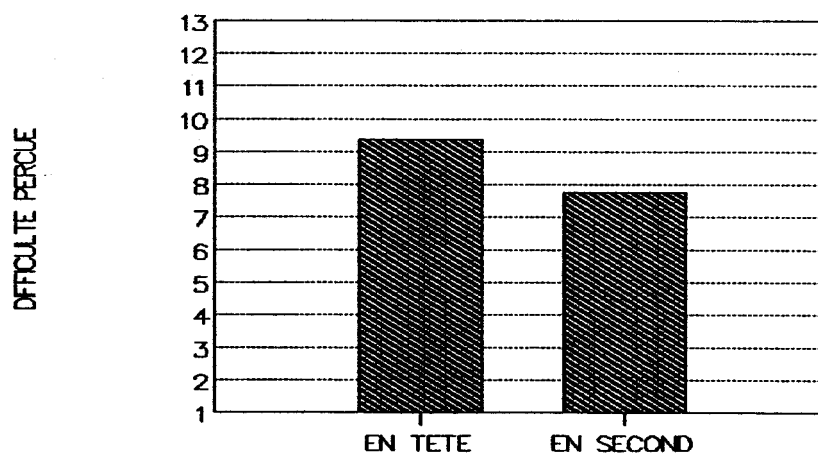


Figure 6.1.: Cotations moyennes des exigences d'une tâche de grimper, en fonction des facteurs de risque.

Le résultat décrit par Durand (1987) ne semble donc perdurer au-delà des limites de son échantillon. Chez des sujets plus âgés, la perception des exigences de la tâche est également contaminée par les facteurs de risque ou d'enjeu. Dupuy (1987) note néanmoins que le risque n'a aucune influence sur les stratégies d'exploration visuelle et le comportement moteur, pour une population de grimpeurs de haut-niveau. L'expertise permettrait donc de maîtriser l'influence des facteurs contextuels, et de centrer l'attention sur les signaux pertinents de la tâche.

### L'INTENSITE.

Si nous envisageons l'étude psychophysique de l'effort avant celle de la difficulté, c'est que la première a d'ores et déjà fait l'objet d'un nombre important de travaux, et représente un corpus de connaissances conséquent. Nous espérons y trouver un appui, tant théorique que méthodologique, pour la suite de nos investigations. Dans un premier temps, nous passerons en revue les travaux réalisés autour de la notion d'effort perçu. Ce domaine, largement investi par les ergonomistes dans une perspective clinique, a également donné lieu à des investigations plus fondamentales. Puis c'est l'estimation de l'intensité des tâches qui retiendra notre attention. La littérature est plus discrète sur ce sujet, et une de nos expérimentations permettra d'y avancer quelques propositions nouvelles.

#### 7.1. APPROCHES PSYCHOPHYSIQUES DE L'EFFORT PERÇU.

Ce champ est largement marqué par les travaux de Gunnar A.V. Borg. C'est lui qui le premier envisagera et réalisera l'application des méthodes de la psychophysique "stevenienne" aux stimuli complexes tels que l'effort physique (Borg, 1962). Mais son oeuvre maîtresse est la mise au point d'une échelle de catégorie, la "RPE scale", dont on donnera un aperçu des applications multiples qu'elle a pu susciter.

##### 7.1.1. CONSTRUCTION D'ECHELLES DE RAPPORTS.

La première étude est réalisée par Borg et Dahlström (1960), et concerne des efforts de courte durée (moins d'une minute), sur bicyclette ergométrique. Les auteurs utilisent la méthode de production de rapports: les sujets produisent un effort d'intensité imposée pendant trente secondes, puis, dans un second temps, en réglant le freinage de l'ergomètre, doivent ajuster l'intensité de l'effort à une fraction donnée de la première intensité (par exemple à la moitié). Les auteurs montrent que l'effort perçu est une fonction positivement accélérée de l'effort objectif, que l'on peut décrire par une fonction puissance d'exposant 1.6. L'utilisation d'autres méthodes, comme l'estimation de grandeurs, ont confirmé la nature de cette relation (Borg, 1962). Une étude similaire est réalisée par Stevens et Mack (1959), sur la force subjective de serrage d'une poignée ergométrique. Les auteurs mettent également en évidence

une fonction puissance, d'exposant 1.7, cohérent avec le précédent.

Borg (1962) a expérimenté également sur les efforts prolongés (de 4 à 6 minutes). Il montre que la fonction puissance d'exposant 1.6 est le meilleur ajustement de la relation entre l'effort objectif (EO) et l'effort perçu (EP), et suggère l'introduction de diverses variables, permettant un ajustement plus performant. La relation prendrait la forme suivante (cf. figure 7.1.):

$$EP = a + c(EO - b)^{1.6}.$$

La constante a est en rapport avec le bruit perceptif résiduel, et décrit avec la constante physique b le point de départ de la courbe.

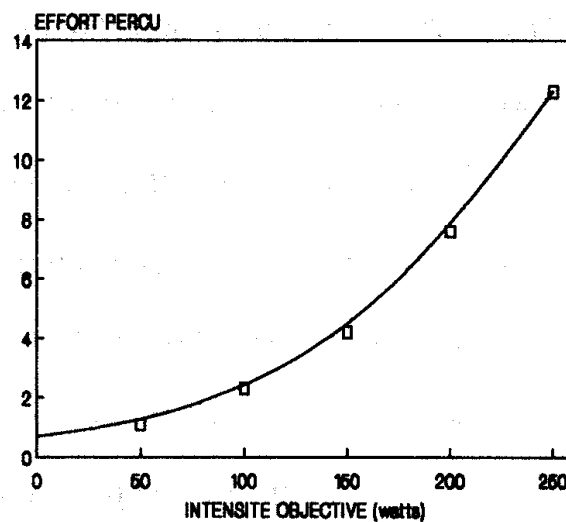


Figure 7.1.: Relation effort objectif-effort perçu, lors d'un travail sur bicyclette ergométrique (d'après Borg et coll., 1987).

Borg a proposé d'autres méthodes, permettant de faire l'économie du recours à une intensité-étalon. Postulant que l'intensité subjective maximale est équivalente pour tous les sujets, il propose une méthode consistant à demander aux sujets d'évaluer chaque effort en pourcentage de cette intensité maximale (Borg, 1974). Il obtient également des fonctions puissance d'exposant 1.6. Enfin, il propose une échelle de catégorie "douée de propriétés de rapports", la "CR scale" (category-ratio scale, cf. chap. 5.3.; Borg, 1982a, 1982b). Cette méthode confirme l'exposant obtenu précédemment. Le type d'effort semble néanmoins avoir une influence sur la valeur de l'exposant. Ainsi, pour la marche, on obtient des exposants plus élevés, de l'ordre de 3 (Borg, 1973; Borg et coll., 1987).

La durée est également un facteur déterminant de l'intensité objective des tâches. Concernant les efforts statiques, Stevens et Cain (1970) décrivent la relation entre l'effort perçu, la force objective (F) et la durée (t) selon l'équation suivante:

$$EP = kF^{1.7}t^{.7}.$$

L'effort subjectif augmente donc plus rapidement avec la force objective qu'avec la durée de contraction. Cafarelli, Cain et Stevens (1977) montrent en ce qui concerne des exercices dynamiques (bicyclette ergonomique et pédalage manuel) qu'à charge constante, l'effort perçu est une fonction puissance du temps, d'exposant inférieur à 1.

Expérience 11
---------------

Cette rapide revue met en avant la cohérence des résultats obtenus dans ce domaine par les chercheurs. Néanmoins, les travaux réalisés portaient en général sur des tâches simples, standardisées. Il était intéressant de tester la validité de ces résultats dans le cas de tâches complexes. Dans ce but, nous avons procédé à la construction d'échelles de rapport pour l'évaluation de l'effort perçu dans 27 tâches d'escalade (cf. Annexe 7). Nous avons en outre procédé sur 5 des sujets à des enregistrements électromyographiques de l'activité du membre supérieur droit, qui était le plus sollicité par l'architecture des tâches proposées. La corrélation par les rangs entre l'effort perçu et l'activité des muscles de la loge antérieure de l'avant-bras est très forte ( $r=.991$ ). Le meilleur ajustement décrivant leur relation est une fonction puissance, d'exposant 2.441.

$$EP = (.047) * EO^{2.441} \quad (r=.994)$$

Cette expérience confirme, dans le cas d'une tâche complexe, la relation précédemment démontrée pour des tâches de laboratoire. Il faut noter néanmoins que le terme d'"effort objectif" ne renvoie pas à la dépense globale d'énergie réellement consentie par l'organisme, mais au stimulus pris en compte par les sujets pour la construction du jugement d'effort.

### 7.1.2. LES ECHELLES DE JUGEMENT ABSOLU.

Les échelles dont nous venons de parler ne procurent que des données de rapports entre percepts, et ne renseignent pas directement sur les niveaux d'intensité perceptive. Dans une visée clinique, Borg propose un modèle permettant les comparaisons interindividuelles (Borg, 1962, 1970a, 1970b). Ce modèle postule que l'étendue de l'échelle perceptive, du seuil subjectif absolu à l'intensité perceptive maximale, est identique pour tous les sujets, même si l'échelle correspondante des stimuli peut varier considérablement.

Admettons que la fonction psychophysique déterminée par la construction d'échelles de rapport soit de la forme suivante:

$$EP = c.EO^{1.6} \quad (1).$$

On considère que les fonctions psychophysiques individuelles ne diffèrent que par la valeur de la constante  $c$ . Pour chaque sujet, l'effort objectif maximal sera relié à l'intensité subjective maximale par une relation similaire. On peut en déduire une expression, pour chaque sujet, de la valeur de  $c$ :

$$c = EP_{max}/EO_{max}^{1.6} \quad (2).$$

En intégrant cette expression dans l'équation (1),

$$EP/EP_{max} = (EO/EO_{max})^{1.6}$$

C'est-à-dire que l'effort perçu relatif (que l'on peut encore exprimer en pourcentage de l'effort perçu maximal), est une fonction puissance de l'effort objectif relatif. Le postulat de Borg admettant l'équivalence pour tous les sujets de  $EP_{max}$ , la valeur de EP, pour une valeur donnée de EO, dépendra entièrement de  $EO_{max}$ . A l'inverse, pour une valeur donnée de EP, celle de EO pour des sujets différents dépendra de leur  $EO_{max}$  respectifs.

Ce modèle valide l'utilisation d'échelles de catégories perceptives, bornées par une limite minimale et une limite maximale, pour l'étude des différences individuelles. Borg propose plusieurs versions d'échelles de ce type. La plus connue est celle qu'il formalise en 1970, sous le nom de RPE scale (scale of ratings of perceived exertion), constituée de 15 échelons et 7 labels (Borg, 1970a, cf. tableau 7.1.).

6	
7	<b>Very, very light</b>
8	
9	<b>Very light</b>
10	
11	<b>Fairly light</b>
12	
13	<b>Somewhat hard</b>
14	
15	<b>Hard</b>
16	
17	<b>Very hard</b>
18	
19	<b>Very, very hard</b>
20	

Tableau 7.1: La RPE scale de G. Borg (1970a).

Cette échelle a été construite de manière à ce que, pour un travail sur bicyclette ergométrique et pour des sujets masculins d'âge moyen et en bonne santé, le RPE corrèle avec la charge de travail. Cette propriété est due à la définition et à la répartition des labels le long de l'échelle. Borg insiste notamment sur la symétrie de la répartition, autour d'une valeur centrale moyenne. La RPE scale n'a donc pas pour vocation de rendre compte de la réalité de la relation psychophysique, puisqu'elle a été construite en en postulant la linéarité. Borg a par ailleurs montré que par une organisation différente des labels, on pouvait créer une échelle de catégories respectant la fonction puissance (Borg, 1982a, 1982b; cf. chap. 5.3.).

Sachant que pour ce type d'épreuve, la fréquence cardiaque varie linéairement avec la charge objective, les chiffres attribués à chaque échelon l'on été de manière à ce que:

$$FC = RPE \times 10.$$

Les linéarités entre la RPE scale, la charge de travail et la fréquence cardiaque ont été confirmées à maintes reprises (Borg, 1970; Borg et Noble, 1974; Gamberale, 1972; Morgan et Borg, 1977; Kilbom et coll., 1983; Borg et coll., 1987). Ce n'est pas autrement surprenant

puisque cette relation est au principe même de la construction de l'échelle.

### 7.1.3. EFFORT PERÇU ET REPOSES PHYSIOLOGIQUES.

La découverte de ces invariants a incité les chercheurs à élucider les mécanismes de construction de l'effort perçu. On a ainsi cherché à mettre en relation les échelles subjectives avec les principales variables physiologiques. Borg et coll. (1987) étudient systématiquement ces relations en ce qui concerne l'effort sur ergomètre, la course et la marche. Le tableau 7.2. indique les exposants des fonctions puissance décrites. On a ajouté les données de Borg (1962, 1973) concernant la construction d'échelles de rapport selon la méthode d'estimation des grandeurs.

	<b>Bicyclette</b>	<b>Course</b>	<b>Marche.</b>
<b>RPE-scale</b>	<b>1.1</b>	<b>1.0</b>	<b>1.9</b>
<b>CR-scale</b>	<b>2.2</b>	<b>2.0</b>	<b>3.4</b>
<b>Rapports</b>	<b>1.6</b>	<b>1.6</b>	<b>3.0</b>
<b>FC</b>	<b>1.3</b>	<b>1.1</b>	<b>2.9</b>
<b>Lact.</b>	<b>3.5</b>	<b>3.2</b>	<b>5.0</b>

Tableau 7.2.: Exposants des fonctions puissance décrites entre la charge de travail et la RPE scale, la CR scale, les échelles de rapports classiques, la fréquence cardiaque, le taux de lactate sanguin (d'après Borg, 1962, 1973; Borg et coll., 1987).

Ces travaux confirment la linéarité entre RPE scale et charge de travail, pour la bicyclette et la course. Mais dans le cas de la marche, le RPE augmente avec le carré de la vitesse. Ceci est évidemment à mettre en rapport avec les exposants trouvés pour la fréquence cardiaque et la lactémie. Borg et coll. (1987) montrent, pour des efforts prolongés, qu'une variable construite en faisant la moyenne pour chaque intensité objective de la fréquence cardiaque et du taux de lactate sanguin (ces deux données étant au préalable exprimées en pourcentage de la valeur maximale obtenue pour chacune), corrèle avec les niveaux relatifs d'effort perçu (selon la CR scale). L'interprétation de ce résultat doit néanmoins être prudente. Les corrélations obtenues dans l'ensemble des travaux auxquels nous nous référons n'impliquent pas de nécessaires liens de causalité entre les variables corrélées. Par exemple Pandolf et coll. (1972) montrent que si l'élévation de la température environnementale a un effet d'accroissement sur la fréquence cardiaque, aucune différence significative n'est trouvée en ce qui concerne le RPE. A l'inverse, Marks, Borg et Ljunggren (1983) montrent que les différences individuelles dans la perception de l'effort corrèlent avec les différences au niveau des réaction physiologiques (en termes de pourcentage de la fréquence cardiaque maximale). L'expérience de Borg et coll. (1987) permet en outre un traitement secondaire intéressant. Les auteurs n'ont pas réalisé de test d'ajustement concernant la relation, pour les trois activités expérimentales, entre la fréquence cardiaque et la CR-scale. Ces tests mettent en évidence des

fonctions puissance, avec les exposants suivants:

pour la bicyclette: 3.333 (r=.998),

pour la course: 3.344 (r=.998),

pour la marche: 3.285 (r=.981).

Les différences constatées par les auteurs dans les exposants caractérisant les relations entre l'intensité des tâches et l'effort perçu (voir plus haut, tableau 7.2.) disparaissent si l'on examine les relations fréquence cardiaque-effort perçu. Ceci tendrait à prouver que c'est au niveau des réponses physiologiques qu'il est pertinent de rechercher le stimulus objectif de la fonction psychophysique.

Cette hypothèse a d'ailleurs été implicitement développée par de nombreux auteurs. Reprenant une idée de Borg (1962), Ekblom et Goldbarg (1971) montrent la possibilité de reconnaissance indépendante de l'effort central et de l'effort local, et proposent un modèle à deux facteurs. Le facteur central serait lié à des processus métaboliques aérobiques dont peuvent rendre compte la fréquence cardiaque ou la consommation d'oxygène. Quant au facteur local, il semble d'origine anaérobique, et peut être évalué à partir de la concentration des lactates dans le sang (Borg et Noble, 1974). Borg (1986) montre ainsi qu'en ski, quel que soit le niveau de pratique, les sujets produisent des RPE locaux (membres inférieurs) plus élevés que les RPE centraux. Robertson (1982) estime que la contribution relative des facteurs locaux et centraux dépend de l'intensité et de la durée de l'exercice. Durant les trente premières secondes, l'effort local serait prédominant. Bien que l'effort local puisse encore dominer dans de nombreux cas (Cafarelli, Cain, Stevens, 1977), le facteur central devient prégnant à haute intensité et au-delà des trente premières secondes. On peut noter que ce modèle interprétatif est en accord avec la description classique de la mobilisation progressive des ressources énergétiques, anaérobiques puis aérobiques, en fonction de l'intensité et de la durée de l'exercice.

Le type d'exercice semble également jouer un rôle important. Nous avons repris les données brutes de Borg et coll. (1987), concernant la CR scale, la fréquence cardiaque et la lactémie, pour les épreuves de bicyclette ergométrique, de course et de marche. Après centration et réduction des données, nous les avons soumises à un test de régression multiple. Les résultats sont indiqués dans le tableau 7.3.

	<b>B<sub>0</sub></b>	<b>B<sub>1</sub></b>	<b>B<sub>2</sub></b>	<b>r</b>
<b>Bicyclette</b>	$-5.2 \times 10^{-5}$	.429	.592	.999
<b>Course</b>	$5.2 \times 10^{-6}$	.649	.385	.998
<b>Marche</b>	$8 \times 10^{-7}$	.960	.004	.999

Tableau 7.3.: Analyse de la régression de la CR scale selon la fréquence cardiaque (FC) et la lactémie (LA). Les équations de régression sont de la forme:  $CR = B_0 + B_1FC + B_2LA$ .

Cette analyse montre que les contributions respectives de la fréquence cardiaque et de la lactémie varient largement en fonction de l'exercice. Ainsi l'effort perçu serait lié en ce qui

concerne la marche en quasi-totalité aux facteurs cardio-vasculaires, alors qu'en ce qui concerne la course et l'ergomètre, les contributions seraient davantage équilibrées. En d'autres termes, la course et l'ergomètre entraîneraient davantage la mise en jeu des facteurs locaux, ce que semble confirmer les courbes d'accroissement des lactates (cette observation concorde avec les résultats de Rejeski et Sandford, 1984). L'exposant élevé de la fonction décrivant l'accroissement des lactates pour la marche semble surtout provenir d'une brusque augmentation au-delà de 8 km/h, traduisant sans doute une modification dans l'efficacité du geste.

Ekblom et Goldbarg (1971) montrent qu'à consommation d'oxygène équivalente, un travail sollicitant les bras entraîne un RPE supérieur à un travail sollicitant les membres inférieurs. Si l'on compare les tâches à partir des concentrations lactiques, il n'y a plus de différence. Selon les auteurs, dans un travail n'impliquant que peu de groupes musculaires le facteur local semble dominant, alors qu'un travail sollicitant l'ensemble du corps crée un stress ventilatoire et circulatoire qui s'ajoute à la contrainte locale.

#### Expérience 11

Dans le cadre de notre expérience sur l'escalade (cf. Annexe 7), nous avons pu montrer que la délimitation du stimulus pris en compte par les sujets dépassait largement la dichotomie central/local utilisée par les différents auteurs. Nous avons testé électromyographiquement, au cours de 27 tâches d'escalade, quatre groupes musculaires du membre supérieur droit (fléchisseur commun profond, palmaires, biceps et grand pectoral). L'étude de la corrélation par les rangs entre les relevés électromyographiques et l'effort perçu fait apparaître de larges différences entre groupes musculaires. Les valeurs obtenues sont les suivantes:

-Fléchisseur commun profond	$r=.989$
-Palmaires	$r=.937$
-Biceps	$r=.834$
-Grand pectoral	$r=.558$

Le stimulus pertinent pour la construction de l'effort perçu en escalade semble clairement résider au niveau des muscles de la loge antérieure de l'avant-bras. Cette expérience portant sur des passages très courts d'escalade, il serait intéressant de vérifier si cette centration perdure dans des voies plus longues.

La perception de l'effort semble donc être liée à l'intégration d'un grand nombre de signaux générés par une variété de récepteurs diversement localisés, et cette combinaison dépendra largement des conditions particulières de l'exercice. D'une manière générale, et pour l'ensemble des activités sportives, la localisation des signaux pertinents pour la construction de l'effort perçu semble une voie de recherche importante, dans un premier temps afin d'en élucider les mécanismes, et dans un second pour optimiser les processus de tolérance psychologique à l'effort.

#### 7.1.4. MODULATION PSYCHOLOGIQUE DE L'EFFORT PERÇU.

On s'est intéressé, dans cette perspective clinique, aux facteurs qui pouvaient altérer la relation entre effort objectif et effort perçu. Certains auteurs (Kinsman et Weiser, 1970; Pandolf et coll., 1975) montrent l'importance de facteurs psychologiques tels que l'aversion/motivation envers la tâche, interférant avec les deux facteurs ci-dessus. Winborn, Meyer et Mulling (1988) montrent par exemple que l'expertise dans la tâche permet une perception plus précise de l'effort. En outre, il apparaît que les hommes évaluent plus précisément l'effort que les femmes. Les facteurs de personnalité semblent avoir une grande influence: Rejeski et coll. (1987), en expérimentant avec des hommes à profil psychologique féminin, androgyne ou masculin, montrent que les premiers présentent des RPE significativement plus élevés. Hochstetler, Rejeski et Best (1985) avaient obtenu un résultat similaire avec des sujets de sexe féminin. Rejeski et Sanford (1984) manipulent les modalités de présentation de la tâche à réaliser: les deux groupes expérimentaux visionnent chacun une bande vidéo, celle du premier groupe présentant l'expérience comme peu exigeante, celle du second comme pénible. Les auteurs montrent ainsi que l'estimation de l'effort à fournir, par ses résonances affectives, a une influence significative sur la perception de l'effort réellement fourni: le second groupe présente un RPE moyen significativement plus élevé. Boutcher et coll. (1988) mettent en évidence des effets d'audience: en présence d'un expérimentateur féminin, les hommes présentent des RPE moins élevés que face à un expérimentateur masculin. Le sexe de l'expérimentateur n'a en revanche aucune influence significative pour les sujets féminins. Ce résultat est interprété par l'évaluation sociale, relié à la tendance masculine à recevoir davantage de gratification sociale du succès compétitif. Les femmes sont moins compétitives et moins marquées par l'accomplissement.

Morgan (1985) met en évidence l'influence possible de la suggestion hypnotique sur l'effort perçu: à intensité égale, des sujets auxquels on suggère des efforts légers, modérés ou intenses, donnent des RPE moyens significativement différents (9, 11 ou 13 pour un effort objectif de 100 watts). L'auteur montre par ailleurs que la suggestion a un effet parallèle significatif sur la fréquence cardiaque, la consommation d'oxygène et la ventilation pulmonaire.

Les rapports entre cognition et endurance à l'effort ont connu des développements récents. On peut notamment noter l'intérêt, tant pour leurs éventuelles applications pratiques que pour leurs développements théoriques, porté aux *techniques de dissociation*. Ces dernières consistent soit à surajouter une tâche mentale à une tâche à dominante bio-énergétique (Rejeski et Kenney, 1987), soit à manipuler l'orientation de l'attention des sujets au cours de l'effort (Wrisberg et coll., 1988). On montre que la tâche ajoutée et/ou la focalisation de l'attention sur des signaux externes entraînent une diminution de l'effort perçu et un accroissement de la performance. Rejeski (1985) interprète ce phénomène dans le cadre du modèle de traitement de l'information, et dans le sens d'une mise en concurrence des informations au niveau du canal de traitement. Le traitement informationnel occuperait la capacité du canal, et de ce fait distrairait le sujet de sa propre fatigue.

L'importance des facteurs psychologiques paraît donc indéniable. Néanmoins Rejeski (1985) estime qu'au-delà d'un certain niveau d'intensité objective, leur potentiel d'influence diminue et que les indices physiologiques dominent largement.

## 7.2. L'ESTIMATION DE L'INTENSITE DES TACHES.

La plupart des modèles de comportement que nous avons analysé précédemment (cf. chap. 4.) intègrent surtout l'*estimation* des exigences des tâches, c'est-à-dire une évaluation antérieure à la pratique effective. On s'intéresse alors à un construct cognitif, dont la source serait une représentation anticipée de la tâche et de ses demandes. On s'éloigne donc des problématiques classiques de la psychophysique, puisque le stimulus n'est pas actuel mais représenté.

Ce sont les rapports entre exigences estimées et exigences perçues qui nous intéresseront principalement. On a vu précédemment que l'effort estimé pouvait moduler la perception actuelle de l'effort (Rejeski et Sanford, 1984). Il faut noter également que l'intensité estimée influe sur les stratégies du sujet quant à l'effort réellement produit: à charge objective initiale équivalente, les sujets prévoyant une augmentation de la charge déploient une activité significativement plus faible que ceux qui envisagent une diminution (Vidacek et Wishner, 1972). A contrario, on peut supposer que l'expérience antérieure est une des bases de construction de l'estimation de l'effort. On peut également émettre l'hypothèse d'une intervention capitale des facteurs de personnalité.

Peu de travaux ont porté spécifiquement sur cet aspect. Hogan et Fleishman (1979) font estimer le coût de 30 tâches industrielles et de 41 tâches de loisir, d'une part par un groupe de spécialistes en ergonomie, et d'autre part par un groupe témoin. L'estimation est supportée par une échelle de catégorie en 7 points, dérivée de la RPE scale de Borg. Les auteurs montrent que l'estimation des exigences bioénergétiques des tâches est relativement précise. Des corrélations de l'ordre de .80 sont trouvées entre l'échelle des coûts objectifs et celle des coûts estimés. Par ailleurs, aucune différence significative n'est établie entre les experts et le groupe témoin, ni à l'intérieur de ce second groupe, entre les hommes et les femmes. Durand (1986) étudie la précision avec laquelle des enseignants d'EPS de niveaux de formation divers estiment l'intensité de 14 activités sportives, et de 27 tâches motrices. Il utilise une échelle similaire à celle de l'expérience précédente. Les résultats témoignent d'une bonne précision générale (corrélations de .74 à .81 pour les activités, de .88 pour les tâches). L'auteur ne relève aucune différence significative liée au sexe ou au niveau de formation. Il note néanmoins une méconnaissance de l'effet du repos sur la quantité d'effort dépensée, et une tendance à surestimer les tâches intenses, et à sous-estimer les tâches aisées.

Expériences 2 et 3
--------------------

Afin de préciser les mécanismes de construction de l'estimation de l'effort, nous avons repris le protocole de Durand en comparant trois groupes expérimentaux (cf. Annexe 2.): 26 professeurs d'EPS du second degré (moyenne d'âge 35 ans et 3 mois), 56 élèves de seconde (moyenne d'âge 16 ans et 4 mois) et 25 élèves de sixièmes (moyenne d'âge 12 ans et 8 mois). Si l'on s'en tient à l'étude des corrélations, linéaires ou par les rangs, aucune différence significative ne peut être établie entre les trois groupes, ni à l'intérieur de ces groupes en fonction du sexe. Les enfants de 12 et 16 ans sont aussi capables que les enseignants experts de hiérarchiser les tâches et d'estimer leurs rapports. Si par contre on étudie l'erreur relative, c'est-à-dire les sur- et sous-estimations, certains effets systématiques apparaissent.

Tout d'abord, on remarque que dans l'ensemble, les tâches sont surestimées. Ceci n'a guère de valeur en soi et peut relever d'un usage particulier de l'échelle proposée. Par contre, les élèves de sixième sur-estiment beaucoup plus les tâches que ceux de seconde et que les

professeurs. Aucune différence n'apparaît entre ces deux derniers groupes. La maîtrise de l'erreur relative semble donc en partie liée à un facteur maturatif. Mais l'expertise ne semble pas jouer de rôle prédominant. En ce qui concerne l'influence du sexe, on note que les garçons de sixièmes sur-estiment davantage les tâches que leurs camarades féminines. Cette tendance s'inverse en seconde. On peut penser que l'installation des rôles sexuels avec la puberté joue un rôle dans cette évolution. En ce qui concerne les enseignants, on retrouve le même schéma que pour les élèves de sixièmes: les femmes sur-estiment moins les exigences des tâches que les hommes. Il serait intéressant de voir si à ce niveau, la population des enseignants en EPS est différente d'un groupe témoin d'adultes non spécialistes.

Les tâches les moins intenses sont davantage sur-estimées que les tâches les plus exigeantes. Ce résultat apparaît systématiquement, pour tous les groupes et dans les deux temps de l'expérimentation. Il faut noter que si Durand trouvait une tendance similaire dans la première partie de son questionnaire, il obtenait le résultat inverse dans la seconde. La constance intergroupe de notre résultat nous incite à supposer sa validité, d'autant plus que ce phénomène, qui revient en fait à une concentration des distributions d'estimations autour d'une bande centrale de l'échelle en sept points proposée, peut être attribuée à un artéfact de construction de cette échelle. Nous avons montré (cf. Annexe 2) qu'un réétalonnage permettait de réduire ces différentiels d'erreur relative.

L'expérience montre également, pour tous les groupes, l'importance de facteurs tels que la durée de l'effort ou l'introduction de temps de repos dans la grandeur de l'erreur relative. Les tâches longues ou sans repos sont davantage sur-estimées que les tâches courtes ou avec repos. Ces résultats sont cohérents avec ceux de Durand.

### 7.3. MESURE QUANTITATIVE DE L'INTENSITE DES TACHES: L'EXEMPLE DE L'ESCALADE.

Dans une précédente partie (cf. chap. 3.3.), nous avons insisté sur la nécessité de dépasser l'approche qualitative de l'intensité. Si cette dernière permet de classer les tâches en fonction de leurs exigences énergétiques (Durand, 1983), elle ne permet pas d'en moduler finement le niveau d'intensité. Quant à la mesure de l'effort objectif, elle ne permet guère que des validations a posteriori et ne peut guère aider l'entraîneur ou l'enseignant. Au cours de notre expérience sur l'escalade (cf. Annexe 7), nous avons tenté de mener à bien cette approche quantitative.

Expérience 11
---------------

Les tâches que nous avons utilisées étaient de très courts passages d'escalade, consistant à s'équilibrer et à s'élever sur deux prises (une pour la main droite, une pour le pied droit), pour aller chercher une troisième prise en main gauche. Les prises étaient des "réglettes", présentant une surface utilisable plane, rectangulaire et horizontale. Les tâches étaient caractérisées par la profondeur de la prise de main (PM), la profondeur de la prise de pied (PP), et l'inclinaison du mur d'escalade ( $\beta$ ).

Le problème que nous nous sommes posé était de trouver une équation, basée sur ces descripteurs objectifs de la tâche, et permettant de prédire l'effort requis pour sa réalisation. Il faut noter que ce que nous appelons ici "effort objectif" ne renvoie pas à la dépense globale

d'énergie réellement consentie par l'organisme, mais au stimulus pris en compte par les sujets pour la construction du jugement d'effort.

Si, comme nous l'avons exposé précédemment, l'élément pertinent semble résider dans le travail de la loge antérieure de l'avant-bras, on peut dire que ce dernier est déterminé par la pression exercée sur la prise de main, les muscles concernés devant y opposer une force équivalente. Dans cette logique, l'effort objectif est une fonction linéaire du rapport entre la force (F) appliquée sur la prise de main, et la surface de cette prise (PM):

$$EO = A(F/PM) + B \quad (3)$$

La force F va croître avec l'inclinaison du support. Néanmoins, cette augmentation sera modulée par la possibilité de charger une partie du poids de corps sur la prise de pied. La relation n'est pas simplement additive, dans le sens où l'influence de la surface de prise de pied dépend de l'inclinaison du support.

D'une manière générale, on aurait:

$$F = C \cos \beta + D(\cos \beta / PP) + E \quad (4)$$

En intégrant cette équation dans la précédente, on obtient:

$$\dots\dots EO = (A*(C \cos \beta + D(\cos \beta / PP) + E) / PM) + B$$

$$\text{ou } EO = a/PM + b(\cos \beta / PM) + c(\cos \beta / PMPP) + d \quad (5)$$

Après réduction et centration des données, on procède à un test de régression multiple. Les résultats confirment la validité globale de l'équation (5):

$$Z_{EO} = (.348)Z_{1/PM} + (.469)Z_{\cos \beta / PM} + (.388)Z_{\cos \beta / PMPP}$$

(r=.957).

Cette équation suppose néanmoins que  $\cos \beta$  est une mesure pertinente de l'influence de l'inclinaison. Il paraîtrait plus judicieux d'utiliser l'angulation de l'axe prise de pied-centre de gravité, induite par l'inclinaison. On peut alors modifier l'équation (5) en ajoutant une constante (e) à  $\cos \beta$ :

$$EO = a/PM + b(e + \cos \beta / PM) + c(e + \cos \beta / PMPP) + d \quad (6)$$

Le meilleur ajustement est obtenu pour une valeur de e de l'ordre de .463:

$$Z_{EO} = (-.474)Z_{1/PM} + (.923)Z_{(.463 + \cos \beta / PM)} + (.456)Z_{(.463 + \cos \beta / PMPP)} \quad (r=.988)$$

On trouvera en Annexe 7 une analyse plus complète de la signification de cette constante e, qui est également intégrée à l'équation de difficulté objective que nous proposerons plus bas (cf. Chap. 8.3.). La figure 7.2. représente la relation entre cette mesure théorique de l'intensité et l'effort objectif mesuré par électromyographie.

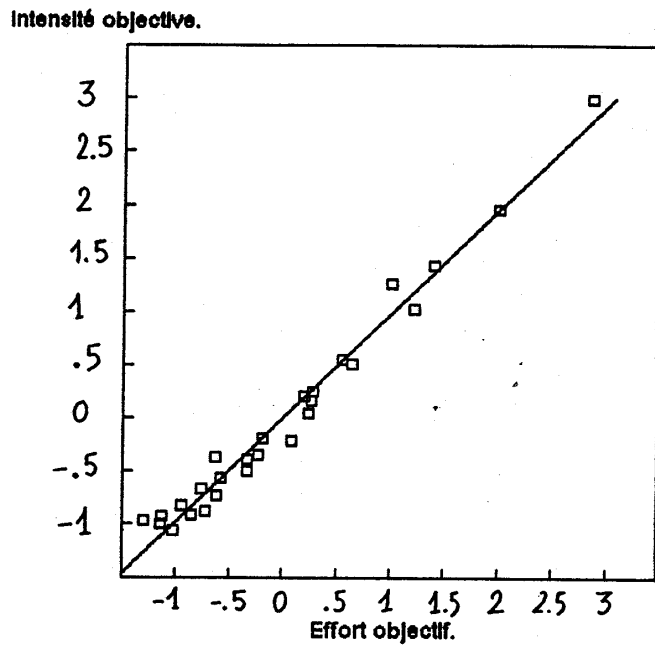


Figure 7.2.: Relation entre l'intensité objective calculée à partir de la relation (6) et l'effort objectif mesuré par électromyographie au niveau de la loge antérieure de l'avant-bras.

Ce résultat montre la possibilité, y compris pour des tâches complexes et multidimensionnelles, de mesurer l'intensité selon une échelle de rapport, à partir des descripteurs de la tâche, et sans passer par l'évaluation de l'effort produit par le sujet.

LES EXIGENCES INFORMATIONNELLES.
----------------------------------

Si l'étude psychophysique de l'effort a donné lieu à de multiples travaux, les préoccupations relatives aux exigences informationnelles sont restées plus confidentielles. Le Département de Psychologie de l'Université de Stockholm a néanmoins réalisé une série d'expériences dans ce champ dans les années soixante-dix, dont les résultats serviront de base de départ à notre réflexion.

#### 8.1. PERCEPTION DES EXIGENCES INFORMATIONNELLES.

Si nous commençons par cet aspect, c'est que c'est le seul dont l'exploration ait été initiée à notre connaissance. Les travaux réalisés ont consisté en la construction d'échelles de rapports et d'échelles de catégories.

##### 8.1.1. LA CONSTRUCTION D'ECHELLES DE RAPPORT.

Si l'intensité des tâches est logiquement inférable des corrélats physiologiques de l'effort, il en va autrement des exigences informationnelles. Et les modélisations dont nous avons fait état précédemment, dérivées de la théorie de l'information, ne relèvent encore que d'hypothèses analogiques sujettes à caution. C'est pourquoi nous commencerons par étudier la construction d'échelles de rapport, pour leur potentiel heuristique dans la compréhension des mécanismes mis en jeu dans la perception, et au delà, nous l'espérons, dans la validation et l'enrichissement des modèles que nous avons proposés, quant à l'analyse des exigences objectives des tâches et à celle de l'activité du sujet.

##### 8.1.1.1. REVUE DES TRAVAUX ANTERIEURS.

C'est Borg (1962) qui le premier envisage d'appliquer à la difficulté les méthodes de la psychophysique. Mais si les travaux réalisés dans le domaine de l'effort ont débouché sur des résultats convergents, c'est la contradiction qui prédomine dans ce nouveau champ.

Borg et Forsling (1964) utilisent une épreuve du "SRB test", destiné à mesurer le niveau général d'intelligence. On présente au sujet des séries de cinq icônes, représentant chacune une forme géométrique (figure 8.1). La construction des icônes de la série obéit à une logique plus

ou moins évidente (dans l'exemple présenté, la représentation d'angles aigus). Une des icônes joue le rôle d'intrus (dans le cas servant d'exemple, cet icône représente un angle obtus). La tâche du sujet est de localiser l'intrus dans chaque série. Les auteurs mettent en évidence une relation linéaire entre le pourcentage de bonnes réponses (calculé à partir des résultats d'un groupe de 200 sujets, distinct du groupe expérimental) et l'échelle de difficulté perçue, obtenue en utilisant la méthode d'estimation des grandeurs.

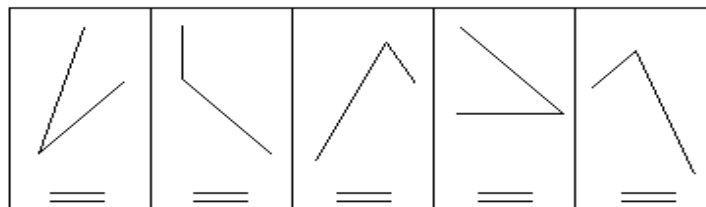


Figure 8.1: Deuxième série d'icônes de l'expérience de Borg et Forsling (1964).

Reprenant le même protocole, Bratfisch, Dornic et Borg (1972) montrent néanmoins qu'un ajustement exponentiel permet une description plus fidèle des résultats (cf. figure 8.2).

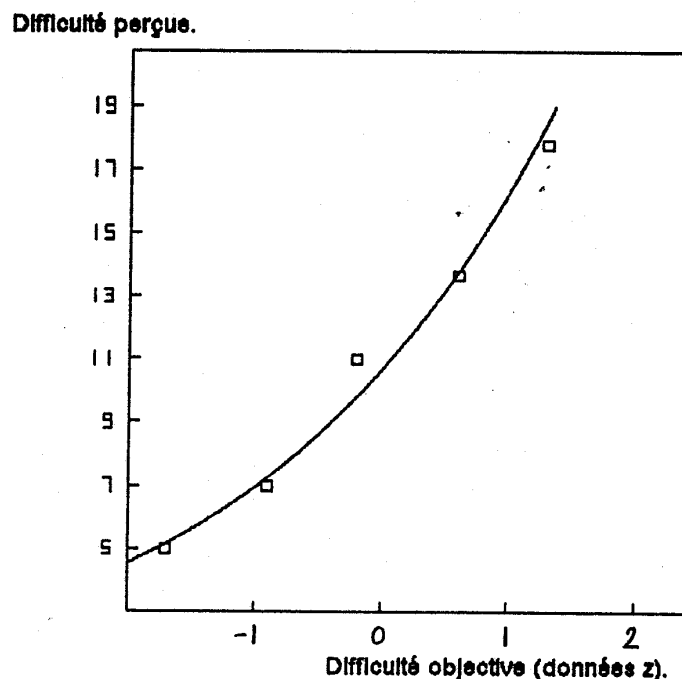


Figure 8.2: Relation entre le pourcentage de réponses correctes (en données centrées et réduites) et la difficulté perçue (d'après Bratfisch, Dornic et Borg, 1972).

Borg, Bratfisch et Dornic (1971c) utilisent une tâche de recherche visuelle. Le dispositif expérimental se compose de 7 matrices de 25, 36, 49, 81, 100, 121 cellules. Chaque cellule est occupée par un couple de lettres. Le sujet doit rechercher le plus vite possible au sein des

matrices des couples de lettres qui lui sont annoncés verbalement. Les auteurs mettent en évidence une relation logarithmique entre le nombre de stimuli possibles et l'échelle de difficulté perçue, obtenue en utilisant la méthode d'estimation des grandeurs (figure 8.3). Ce résultat est interprété dans le sens d'une "contamination" possible par la structure visuelle de la tâche. On a pu en effet montrer que la perception des nombres était une fonction négativement accélérée des nombres réels. La perception des surfaces obéit à une logique similaire. Il est donc possible que la difficulté perçue, dans ce cas, soient contaminée par la perception de la surface des matrices ou du nombre de stimuli, ce qui expliquerait la forme logarithmique de la fonction.

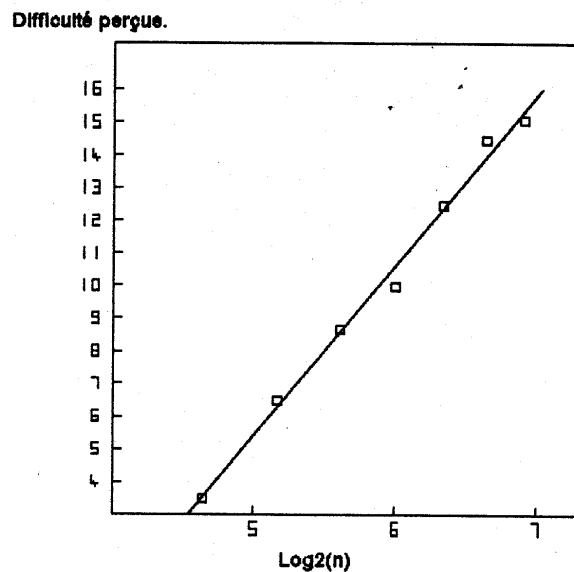


Figure 8.3: Relation nombre de stimuli-difficulté perçue dans l'expérience de Borg, Bratfisch et Dornic (1971c).

Borg, Bratfisch et Dornic (1971b) utilisent une tâche de mémorisation à court terme, consistant à répéter immédiatement un message de  $n$  chiffres. Dans une première expérience,  $n$  varie de 4 à 10. La relation entre la longueur des messages et la difficulté perçue est exponentielle. Dans un second temps, les expérimentateurs utilisent des messages plus courts ( $n$  variant de 2 à 8). Dans ce cas, la difficulté perçue est une fonction linéaire de la longueur des messages (figure 8.4). Ce second résultat est expliqué par les auteurs par une contamination de la longueur des messages. Le premier est plus difficilement interprétable. En effet, si l'on reste dans une logique de contamination par la valeur de  $n$ , les résultats auraient dû mener comme dans l'expérience précédente à une fonction de type logarithmique.

Une quatrième expérience (Bratfisch, Dornic et Borg, 1970) porte sur l'évolution de la difficulté perçue avec la pratique dans une tâche motrice. Cette dernière consiste à transférer le long d'un labyrinthe en fil de fer des anneaux métalliques, à l'aide de deux baguettes. Les sujets réalisent 7 essais successifs, et ont pour consigne de réaliser la tâche le plus rapidement possible. La durée moyenne de chaque essai est prise en compte comme indice de difficulté objective. On utilise la méthode d'estimation des grandeurs, la première tentative servant de modulus. On trouve une relation linéaire entre la performance et la difficulté perçue. Les auteurs concluent sur l'importance de la performance dans la construction du sentiment de difficulté.

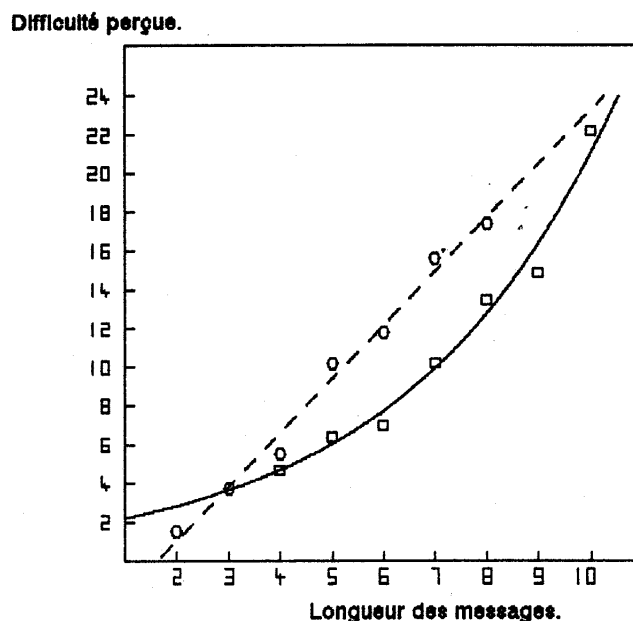


Figure 8.4: Relation longueur des messages-difficulté perçue dans l'expérience de Borg, Bratfisch et Dornic (1971b). En continu: messages de 4 à 10 chiffres, en pointillé, messages de 2 à 8 chiffres.

Au cours de ces expériences, les auteurs mettent donc en évidence différents types de "contaminations", par des facteurs secondaires. Dornic, Sarnecki et Svensson (1973) précisent en outre que l'utilisation du terme "contamination" est inadéquate car elle suppose l'existence d'un sentiment "authentique" de difficulté, pouvant être altéré par des facteurs secondaires. La difficulté, selon les auteurs, devrait plutôt être pensée en tant qu'expérience médiate, dont le type et les mécanismes d'élaboration varient d'une tâche à l'autre. De telles conclusions reviennent à nier la pertinence d'une démarche psychophysique dans ce domaine.

Ces travaux appellent néanmoins certaines critiques. Tout d'abord, et nous avons déjà relevé cet aspect, la logique qui préside au choix de la variable qui sera utilisée comme indice de la difficulté objective reste obscure: on fait appel soit à des indices de performance, -et l'on doit alors distinguer la référence aux performances du groupe expérimental lui-même (Bratfisch, Dornic et Borg, 1970), et la référence aux performances d'une groupe distinct, d'effectif plus important (Borg et Forsling, 1964; Bratfisch, Dornic et Borg, 1972)-, soit à des descripteurs objectifs de la tâche (Borg, Bratfisch et Dornic, 1971b, 1971c), sans pour autant qu'un quelconque cadre théorique vienne valider le choix de tel ou tel type de descripteur. Or il est évident que le type de relation obtenu dépend de l'échelle choisie pour décrire le stimulus.

Une autre critique renvoie aux schémas explicatifs retenus par les auteurs. La mise en évidence d'une relation systématique entre deux variables n'a qu'une valeur descriptive, et n'implique nullement de façon nécessaire qu'un mécanisme psychologique causal relie effectivement ces deux variables (Reuchlin, 1976). Notamment, la relation mise en évidence entre deux variables peut être imputée au fait qu'elles sont toutes deux les effets d'une cause commune.

Dans la recherche de causalité, il nous paraît nécessaire de se centrer sur ce qui préexiste

à l'activité du sujet, c'est-à-dire la tâche et ses exigences objectives. Car la performance n'est qu'une conséquence de ces exigences, et sauf à prouver une liaison linéaire entre ces deux variables, utiliser des critères de performance comme indices de difficulté objective semble méthodologiquement discutable. Encore faut-il identifier et quantifier le descripteur de la tâche susceptible de rendre compte de la difficulté objective. Comme nous l'avons précisé précédemment, nous estimons que la quantité d'information contenue dans la tâche (c'est-à-dire dont le traitement est indispensable à la réussite), peut constituer un critère pertinent. Nous avons donc mis au point une série d'expériences dans le but de vérifier cette proposition.

#### 8.1.1.2. EXIGENCES PERÇUES ET QUANTITE D'INFORMATION.

Expérience 6.
---------------

Dans une première expérience (cf. Annexe 4), nous avons utilisé les tâches de pointage de Fitts (1954). On a vu précédemment (cf. chap. 4.2.) que l'on pouvait calculer pour chacune de ces tâches un indice de difficulté (ID), en fonction de la largeur de chacune des deux cibles (W), et de leur espacement (A):

$$ID = \log_2(2A/W).$$

On a vu que cet indice correspondait à la quantité moyenne d'information à traiter pour le contrôle du mouvement de pointage. Il semble d'autant plus pertinent d'utiliser cet indice comme mesure de la difficulté objective que la performance, c'est-à-dire le temps moyen séparant deux impacts successifs, corrèle fortement avec l'indice de difficulté caractérisant la tâche (Fitts, 1954; Fitts et Peterson, 1964).

Le protocole est constitué de sept tâches, dont les ID varient de 1.32 à 7.32, avec un pas de une unité. L'expérience consiste en la construction d'échelles de rapport, dans un premier temps suivant la technique d'estimation des grandeurs: la tâche la plus facile (ID=1.32) étant affectée de la cotation 10, le sujet doit attribuer une cotation à chacune des autres tâches, dans une logique de rapport, c'est-à-dire qu'une tâche cotée 20 est considérée comme deux fois plus difficile que le modulus (tâche-étalon). Dans un second temps on utilise la méthode d'estimation des rapports. Les tâches sont présentées par paires, dans un ordre aléatoire qui change pour chaque sujet. La tâche la plus facile de la paire sert de modulus et est cotée 10. Le sujet doit coter la seconde selon la même logique que précédemment. Le calcul des cotations subjectives de chaque tâche, à partir de la matrice des résultats, est réalisé par la méthode de Ekman (Bonnet, 1968-69).

On calcule la moyenne de la DP pour chaque tâche. Quelque soit la méthode employée, les résultats s'ajustent sur des fonctions exponentielles (Figure 8.5).

Selon la méthode d'estimation de grandeurs:

$$DP = .593 * e^{(.364)*ID} \quad (r=.999).$$

Selon la méthode d'estimation des rapports:

$$DP = .474 * e^{(.408)*ID} \quad (r=.987).$$

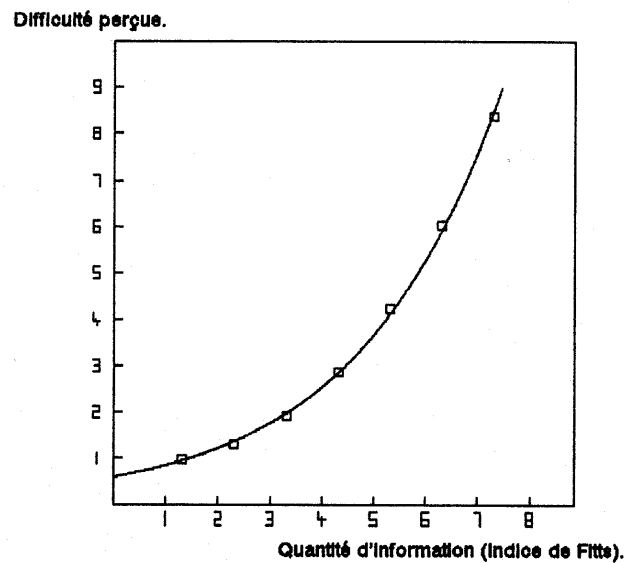


Figure 8.5.: Relation difficulté objective-difficulté perçue dans la tâche de Fitts. Les résultats représentés ont été obtenus par la méthode d'estimation des grandeurs.

Aucun autre type de fonction n'atteint un tel coefficient de corrélation. L'ajustement des échelles individuelles donne également des fonctions exponentielles (cf Annexe 4) de la forme:

$$DP = \alpha * e^{\beta ID}$$

On remarque que les valeurs de l'exposant ( $\beta$ ) ont une large dispersion. En pratique, si pour le sujet 9 la tâche la plus exigeante est quatre fois plus difficile que la tâche la plus facile, elle l'est seize fois plus pour le sujet 3 (alors qu'objectivement, ce rapport est de 5.5).

En psychophysique, les échelles et les "lois" dépendent de toutes façons du protocole expérimental (Bonnet, 1969, Tiberghien, 1984, Bonnet, 1986). Ainsi les fonctions logarithmiques semblent attachées à la méthode des seuils de Fechner et les fonctions puissances aux méthodes subjectives de Stevens. Ce qui est surprenant, c'est que reprenant scrupuleusement ces dernières méthodes, selon deux modalités distinctes, on obtienne pour tous les sujets et dans toutes les conditions des fonctions exponentielles.

Ce résultat se base sur le postulat que l'indice pertinent pris en compte par les sujets est la quantité d'information. On peut néanmoins faire l'hypothèse que cette fonction exponentielle masque la relation "authentique" entre la difficulté perçue et son stimulus véritable, fonction qui devrait être de type puissance.

Un stimulus envisageable est le temps de mouvement (TM): certains sujets ont en effet dit baser leurs estimations sur des indices rythmiques. Nous n'avions pas prévu dans cette première expérience de relever les performances des sujets en terme de temps moteur. On

peut néanmoins retrouver dans la littérature des données expérimentales obtenues selon des protocoles identiques. D'après les travaux classiques (Fitts et Peterson, 1964; MacKenzie et coll., 1987), la relation entre ID et TM est linéaire. Or, en reprenant les résultats des expériences princeps de Fitts (1954), on trouve les ajustements suivants:

Expérience Ia:

$$TM = (.095 * ID) - .013 \quad r = .983$$

$$TM = (.133) * e^{(.251)*ID} \quad r = .993$$

Expérience Ib:

$$TM = (.105 * ID) - .006 \quad r = .980$$

$$TM = (.133) * e^{(.263)*ID} \quad r = .994$$

Expérience II:

$$TM = (.090 * ID) + .150 \quad r = .919$$

$$TM = (.341) * e^{(.116)*ID} \quad r = .931$$

Expérience III:

$$TM = (.086 * ID) + .022 \quad r = .943$$

$$TM = (.209) * e^{(.151)*ID} \quad r = .954$$

(TM en secondes, ID en bits/réponse)

Ces ajustements indiquent la possibilité d'une liaison exponentielle entre ID et TM, de la forme

$$TM = a * e^{(b*ID)} \quad (3)$$

Les différences entre coefficients de corrélation sont minimales, et la figure 8.6, établie d'après les résultats de la première expérience de Fitts (Ia), dont le dispositif expérimental est rigoureusement identique au nôtre, montre que si une légère curvilinéarité apparaît, l'ajustement linéaire demeure une description acceptable de la relation.

Certains traitements ultérieurs permettent néanmoins de trancher clairement entre les deux ajustements. Le calcul de l'indice de performance, représentant la capacité du système de traitement et défini par Fitts comme le rapport indice de difficulté sur temps de mouvement, semble confirmer la validité de l'hypothèse exponentielle. Le tableau 8.1. indique les valeurs théoriques des indices de performance IP et IP', calculés dans le premier cas selon l'hypothèse de la fonction exponentielle, et dans le second selon l'hypothèse linéaire. On a indiqué également les valeurs expérimentales moyennes obtenues par Fitts (IPexp.).

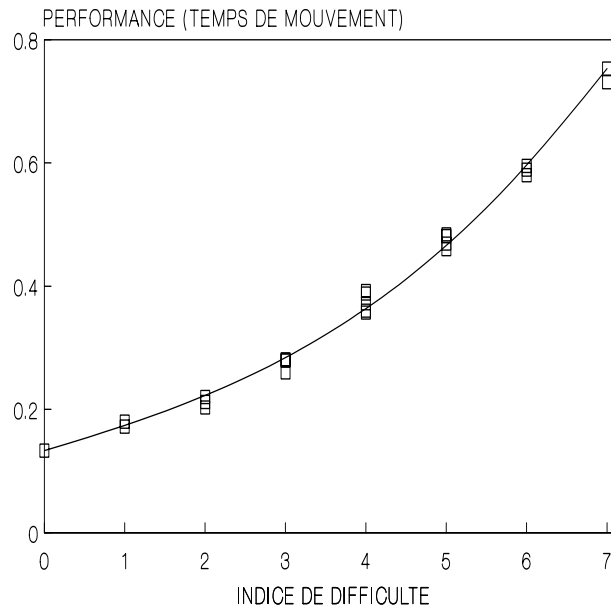


Figure 8.6: Relation indice de difficulté/temps de mouvement dans la première expérience de Fitts (Ia, 1954).

ID	IP	IP'	IP <sub>exp</sub>
1	5.94	9.30	5.56
2	9.38	9.89	9.82
3	11.11	10.10	10.99
4	11.70	10.21	10.70
5	11.55	10.28	10.46
6	10.95	10.33	10.21
7	10.09	10.36	9.58

Tableau 8.1.: Valeurs théoriques de l'indice de performance, selon les équations:

$$IP = ID/MT = ID/a * e^{(b * id)} \quad (a=.133, b=.236)$$

$$IP' = ID/a'ID + b' \quad (a'=.0947, b'=.0128),$$

et valeurs expérimentales moyennes (IP<sub>exp.</sub>), selon les résultats de la première expérience de Fitts (1954)

La distribution de IP concorde avec les données expérimentales de Fitts, les valeurs les plus hautes apparaissant pour des valeurs moyennes de ID, et l'indice décroissant aux deux extrémités du continuum. La distribution de IP ne rend pas compte de cette évolution pour les valeurs extrêmes de ID (cf. figures 8.7., 8.8. et 8.9.). La transformation de ID en IP, médiée par l'échelle des temps de mouvement, semble mettre en évidence l'exponentialité de la relation.

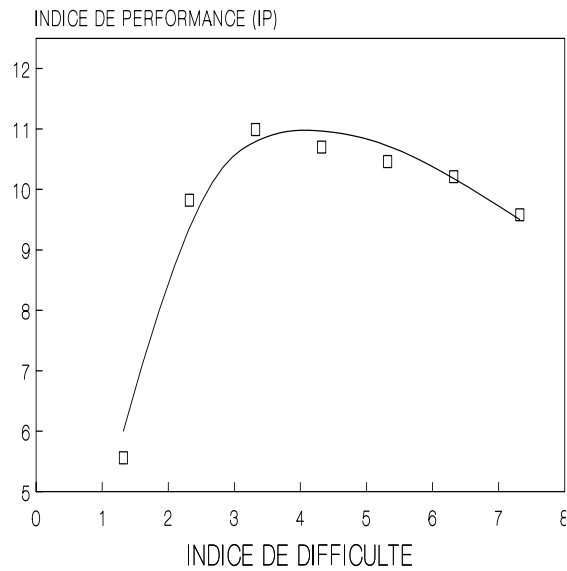


Figure 8.7.: Relation entre l'indice de performance et les valeurs moyennes de l'indice de performance, d'après les données expérimentales de Fitts.

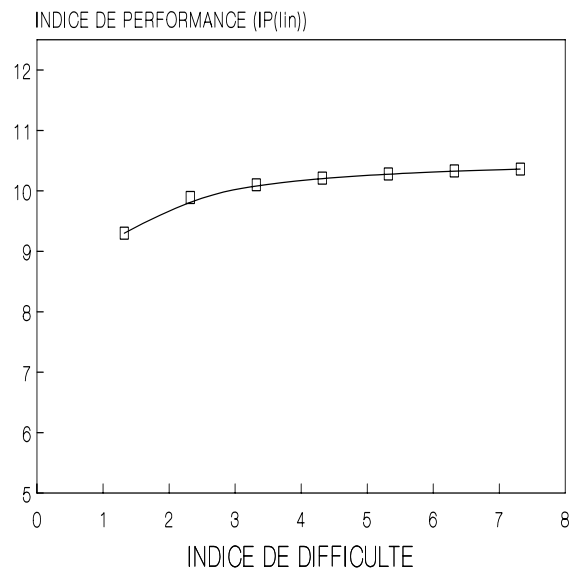


Figure 8.8.: Relation entre l'indice de difficulté et l'indice de performance théorique, calculé selon l'hypothèse linéaire.

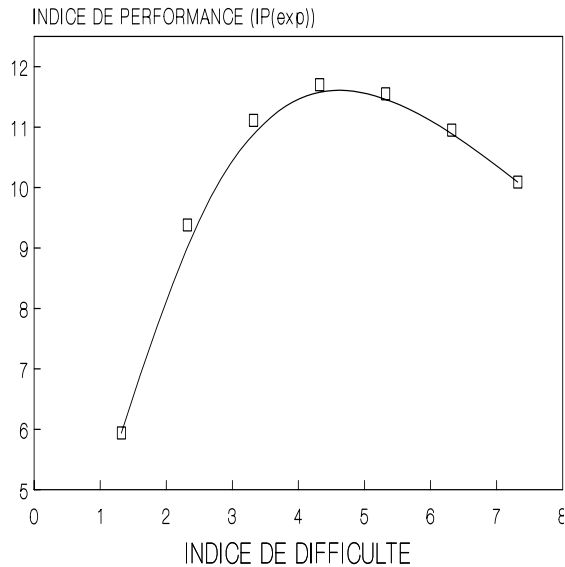


Figure 8.9.: Relation entre l'indice de difficulté et l'indice de performance théorique, calculé selon l'hypothèse exponentielle.

Des équations (1) et (3), on peut tirer

$$ID = (\log TM - \log \alpha) / b = (\log DP - \log \alpha) / \beta$$

D'où

$$\log DP = (\beta/b)(\log TM - \log \alpha) + \log \alpha$$

Donc

$$DP = e^{(\log \alpha - (\beta/b)\log \alpha)} * TM^{\beta/b}$$

$$= (e^{\log \alpha} / e^{(\beta/b)\log \alpha}) * TM^{\beta/b}$$

$$DP = (\alpha / (a^{\beta/b})) * TM^{\beta/b} \quad (4)$$

Afin de confirmer cette relation, on calcule, d'après les résultats (TM) de la première expérience de Fitts (Ia), les valeurs théoriques de la DP, à partir de l'équation (1), avec les  $\alpha$  et  $\beta$  obtenus au cours de notre expérimentation par la méthode d'estimation de grandeurs, soit

$$\alpha = .593 \quad \text{et} \quad \beta = .364$$

Le meilleur ajustement pour  $f(TM) = DP$  est une fonction puissance

$$DP = (10.860) * TM^{1.430} \quad r = .993$$

Dans cette logique, la difficulté perçue semble être une fonction puissance du temps de mouvement, d'exposant 1.4. Ceci concorderait avec les résultats de Ekman et Frankenhaeuser (1957), sur la perception de la durée.

Cette relation serait davantage en accord avec les résultats classiques de la psychophysique subjective (Laming, 1973). Par ailleurs, dans la construction d'échelles de rapports, les sujets doivent adopter un comportement numérique. On peut émettre l'hypothèse qu'ils cherchent alors des indices dans l'expression la plus patente de la difficulté de la tâche, c'est-à-dire dans leur propre performance et ses caractéristiques métriques. Néanmoins, et comme nous l'avons affirmé plus haut, la mise en évidence d'une corrélation ou d'une fonction d'ajustement entre deux variables ne prouve pas nécessairement une relation de cause à effet. Difficulté perçue et temps de mouvement peuvent être tous deux effets d'une cause commune, encore à déterminer.

Afin de tester la validité des deux hypothèses en concurrence (relation exponentielle entre difficulté objective et difficulté perçue, ou relation puissance entre la performance et la difficulté perçue), nous avons mis au point un second protocole expérimental. Il s'agissait de proposer aux sujets des tâches dont ils ne pourraient tirer aucun renseignement valide quant à leur performance. La réitération des résultats précédents prouverait que la performance n'est qu'une variable latérale, corrélée mais inessentielle dans la construction du sentiment de difficulté.

#### Expérience 9.

Nous avons opté pour une tâche caractérisée cette fois par la complexité (cf. Annexe 5.). Les sujets sont installés face à un micro-ordinateur. On leur demande de taper le plus vite possible sur le clavier les lettres qui apparaissent successivement à l'écran. Les sujets n'utilisent qu'une seule main et un seul doigt de la main. Ils reviennent avant chaque essai en position de départ, main posé sur la table, devant le clavier. Un cache placé sur le clavier ne rend visible que les touches correspondant aux lettres susceptibles d'apparaître dans une condition donnée. Le protocole se compose de cinq conditions, en fonction du nombre (n) de lettres susceptibles d'apparaître à l'écran, soit 2, 4, 8, 16, ou 32 lettres. Dans toutes les conditions, et à chaque essai, les n stimuli sont équiprobables. La quantité d'information contenue dans la tâche est donc égale à

$$I_n = \log_2 n \quad (\text{bits/essai}).$$

On suppose donc que la difficulté objective des cinq conditions sera respectivement de 1, 2, 3, 4, et 5. Le dispositif permet en outre de mesurer à chaque essai le temps séparant l'apparition du stimulus et la frappe de la touche correspondante. Mais les sujets n'ont pas connaissance de leurs résultats. Par ailleurs, les performances successives étant très variables dans ce type de tâche (Luce, 1986), il semble difficile pour les sujets d'évaluer leurs performances moyennes par tâche.

Les sujets réalisent dans chaque condition une série de huit essais. Comme dans l'expérience précédente, on construit deux échelles de rapport, la première selon la méthode de l'estimation des grandeurs, la seconde selon celle de l'estimation des rapports.

Les deux méthodes de construction d'échelles débouchent sur des ajustements exponentiels. Ce résultat confirme la première hypothèse: la quantité d'information véhiculée par la tâche semble fonctionnellement liée à la difficulté perçue par une relation exponentielle (figure 8.10.).

Selon la méthode d'estimation de grandeurs:

$$DP = .610 * e^{(.445)*I} \quad (r=.997)$$

Selon la méthode d'estimation des rapports:

$$DP = .533 * e^{(.484)*I} \quad (r=.984)$$

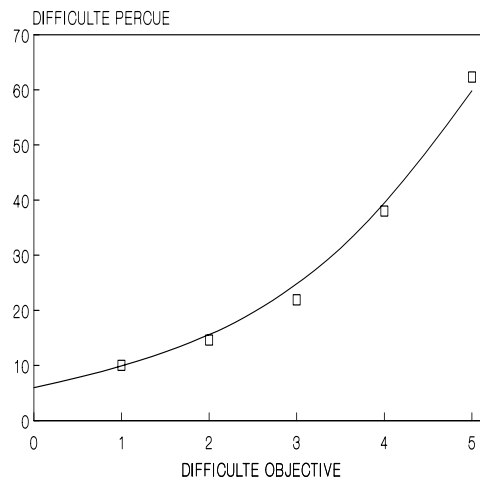


Figure 8.10.: Relation quantité d'information-difficulté perçue dans la tâche de recherche visuelle. Les résultats représentés ont été obtenus par la méthode d'estimation des grandeurs.

La relation exponentielle entre quantité d'information et difficulté perçue se trouve donc validée. Néanmoins, si l'on calcule le meilleur ajustement pour la relation entre la quantité d'information et le temps de réponse moyen (Trep.) par tâche, on trouve à nouveau, comme pour les tâches de Fitts, une exponentielle (figure 8.11).

$$Trep. = .136 * e^{(.206)*I} \quad (r=.999).$$

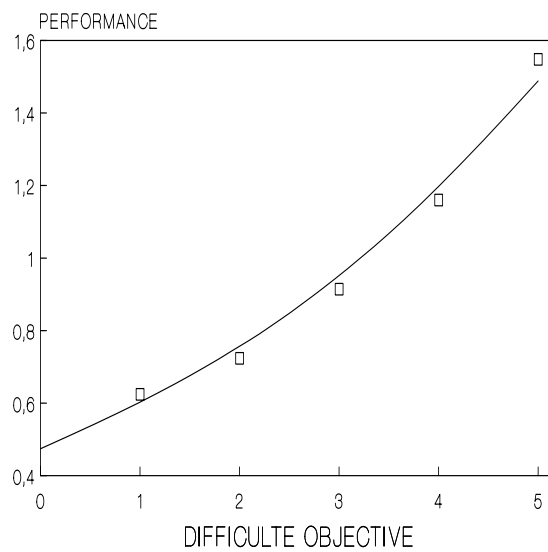


Figure 8.11: Relation quantité d'information-temps de réponse dans la tâche de recherche visuelle.

L'ajustement linéaire ne donne qu'une corrélation de .991. L'analyse de ce résultat est délicate. Le temps de réponse, dans cette tâche, est une variable complexe rendant compte du temps de réaction du sujet (TR), du temps de recherche de la lettre correspondante (Trec), et du temps moteur (TM) entre la position de départ de la main et la position finale. Admettons que le temps de réponse soit la simple addition de ces trois temps:

$$Trep. = TR + Trec + TM$$

La précision requise pour le pointage ne variant pas, on peut considérer que TM est une constante. Quant à TR et Trec, divers travaux ont montré qu'ils étaient des fonctions linéaires de la quantité d'information à traiter (Hick, 1952; Hyman, 1953; Luce, 1986), soit:

$$TR = aI + b$$

et  $Trec = cI + d$

d'où  $Trep. = (a + c)I + (b + d + cte)$  .

Cette démonstration est invalidée par nos résultats expérimentaux, puisque nous montrons que le temps de réponse est une transformation exponentielle de la quantité d'information. Si maintenant on pose l'hypothèse qu'à l'instar du temps de mouvement dans la tâche de Fitts, TR et Trec sont des fonctions exponentielles de la quantité d'information, on a:

$$TR = a * e^{bI}$$

et  $Trec = c * e^{dI}$

d'où  $Trep = a * e^{bI} + c * e^{dI} + cte$  .

Mathématiquement, l'addition de deux fonctions exponentielles ou l'addition d'une constante à une fonction exponentielle ne donne pas une nouvelle exponentielle. La fonction résultante est néanmoins positivement accélérée, et un test d'ajustement la décrit généralement comme une exponentielle.

Mais par ailleurs l'hypothèse de l'addition simple des trois composantes est démentie empiriquement, les sujets par exemple pouvant initier le trajet de la main avant l'identification complète de la position de la cible. Nous avons essayé de l'estimer, avec trois sujets et pour les quatre premières tâches, le gain en temps de réponse dans le cas où le sujet commence chaque essai en positionnant la main au-dessus du clavier, et non posée sur la table (cf. tableau 8.2.). Le gain est de 18% du temps de réponse pour la tâche A, 10% pour la tâche B, 5% pour la tâche C, et 2% pour la tâche D. Si dans les deux cas l'ajustement des données est exponentiel, la réduction du temps moteur dans la seconde condition entraîne l'augmentation de l'exposant caractérisant la relation (figure 8.12.). Ce qui reviendrait à dire que plus on isole (TR + Trec), plus on met en évidence l'exponentialité de la relation, et l'éloignement du modèle linéaire. Ces résultats nous incitent donc à supposer que les variables temps de réaction et temps de recherche sont des transformations exponentielles de la quantité d'information, tout comme le temps moteur dans la tâche de Fitts.

Tâche	I	Trep. (P1)	Trep. (P2)	Gain (%)
A	1	.608	.498	18.11
B	2	.712	.639	10.25
C	3	.897	.848	5.47
D	4	1.079	1.060	1.75

Tableau 8.2.: Temps de réponse moyens (en secondes) obtenus sur les tâches A, B, C et D, en fonction de la position de départ de la main effectrice (P1= main posée sur la table, P2= main au-dessus du clavier).

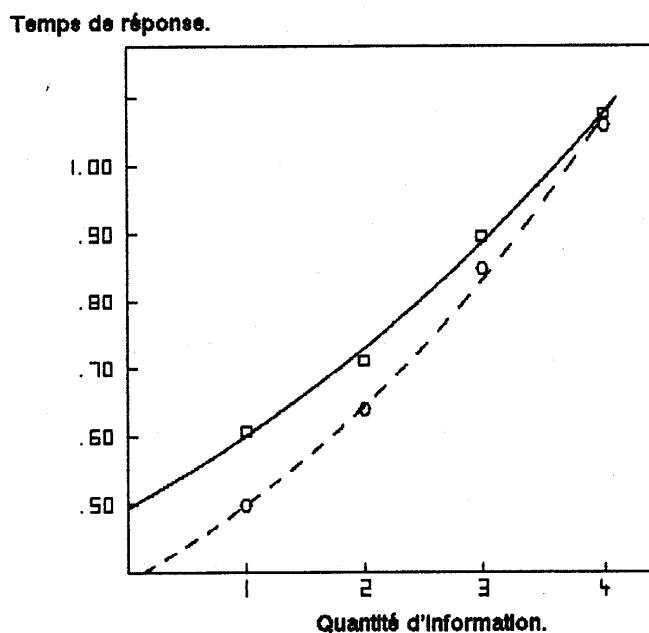


Figure 8.12.: Relations quantité d'information/temps de réponse. En continu, position de départ main posée sur la table ( $Trep. = (.494) * e^{(.195)I}$ ), en pointillé, position de départ main au-dessus du clavier ( $Trep. = (.387) * e^{(.255)I}$ ).

Ces hypothèses peuvent nous permettre de proposer un modèle interprétatif global. Si l'on admet que la construction d'échelles de rapport doit déboucher sur la mise en évidence de fonctions de type puissance (Laming, 1973), on peut supposer que la relation exponentielle liant quantité d'information et difficulté perçue est médiée par une variable intermédiaire, qui entretiendrait une relation de type puissance avec la difficulté perçue. Ceci suppose que cette variable intermédiaire soit une transformation exponentielle de la quantité d'information.

Nos résultats expérimentaux nous amènent à introduire ici le concept de charge de travail, ou *charge mentale*. Selon Welford (1977), cette charge peut être exprimée "comme le rapport des exigences de la tâche à la capacité maximale moyenne de l'opérateur". L'auteur poursuit en précisant que "le temps mis pour accomplir une tâche à la vitesse maximale donne une indication de la capacité en termes d'exigences qui peuvent être remplies dans un temps donné, et une indication des exigences en termes de temps requis, de telle sorte que la charge de travail peut être mesurée en comparant le temps minimum requis avec le temps disponible". Dans le cadre des deux expérimentations qui précèdent, on peut postuler que la charge mentale corrèle avec le temps requis, les tâches proposées n'étant soumises à aucune

pression temporelle, sinon celle que s'impose le sujet. Charge mentale et temps requis étant donc linéairement liés, la charge mentale serait donc une transformation exponentielle de la quantité d'information. La figure 8.13. propose une modélisation de ces hypothèses.

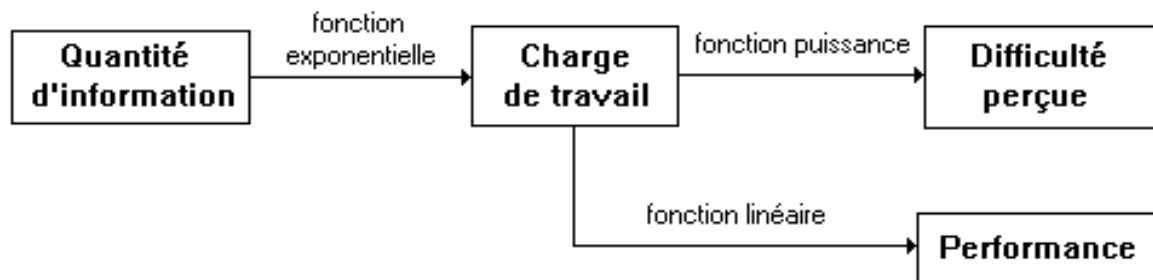


Figure 8.13.: Modélisation des relations entre quantité d'information et difficulté perçue.

Dans ce sens, on pourrait avancer l'hypothèse selon laquelle le stimulus pertinent pour la difficulté perçue serait la charge mentale (CM). La relation serait du type:

$$DP = \tau * CM^\delta, \quad \text{avec } \delta = \beta/b.$$

Ceci peut permettre d'établir une analogie avec les travaux réalisés sur la perception de l'effort: Les transformations de type puissance généralement mises en évidence sont rapportées soit aux exigences de la tâche (par exemple la vitesse imposée par le tapis roulant), soit aux indicateurs physiologiques pertinents (la fréquence cardiaque notamment). Le choix de l'abscisse peut sembler de peu d'importance, les deux étant généralement linéairement liées (Gamberale, 1972; Borg et coll., 1987). Mais s'il s'agit d'identifier le stimulus réellement pris en compte par les sujets, c'est logiquement vers l'analyse des indicateurs physiologiques que s'orientent les auteurs (Ekblom et Goldbarg, 1971; Robertson, 1982; Cafarelli, Cain et Stevens, 1977). Nous avons par ailleurs montré (cf. chapitre 7.1.3.) que les différences constatées par Borg et coll. (1987) dans les exposants caractérisant les relations intensité-effort perçue en fonction du type d'activité (bicyclette, course ou marche) disparaissaient si l'on prenait pour échelle des stimuli la fréquence cardiaque. *Que ce soit au niveau de la dimension énergétique ou à celui de la dimension bioinformatiionnelle, l'évaluation des exigences de la tâche semblerait donc se baser sur la charge de travail, c'est-à-dire sur le degré de mobilisation du système face aux contraintes qui lui sont imposées.*

Si l'on considère que le temps requis constitue une mesure valide de la charge mentale, on aurait les relations suivantes:

Pour la difficulté:

$$DP = (10.860) * CM^{1.430} \quad r = .993$$

Pour la complexité:

$$DP = (44.975) * CM^{2.155} \quad r = .997$$

L'hypothèse de la croissance exponentielle de la charge mentale avec la quantité

d'information mérite quelques développements. Soit la relation:

$$CM = a * e^{bI}$$

Dans ce cas, le rapport d'accroissement de C par rapport à I est à tout niveau proportionnel à la valeur déjà atteinte par CM (Snedecor et Cochran, 1967). Le facteur de proportionnalité est l'exposant de la fonction (b). Ce que l'on peut décrire par l'équation suivante:

$$dCM/dI = bCM$$

Plus largement, si la quantité d'information augmente d'une unité ( $\Delta I=1$ ):

$$\begin{aligned} \Delta CM &= (a * e^{b(I+1)}) - (a * e^{bI}) \\ &= a ((e^{bI} * e^b) - e^{bI}) \\ &= (e^b - 1) * (a * e^{bI}) \\ &= kCM \end{aligned}$$

C'est à dire que la charge mentale va augmenter de k par bit supplémentaire d'information et par unité de charge. Si l'on reprend les valeurs expérimentales obtenues, on obtient pour la difficulté:

$$b=.206 \quad k=.229$$

et pour la complexité:

$$b=.236 \quad k=.266$$

Considérons un système qui obéirait à la relation suivante:

$$CM = e^{(\log_2)I}$$

Dans ce cas, on a

$$a=1 \quad b=.693 \quad k=1$$

On vérifie pour les valeurs successives de I la relation démontrée plus haut:

$$CM_n = CM_{n-1} + \Delta CM_{n-1} = e^{b \ln-1} + k e^{b \ln-1}$$

$$CM_1 = e^{b \cdot 2}$$

$$CM_2 = e^b + k e^b = 2+2= 4$$

$$CM_3 = e^{b \cdot 2} + k e^{b \cdot 2} = 4+4= 8$$

$$CM_4 = e^{b \cdot 3} + k e^{b \cdot 3} = 8+8= 16 \quad \text{etc...}$$

On peut modéliser cet accroissement en considérant que le système réagit à l'information par l'activation d'un réseau ramifié, chaque bit supplémentaire provoquant le dédoublement de chaque ramification, et chaque ramification correspondant à une unité de charge mentale (figure 8.14.)

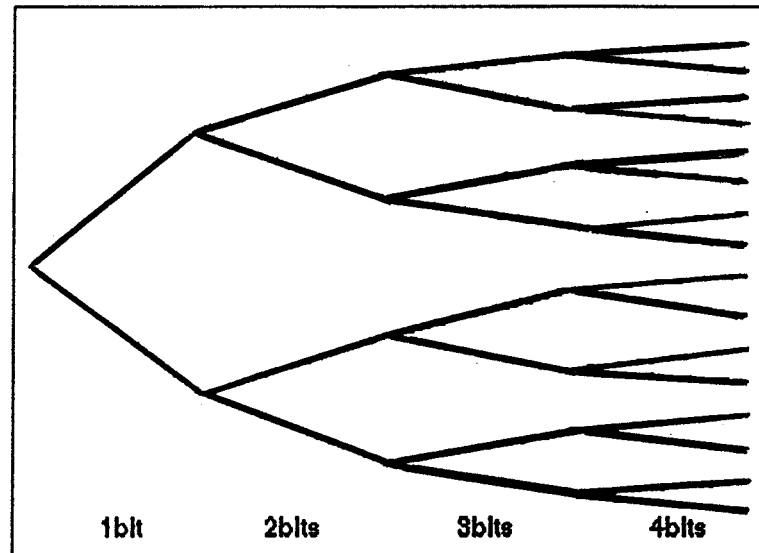


Figure 8.14.: Modélisation hypothétique de l'accroissement de la charge mentale en fonction de la quantité d'information.

Cette modélisation est évidemment simpliste, car il faudrait en fait considérer les accroissements linéaires de la quantité d'information, et les valeurs expérimentales de  $k$ . Mais il peut illustrer le type de mobilisation des ressources cognitives requis par le traitement de l'information.

Si par ailleurs on analyse les distributions des exposants  $\beta$ ,  $b$  et  $\alpha$  (cf. tableau 8.3.), on peut se rendre compte que la variance de  $b$  est relativement plus réduite que celle des deux autres exposants. Les corrélations obtenues sont de  $.739$  ( $p < .01$ ) entre  $\alpha$  et  $\beta$ , et de  $.526$  ( $p < .05$ ) entre  $b$  et  $\beta$ . Une analyse de régression montre que  $b$  rend compte de 27.65% de la variance de  $\beta$ , contre 54.60% pour  $\alpha$ .  $b$  et  $\alpha$  semblent par ailleurs indépendants ( $r = .168$ , NS).

Sujet	$\beta$	b	$\delta$
1	.343	.236	1.453
2	.234	.146	1.427
3	.468	.253	1.821
4	.563	.198	2.825
5	.559	.188	2.973
6	.298	.161	1.848
7	.617	.216	2.845
8	.320	.194	1.559
9	.370	.157	2.222
10	.334	.247	1.357
11	.391	.231	1.649
12	.582	.253	2.323
13	.524	.286	1.797
14	.264	.129	1.978
15	.400	.158	2.455
<b>Moyenne</b>	<b>.418</b>	<b>.203</b>	<b>2.034</b>
<b>Ecart-type</b>	<b>.125</b>	<b>.005</b>	<b>.543</b>
<b>Coefficient de Variation</b>	<b>29.919</b>	<b>23.054</b>	<b>26.712</b>

Tableau 8.3.: Valeurs des exposants  $\beta$ , b et  $\alpha$ , obtenues pour chaque sujet après ajustement des données expérimentales (méthode d'estimation des grandeurs), moyennes, écart-type et coefficient de variation des distributions.

Ces données semblent indiquer que si l'on retrouve au niveau de  $\alpha$  le type de distribution caractéristique des exposants de fonction psychophysique, exprimant en partie les différences dans le comportement numérique des sujets (Bonnet, 1969; Gescheider, 1988), b paraît plus stable et pourrait correspondre à une variable caractéristique du système de traitement de l'information.

Les lois respectives de Fitts et de Hick demeurent néanmoins, dans une perspective pratique, des instruments fiables de prédiction des performances en fonction de la quantité d'information. On a vu que dans les deux expériences, l'ajustement linéaire présente un coefficient de corrélation élevé, à peine plus faible que celui que celui de l'ajustement exponentiel. Selon notre modèle, c'est la transformation puissance liant charge mentale et difficulté/complexité perçues qui mettrait clairement en évidence l'exponentialisation, l'exposant de la transformation globale étant égal au produit des exposants des deux transformations successives ( $\beta = b * \alpha$ ).

Expérience 7.

Dans le cadre des expériences sur les tâches de Fitts (cf. Annexe 4.), nous avons comparé les exposants  $\beta$  obtenus par une population de grimpeurs de haut-niveau ( $n=14$ ) et un groupe témoin ( $n=14$ ). L'exposant moyen est de .275 pour les grimpeurs, et de .366 pour le groupe témoin. La différence est significative ( $t=2.82$ ,  $p<.01$ ). Ce résultat est à relier à l'hypothèse de Teghtsoonian (1971) et Borg (1972), selon laquelle la valeur de l'exposant individuel est liée à l'étendue dynamique du stimulus, c'est-à-dire au rapport entre le seuil maximal et le seuil absolu. Les recherches réalisées pour confirmer cette hypothèse n'ont pas pu donner de résultats définitivement convaincants (Borg et Karlsson, 1976; Teghtsoonian, Teghtsoonian et Karlsson, 1981). Notre résultat présent irait dans le sens de cette hypothèse, si l'on considère que les grimpeurs de haut-niveau, à la différence du groupe témoin, ont l'expérience des limites humaines de la difficulté et donc "gèrent" une étendue dynamique du stimulus plus vaste.

Expériences 6 et 9.

Enfin, nous avons pu comparer les exposants individuels obtenus par 15 sujets dans les deux expériences décrites (cf. Annexes 4 et 5.). Le traitement statistique des deux distributions (cf. tableau 8.4.) fait apparaître les résultats suivants: le coefficient de corrélation des rangs de Spearman est égal à .636. La corrélation linéaire entre les deux distributions est de .442.

Sujet	Exposant $\beta$ (difficulté)	Rang	Exposant $\beta$ (complexité)	Rang
1	.263	5	.343	6
2	.325	8	.234	1
3	.498	15	.468	10
4	.259	4	.563	12
5	.328	9	.559	13
6	.249	3	.298	3
7	.397	11	.617	15
8	.443	13	.320	4
9	.229	1	.370	7
10	.242	2	.334	5
11	.267	6	.391	8
12	.467	14	.589	14
13	.411	12	.524	11
14	.278	7	.264	2
15	.347	10	.400	9

Tableau 8.4.: Exposants  $\beta$  individuels obtenus dans les deux expériences décrites (méthode d'estimation des grandeurs).

Cette comparaison met en évidence la relative indépendance des deux distributions. On relève pourtant classiquement une certaine stabilité dans les exposants individuels, pour des continums différents, due au comportement numérique particulier de chaque sujet (Bonnet, 1986). Ce résultat tend à valider la distinction réalisée par Hayes et Marteniuk (1976) entre difficulté et complexité. Les deux types d'exigences semblent mobiliser des processus largement différenciés. La différence mise en évidence en ce qui concerne les tâches de Fitts entre les grimpeurs de haut-niveau et un groupe témoin n'est par ailleurs pas retrouvée en ce qui concerne la tâche de recherche visuelle.

Afin de valider notre modèle interprétatif et d'asseoir notre méthodologie, nous avons réalisé une autre expérience, avec des tâches bidimensionnelles, mêlant complexité et pression temporelle.

### 8.1.1.3. EXIGENCES PERÇUES ET PRESSION TEMPORELLE.

La pression temporelle est une des caractéristiques majeures des tâches sportives (Alain et Proteau, 1980; Ripoll, Papin et Simonet, 1983). Si dans les expériences précédentes, les sujets avaient pour consigne d'aller le plus vite possible, rien dans le protocole ne venait contraindre le décours temporel de leur activité. Les activités sportives supposent généralement des contraintes à ce niveau: soit il s'agit d'un sport d'opposition et c'est alors l'adversaire qui impose un rythme d'exécution, soit c'est la tâche elle-même qui génère des contraintes temporelles (par exemple, un grimpeur doit prendre des décisions avant l'épuisement de ces ressources énergétiques). On peut définir la pression temporelle comme le rapport entre le temps requis pour l'exécution de la tâche et le temps disponible (Alain et Proteau, 1980; Stein, 1987).

Peu de travaux ont porté spécifiquement sur cet aspect. Phillip, Reiche et Kirchner (1971), analysant la difficulté perçue dans les tâches de contrôle aérien, montrent que la pression temporelle constitue un des déterminants majeurs du sentiment de difficulté. Dornic et Stone (1974) comparent la difficulté perçue dans des tâches à allure libre ou imposée: à quantité d'information égale, la difficulté perçue est significativement plus élevée dans les tâches à allure imposée.

Expérience 10
---------------

Nous avons mis au point un dispositif permettant d'analyser les contributions relatives de la quantité d'information et du temps disponible (cf Annexe 6). Les sujets sont installés face à un micro-ordinateur. Des lettres s'affichent successivement au centre de l'écran, selon un rythme de une lettre toutes les 1.078, .980, .862, .754, .647 secondes. Chaque essai est constitué d'une série de dix lettres. Le sujet doit taper les lettres au fur et à mesure de leur apparition. Un cache placé sur le clavier ne rend visible que les touches correspondant aux lettres susceptibles d'apparaître dans une condition donnée. Le protocole permet quatre conditions, en fonction du nombre (n) de lettres susceptibles d'apparaître à l'écran, soit 2, 4, 8, ou 16 lettres. Les n stimuli sont équiprobables. La quantité d'information contenue dans la tâche est donc égale à

$$I_n = \log_2 n.$$

En croisant les quatre conditions et les cinq rythmes, on obtient 20 tâches expérimentales. Le dispositif permet en outre de mesurer, pour chaque essai, le temps séparant l'apparition d'une lettre de la frappe de la touche correspondante. On demande aux sujets d'évaluer après essai la complexité de chacune des tâches, selon la méthode d'estimation des grandeurs.

On vérifie comme précédemment que le temps requis est une transformation exponentielle de la quantité d'information contenue dans les tâches (figure 8.15.):

$$T_{req.} = (.303) * e^{(.265)I} \quad (r=.998).$$

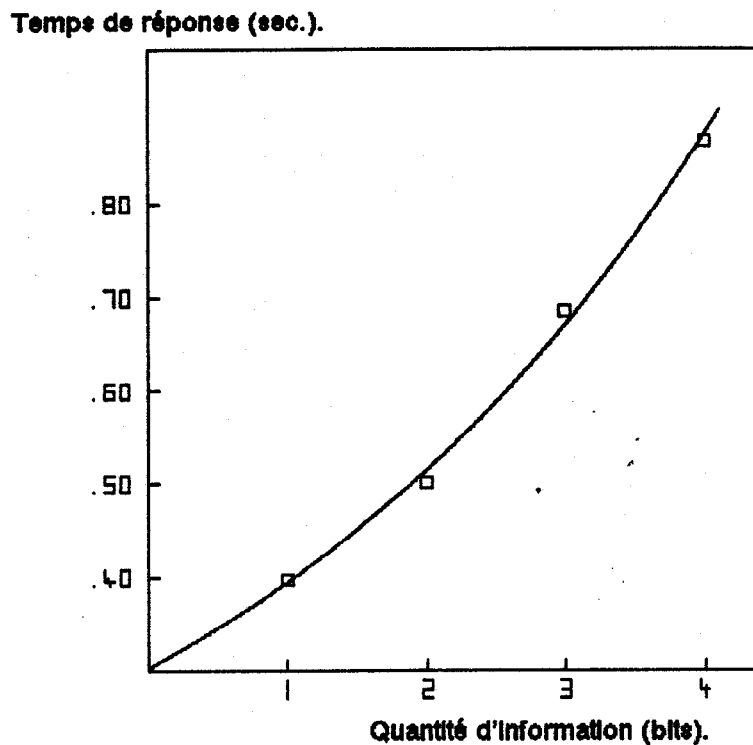


Figure 8.14.: Relation quantité d'information-temps de réponse dans la tâche de recherche visuelle sous pression temporelle.

Par contre, le temps requis semble indépendant de la pression temporelle (cf. Annexe 6.).

Si l'on considère que la complexité objective est égale au rapport quantité d'information/temps disponible, on retrouve à nouveau une transformation exponentielle entre complexité objective et complexité perçue (figure 8.16.):

$$CP = 9.434 * e^{(.381)CO} \quad (r=.969).$$

### Complexité perçue

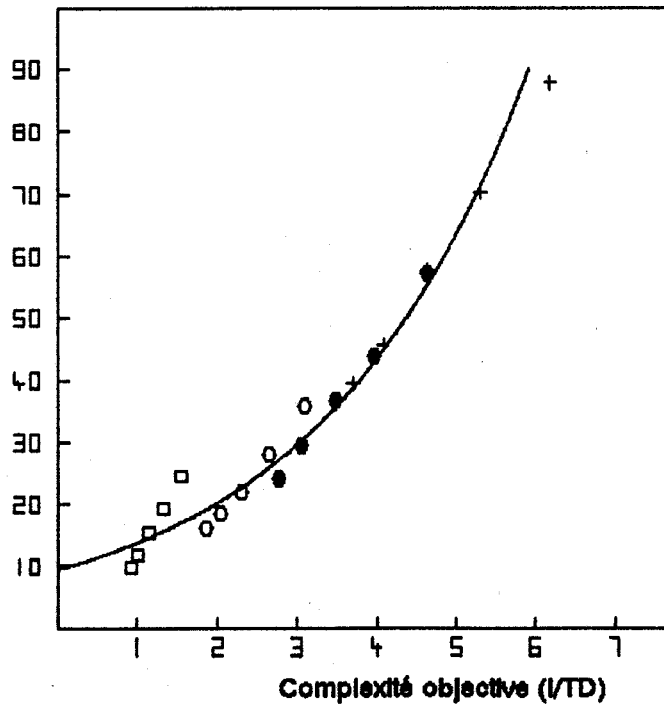


Figure 8.16.: Relation complexité objective-complexité perçue. On considère que la complexité objective est égale au rapport quantité d'information/temps disponible.

Néanmoins cette description n'est qu'imparfaite, et surtout ne correspond pas avec le postulat couramment admis que le rapport temps requis/temps disponible constitue une mesure valide de la charge mentale (Welford, 1977; Moray, 1982; Stein, 1987).

En effet si l'on considère que:

$$CM = Treq./TD.$$

Et que conformément à nos résultats précédents:

$$Treq. = a * e^{bI},$$

$$CM = c * e^{dCO},$$

$$CP = \alpha * e^{\beta CO},$$

alors la complexité objective devra s'exprimer selon l'équation suivante:

$$CO = (b/d)I - (1/d)\log TD + (\log \alpha - \log c)/d \quad (1).$$

On montre que la complexité perçue est une transformation exponentielle de l'échantillon des complexités objectives ainsi constitué, avec un coefficient de corrélation proche de l'unité (figure 8.17.):

$$CP = (8.754) * e^{(.406)CO} \quad (r=.999).$$

avec  $b=.268$  et  $d=.246$ .

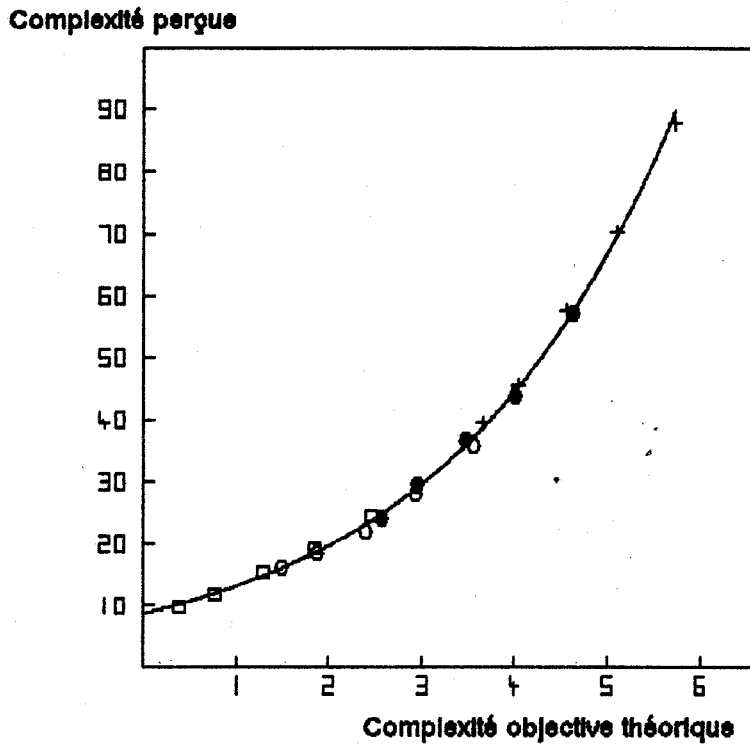


Figure 8.17.: Relation complexité objective-complexité perçue. La complexité objective est calculée selon l'équation (1).

On vérifie par ailleurs que la complexité perçue est une transformation puissance du rapport temps requis/temps disponible (figure 8.18):

$$CP = (50.973) * (T_{req.}/TD)^{1.711} \quad (r=.998).$$

Si par ailleurs on postule que  $b=d$ , l'équation de complexité objective prend une forme simplifiée, soit:

$$CO = I - (1/b)\log TD$$

La recherche du meilleur ajustement avec la complexité perçue donne également une fonction exponentielle, avec une coefficient de corrélation identique au précédent:

$$CP = (7.503) * e^{(.441)CO} \quad (r=.999)$$

Cette dernière équation peut donc pratiquement constituer un commode outil de mesure de la complexité objective des tâches sous pression temporelle. L'expérience permet de montrer par ailleurs qu'à temps disponible constant, la complexité perçue est une transformation exponentielle de la quantité d'information:

$$CP = (\alpha / e^{\beta k}) * e^{\beta I}$$

### Complexité perçue.

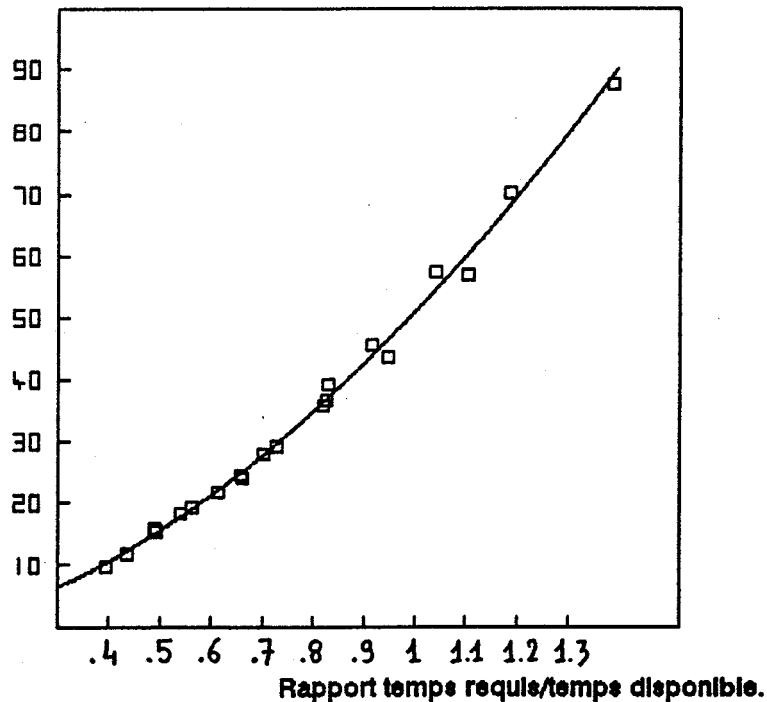


Figure 8.18.: Relation entre le rapport temps requis/temps disponible et la complexité perçue.

Par contre, à quantité d'information constante, la complexité perçue est une transformation puissance de la pression temporelle:

$$CP = (\alpha * e^{\beta k}) * (1/TD)^{\beta/b}$$

Au-delà des éléments qu'elle apporte au niveau de la mesure et de la manipulation des exigences objectives des tâches sous pression temporelle, cette expérience confirme et valide le modèle interprétatif que nous avons précédemment proposé (cf. figure 8.13.). Nous avons évoqué les conclusions des chercheurs du Département de Psychologie de l'Université de Stockholm, doutant de l'existence d'un sentiment "authentique" de difficulté et y voyant une construction médiée par des facteurs secondaires, variables suivant les tâches: performance, structure perceptive de la tâche, etc...(Dornic, Sarnecki et Svensson, 1973). Nos résultats expérimentaux nous amènent à formuler une hypothèse inverse, à savoir l'existence d'un *processus basal*, dont l'origine serait la charge mentale liée aux opérations de traitement requises par la tâche. Si nous parlons de processus basal, c'est que nous n'écartons pas le principe de la "contamination par des facteurs secondaires", évoquée notamment par Borg, Bratfish et Dornic (1971a). Nous avons ainsi pu montrer (cf Expérience 5, Annexe 4), à propos des tâches de Fitts, que si la quantité moyenne d'information (ID) était le principal facteur explicatif de la difficulté perçue, une part de la variance était expliquée par certains indices visuels prélevés sur les tâches, et notamment la largeur des cibles.

La relation exponentielle que nous avons mis en évidence entre quantité d'information et difficulté perçue est par ailleurs cohérente avec de nombreux travaux antérieurs du groupe de

Stockholm. Certaines expériences avaient en effet permis de mettre en évidence ce type de relation (Bratfisch, Dornic et Borg, 1972; Borg, Bratfisch et Dornic, 1971b). Dans cette dernière expérience, la mesure de la difficulté objective pouvait être assimilée à une mesure de la quantité d'information présente dans les messages à mémoriser. Quant à l'expérience sur les tâches de recherche visuelle (Borg, Bratfisch et Dornic, 1971c), si l'on considère que la quantité d'information présente dans les matrices est égale au logarithme du nombre de stimuli, un ajustement exponentiel satisfaisant peut être appliqué aux données expérimentales (figure 8.19.)

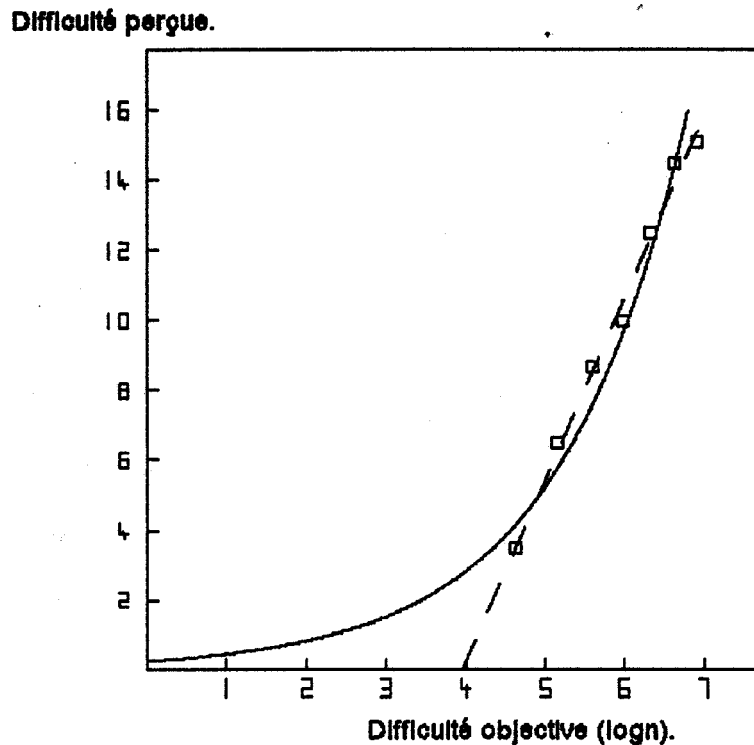


Figure 8.19.: Ajustement exponentiel des données expérimentales de Borg, Bratfisch et Dornic (1971c).  $DP = (.236) * e^{(.620)DO}$  ( $r = .975$ ). L'ajustement linéaire est présenté en pointillé:  $DP = (5.2 * DO) - 20.586$  ( $r = .996$ ).

### 8.1.2. LES ECHELLES DE CATEGORIE.

L'analyse des exposants individuels des fonctions exponentielles mises en évidence par les échelles de rapport nous ont permis d'ébaucher une analyse comparative. Mais il est certain que ce système demeure lourd à manier. Il était donc intéressant de voir si l'on pouvait, à l'instar des travaux de Borg sur l'effort perçu, construire une échelle de catégories susceptible de posséder des propriétés similaires à la RPE scale. Quelques travaux antérieurs ont approché ce problème (Herbert, 1974a; Bratfisch, Borg et Dornic, 1972; Hallsten et Borg, 1975). Ces derniers, en reprenant le test utilisé par Borg et Forsling (1964) comparent diverses échelles, dont 4 de catégories à 5, 7, 9, et 11 échelons, construites sur les principes de la RPE scale. Dans tous les cas, ces échelles varient linéairement avec la difficulté objective

(définie comme la fréquence de solutions correctes dans un groupe à large effectif, distinct du groupe expérimental). Des corrélations de l'ordre de .80 sont mises en évidence. Brattfish, Borg et Dornic (1972) utilisent une échelle symétrique en 9 échelons, pour l'évaluation de la difficulté de trois tests mentaux: le premier consiste à compléter une série de nombres, après en avoir identifié la logique, le second à trouver l'action à exercer sur un mécanisme plus ou moins complexe de leviers, pour parvenir à un résultats défini à l'avance, le troisième est une recherche de synonymes dans une liste de cinq mots. Dans tous les cas les auteurs mettent en évidence une relation linéaire entre la difficulté objective (définie comme la fréquence des réponses correctes) et la difficulté perçue. Les corrélations linéaires sont respectivement de .94, .80, .82 pour les trois tests. Famose et Genty (1990), utilisent une échelle symétrique en 7 points, dans une tâche de lancer de fléchettes sur cible mobile. La corrélation entre difficulté perçue et difficulté objective (définie cette fois comme la performance moyenne du groupe expérimental) est de .97.

#### Expériences 5 et 8

Nous avons pour notre part utilisé une échelle en 15 échelons et 7 labels, calquée sur la RPE scale de Borg, à propos des tâches de pointage de Fitts (cf. Expérience 5, Annexe 4.) et des tâches de recherche visuelle (cf. Expérience 8, Annexe 5.). Dans les deux cas, la difficulté objective est opérationnalisée comme la quantité moyenne d'information à traiter pour réaliser la tâche. La difficulté perçue apparaît comme une transformation linéaire de la difficulté objective (les corrélations sont respectivement de .994 et .997). Nous avons également étudié, en utilisant les tâches de Fitts, une échelle en 13 échelons et 6 labels inspirée de l'échelle de cotation utilisée en escalade (cf. Expérience 5, Annexe 4.). Cette échelle ne respecte pas la répartition symétrique des labels préconisée par Borg. La corrélation obtenue avec la quantité d'information est de .993.

Ce résultat tend à relativiser la puissance de ce type d'échelle. Les sujets ont tendance à répartir les stimuli sur l'ensemble du continuum, quelque soit la répartition qualitative des labels. Dans ce sens, les échelles de catégorie ne semblent pas dépasser une logique ordinale, ce qui semble les rendre impropre à mettre en évidence une quelconque relation psychophysique. Leur utilisation dans le cadre d'études interindividuelles ou dans une perspective clinique reste néanmoins incontournable.

## 8.2. ESTIMATION DES EXIGENCES.

Les seuls travaux concernant cet aspect ont porté sur les probabilités subjectives d'atteinte du but. On a vu qu'un des postulats fondateurs de la théorie d'Atkinson (1957) était l'équivalence difficulté estimée-probabilité subjective de succès. Outre les remarques de Robaye (1963), arguant que ce type d'estimation ne relevait pas, au sens mathématique du terme, d'une échelle de probabilité, mais d'une échelle qualitative beaucoup plus grossière, le postulat d'Atkinson semble peu pertinent, notamment en ce qui concerne les habiletés motrices. On peut sans conteste estimer qu'une tâche est plus difficile qu'une autre, et néanmoins s'accorder dans les deux cas 100 pour cent de chances de réussite. Difficulté estimée et probabilité subjective de succès semblent relever de deux constructions cognitives différentes (Kukla, 1972).

Dans le but de savoir si cette estimation pouvait avoir quelque précision, nous avons demandé à nos sujets d'évaluer la difficulté des tâches de Fitts, avant toute pratique effective de la tâche (cf. Annexe 4). Nous avons pour cela utilisé l'échelle de catégorie dérivée de la RPE scale. La difficulté estimée corrèle avec la difficulté objective ( $r=.995$ ), et avec la difficulté perçue après pratique ( $r=.993$ ). Nous avons ensuite demandé aux sujets d'estimer la difficulté d'une seconde série de tâche, différente de la première. Le but était de savoir si l'expérience permettait d'améliorer la précision de l'estimation. La nouvelle échelle corrèle avec la difficulté objective ( $r=.975$ ) et avec la difficulté estimée avant pratique ( $r=.994$ ). Nous avons par ailleurs tenté, avec trois sujets, de construire des échelles de rapport, selon la méthode d'estimation des grandeurs, de la difficulté estimée avant pratique. Les résultats s'ajustent selon des fonctions exponentielles, dont les exposants individuels sont très proches des exposants trouvés pour la difficulté perçue.

Les sujets paraissent donc parfaitement capables d'évaluer à l'avance et avec précision la difficulté informationnelle. On peut supposer qu'ils sont capables de se projeter par anticipation dans la tâche, afin d'en estimer clairement les contraintes. Encore faut-il préciser que les tâches de Fitts renvoient à une motricité surapprise, proche par exemple de l'écriture. D'autres expériences pourront vérifier si cette précision se retrouve avec des tâches moins familières.

### 8.3. MESURE QUANTITATIVE DE LA DIFFICULTE: L'EXEMPLE DE L'ESCALADE.

Les expériences présentées dans ce chapitre nous ont permis de tester la pertinence de la description de la difficulté et de la complexité objectives en terme de quantité d'information. Cette approche permet de dépasser la hiérarchisation qualitative des tâches, et d'exprimer le niveau d'exigence dans une logique de rapport. Ainsi, dans les trois tâches que nous avons utilisées, nous avons pu proposer des équations de difficulté objective, à partir desquelles il doit être possible de prédire, pour une tâche donnée, le niveau de performance moyen ou le niveau moyen de difficulté perçue. On conçoit l'intérêt didactique d'une telle démarche, pour peu qu'elle soit applicable à des situations plus complexes.

C'est cette possibilité que nous avons voulu tester, comme nous l'avons précédemment présenté pour l'intensité, en ce qui concerne des tâches de grimper sur une structure artificielle d'escalade (cf. Annexe 7).

Les tâches que nous avons utilisées sont de très courts passages d'escalade, consistant à s'équilibrer et à s'élever sur deux prises (une pour la main droite, une pour le pied droit), pour aller chercher une troisième prise en main gauche. Les prises sont des "réglettes", présentant une surface utilisable plane, rectangulaire et horizontale. Les tâches sont caractérisées par la profondeur de la prise de main (PM), la profondeur de la prise de pied (PP), et l'inclinaison du mur d'escalade ( $\beta$ ). 18 grimpeurs participent à l'expérience et l'on procède à la construction

d'une échelle de difficulté perçue (c'est-à-dire de précision requise, en distinguant clairement cette dimension de l'effort musculaire à fournir), selon la méthode d'estimation des grandeurs.

Nous n'avons pas pu, comme en ce qui concerne l'effort objectif, bâtir une échelle de difficulté objective. On pouvait néanmoins, à partir de nos résultats précédents, faire l'hypothèse que le stimulus pertinent pour la construction du continuum subjectif était la quantité moyenne d'information à traiter pour le contrôle de l'action. Nous avons tenté de procéder, dans le cadre de ces tâches de grimper, à une démarche similaire à celle de Fitts (1954) concernant les tâches de pointage. Raisonnant par analogie avec les concepts fondamentaux de la théorie de l'information (cf. chapitres 3.2.2. et 3.2.4.), Fitts estime que la quantité d'information à traiter pour pointer un cible est égale au logarithme inverse de base 2 du rapport surface de la cible/surface possible d'impact. Fitts note par ailleurs que le choix du dénominateur importe peu pour la logique de hiérarchisation des tâches. Dans ce sens, on peut dire que la quantité d'information apportée par une prise est égale au logarithme inverse de la surface de la prise, divisée par un dénominateur commun à l'ensemble de la série. Afin de simplifier les calculs, nous considérons que la quantité d'information apportée par une prise est égale au logarithme inverse du rapport de la profondeur de la prise sur le double de la profondeur maximale de la série. Pour une prise de main:

$$I = -\log(PM/2PM_{max})$$

Le doublage du dénominateur évite d'attribuer, dans une série, la valeur zéro à une quantité d'information.

La difficulté objective du passage va dépendre de la quantité d'information apportée d'une part par la prise de pied, et d'autre part par la prise de main. Néanmoins leur importance respective dépendra de l'inclinaison du support. On peut avancer l'hypothèse, dans le type de mouvement caractérisant les tâches que nous avons sélectionnées, que le problème posé aux grimpeurs est de réaliser un pointage le plus précis possible de la prise de pied, afin de solliciter au minimum la prise supérieure. La quantité d'information délivrée par la prise de pied contribuerait donc de façon monotone à l'accroissement de la difficulté objective. A contrario, l'importance de l'information délivrée par la prise de main dépendra de son degré de sollicitation, lié à l'inclinaison. On peut supposer que si le grimpeur parvient, dans un passage faiblement incliné, à placer le centre de gravité à la verticale haute de la prise inférieure, le rôle de la prise de main dans la détermination de la difficulté objective est négligeable. C'est donc moins l'inclinaison en tant que telle qui détermine la sollicitation de la prise de main, que la position du centre de gravité par rapport à la prise de pied. Dans la même logique que pour l'effort objectif, on peut supposer qu'il convienne d'ajouter à  $\cos\beta$  une constante (cf. Annexe 7). On peut donc proposer l'équation suivante:

$$DO = a \log(1/PI) + b(e + \cos\beta) \log(1/PM) + c.$$

Après réduction et centration des données, on cherche, en posant  $a=1$  et  $c=0$ , s'il est possible de trouver une valeur de  $b$  et une valeur de  $e$  pour que la corrélation par les rangs entre  $DO$  et l'échelle de difficulté perçue soit maximale. Cette corrélation est obtenue pour

$$b=.8 \quad \text{et} \quad e=.463$$

On a alors une corrélation par les rangs de  $r=.979$  entre les deux échelles.

Si l'on cherche maintenant le meilleur ajustement entre l'échelle ainsi construite de la

difficulté objective et l'échelle de difficulté perçue, on trouve comme nos précédents résultats pouvaient le laisser supposer une fonction exponentielle.

$$DP = (.707) * e^{(.518)*DO} \quad (r=.955)$$

Cette fonction d'ajustement est représentée en figure 8.20.

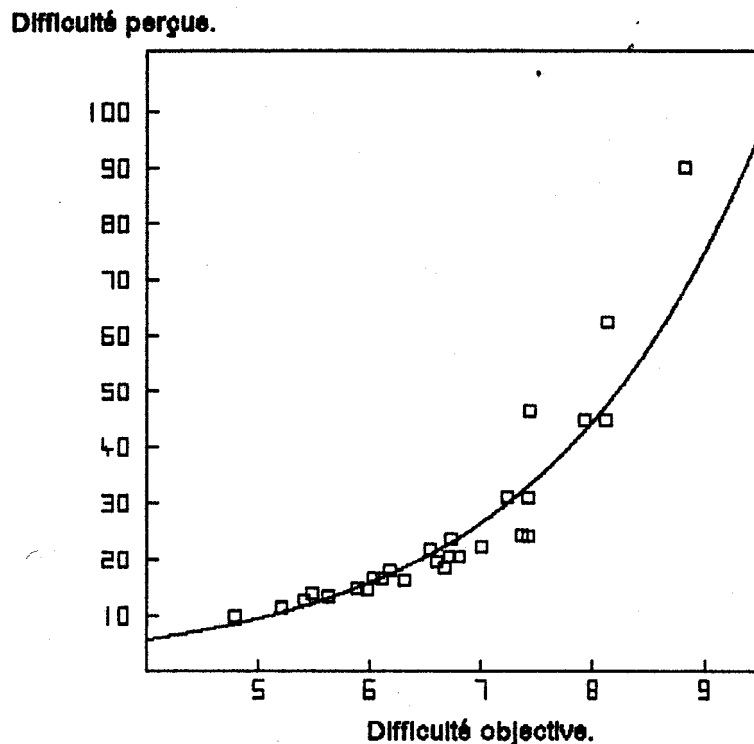


Figure 8.20.: Relation entre la difficulté objective, calculée à partir de l'équation (4), et la difficulté perçue.

Cette expérience montre que l'approche de la difficulté objective par la mesure de la quantité d'information moyenne à traiter est possible en ce qui concerne des tâches sportives complexes. Nous ne pouvons, comme en ce qui concerne la mesure quantitative de l'intensité, que souligner l'intérêt de ce type de démarche pourrait revêtir, par exemple dans la conception de didacticiels informatisés.

Les diverses investigations que nous avons menées concernant l'approche psychophysique de la difficulté informationnelle nous ont permis d'élaborer un corpus conséquent et d'avancer une modélisation d'ensemble. La mise en avant du concept de charge mentale comme cause principale du sentiment de difficulté suscite une relecture du cadre d'analyse que nous avons proposé précédemment. C'est la notion de difficulté objective, en tant que caractéristique intrinsèque de la tâche, qui nous intéressera principalement.

La charge mentale est lié à la quantité d'information traitée par le sujet. Or cette quantité

peut varier lors d'essais successifs pour un même sujet confronté à une même tâche. Pour une tâche de temps de réaction au choix, Holender (1980) estime que les sujets se préparent sélectivement à une ou plusieurs alternatives. Si le hasard fait apparaître un des stimuli correspondants, le TR sera plus rapide que pour les autres stimuli possibles. Le temps de réaction moyen est donc la moyenne des performances des "essais préparés" et des "essais non préparés". Il en va de même en ce qui concerne les tâches de Fitts. La charge mentale est liée à l'importance des corrections à apporter au mouvement afin d'atteindre la cible. Le programme balistique de départ reste approximatif, et selon les essais le guidage rétroactif final sera plus ou moins important. Dans ce sens l'approche de la quantité d'information traitée ne peut être que probabiliste. C'est ainsi que Fitts (1954) définit son indice de difficulté comme "average amount of information to be treated" (quantité moyenne d'information à traiter). La validité psychophysique de cette description des tâches dépendra de l'application des sujets à commettre le moins d'erreurs possible. Fitts (1954) relève ce point comme exigence minimale à la validité des prédictions réalisées à partir de l'indice de difficulté. La consigne donnée aux sujets, et que nous avons reprise dans notre expérience, est de privilégier la précision par rapport à la vitesse. On s'assure ainsi que les sujets prennent en considération l'ensemble des conditions requises par la tâche.

L'INTEGRATION PERCEPTIVE.

La plupart des travaux dont nous avons rendu compte jusqu'à présent tendaient à isoler certaines dimensions et à en élucider la logique interne. Il va de soi qu'en situation réelle, ces dimensions coexistent, interfèrent, voire s'associent. Certaines de nos expériences nous ont permis d'analyser ces interrelations.

9.1. INTERACTIONS ENTRE LES DIMENSIONS ENERGETIQUE ET INFORMATIONNELLE.

Nous avons évoqué précédemment le principe des techniques de dissociation (cf. chap 7.1.4.), qui consistent, un sujet effectuant une tâche à dominante énergétique, à lui imposer une tâche mentale supplémentaire (du calcul mental par exemple). On assiste alors à une diminution de l'effort perçu et à un accroissement des performances. Rejeski (1985) interprète ce phénomène dans le cadre du modèle de traitement de l'information, et dans le sens d'une mise en concurrence des informations au niveau du canal de traitement. Le traitement informationnel occuperait la capacité du canal, et de ce fait distrairait le sujet de sa propre fatigue.

Si l'on considère que la difficulté d'une tâche est liée à la quantité d'information à traiter pour le contrôle du mouvement (Hayes et Marteniuk, 1976), on peut alors formuler l'hypothèse selon laquelle la difficulté même de la tâche peut jouer le rôle de la tâche surajoutée dans la technique de dissociation. Notre hypothèse principale pourrait donc se libeller ainsi: à intensité objective égale, une tâche difficile devrait être ressentie comme moins pénible qu'une tâche plus facile. Le modèle proposé par Rejeski suggère également que plus la difficulté de la tâche sera grande, plus le phénomène de dissociation sera marqué. Une expérience récente (Rejeski et Kenney, 1987) montre néanmoins que l'accroissement de la difficulté de la tâche mentale ajoutée n'a pas d'effet significatif sur l'effet de dissociation.

Expérience 4.

Nous avons mené une expérience dans le but de tester cette hypothèse (cf. Annexe 3.). La tâche de base est une course sur tapis roulant, et l'on fait varier la difficulté en introduisant des cibles sur la piste, que le sujet doit pointer du pied au fur et à mesure de leur apparition. Au terme de chaque parcours (course libre ou course avec cible), on demande aux sujets d'évaluer l'effort fourni au moyen de la RPE scale de Borg. L'hypothèse ne se vérifie pas, et c'est même le résultat inverse qui est démontré: *à effort objectif équivalent, l'effort perçu est*

*plus élevé dans une tâche difficile que dans une tâche facile.*

Nous avons par ailleurs tenté d'expliquer le fait que la difficulté informationnelle liée à la tâche ne pouvait remplir le rôle de la tâche ajoutée dans les tâches de dissociation (Delignières, Legros et Famose, 1990; cf. chap. 3.2.6.). En ce qui concerne l'effet obtenu d'accroissement de l'effort perçu pour les tâches difficiles, on peut supposer que la difficulté de la tâche génère un "stress informationnel" (Dornic, 1986), rendant les sujets plus sensibles à l'effort et la fatigue. Il semble en outre, d'après nos résultats, que cet effet augmente avec la difficulté de la tâche. On peut supposer qu'il soit médié par une augmentation du niveau d'éveil, consécutive au stress informationnel (Dornic, 1986). Dans cet ordre d'idées, il semble que si le sujet module le niveau d'effort mental qu'il consent à investir dans une tâche, il demeure davantage passif par rapport à la difficulté (Dornic et Andersson, 1980), qu'il subit en quelque sorte. Ainsi, la difficulté mentale pourrait être une source de stress plus efficace que l'effort mental, ce dernier n'en semblant être générateur qu'à haute intensité et après un certain temps de travail (Dornic, 1986).

Dornic (1986) met en avant les différences interindividuelles dans les effets du stress sur le traitement de l'information. Notamment les sujets à bas niveau d'éveil seraient moins affectés par le bruit que les sujets à haute capacité d'éveil. Rappelons que le continuum ainsi décrit est intimement lié avec les dimensions d'extraversion et de névrosisme de la personnalité (Dornic, 1986). L'analyse de nos résultats au niveau individuel montre que chez les sujets 1 et 8, la difficulté de la tâche accroît nettement le niveau d'effort perçu, dans toutes les conditions. En ce qui concerne les sujets 3 et 4, cet effet intervient surtout dans la condition (D2, A2), c'est-à-dire à partir d'un degré élevé de difficulté. L'effet est beaucoup moins net chez les sujets 2, 5, 6 et 7. L'influence de la difficulté semble donc nettement différenciée selon les individus.

## 9.2. L'EVALUATION GLOBALE DES EXIGENCES.

Si, dans les protocoles expérimentaux tels que celui qui a été exposé précédemment, on isole artificiellement les dimensions énergétique et informationnelle, et si de surcroît on induit chez les sujets un traitement conscient, contrôlé, de l'évaluation, il est probable qu'en situation écologique ce processus est d'une part traité automatiquement, et d'autre part beaucoup moins différencié. Se pose alors le problème de l'intégration des différentes dimensions caractérisant les exigences de la tâche dans un jugement global et totalisant. C'est le cas en escalade, où la cotation proposée pour une voie "résume" l'éventail des obstacles présents: engagement, exposition, intensité athlétique, difficulté technique, complexité de recherche du cheminement,...

Nous avons déjà évoqué (cf. chap 6.) la "contamination" de la perception globale des exigences par les facteurs de risque. Mais en ce qui concerne l'intégration des dimensions internes de la tâche, peu de travaux ont été réalisés. On peut noter une recherche de Durand (1987), qui demande à des sujets de 5-6 ans, 8-9 ans, et 11-12 ans, l'évaluer globalement les exigences de trois tâches de lancers de balles en direction d'une cible. Les tâches sont construites de manière à ce que les poids des balles (80, 500 et 1000 g) et le diamètre des cibles (30, 45 et 60 centimètres) varient de manière opposée (un faible coût énergétique étant associé à un fort coût informationnel). Les distances de lancer et les différentes caractéristiques des tâches sont choisies de manière à ce que les pourcentages de réussites soient équivalents selon les trois modalités. Les résultats indiquent que les sujets sont

fortement influencés par l'aspect énergétique, et ce d'autant plus qu'ils sont jeunes.

Expérience 11

Dans le cadre de notre dernière expérience (cf. Annexe 7), nous avons pu étudier l'intégration de la difficulté informationnelle et de l'intensité. Il semble que l'évaluation globale des exigences de la tâche, en escalade, se base davantage sur l'effort physique produit que sur la précision requise. Globalement, l'influence de la difficulté informationnelle paraît même négligeable (les poids respectifs des deux prédicteurs sont .668 et -.006). Néanmoins, si l'on pousse l'analyse en différenciant les tâches, on s'aperçoit que dans certains cas, la précision requise joue un rôle plus important. C'est le cas notamment quand la prise de main est la plus grande (les poids respectifs sont alors .399 et .632). Or, la taille de la prise de main est un facteur primordial pour l'effort requis (cf. Annexe 7, équation 4). Plus l'effort à fournir sera faible, plus les variations en difficulté auront d'influence sur l'évaluation globale des exigences. A contrario, avec l'élévation de l'effort, l'évaluation des exigences semble se focaliser sur la dimension énergétique, et les variations en difficulté informationnelles, fussent-elles importantes, n'ont plus d'influence marquée. On pourrait décrire ce processus comme *une maximalisation, autour d'une dimension dominante*.

Il convient maintenant de se demander si cette dominance énergétique mise en évidence est spécifique à l'escalade, à la pratique sur bloc, ou réduite à nos conditions expérimentales. Nous sommes plutôt portés à croire en un processus plus général, débordant le cadre de l'activité qui nous a servi de support expérimental.

Expérience 1.

Enfin, cette dominance énergétique peut expliquer deux résultats mis en évidence lors d'une autre expérience sur l'escalade (cf. Annexe 1). Nous avons pu montrer que confrontés à une tâche de grimper identique (niveau 5a, huit mètres de hauteur, verticale), des sujets de niveau 3/4 proposaient des cotations significativement plus élevées que des sujets de niveau 5/6. On peut supposer que leur niveau d'habileté supérieur permet aux sujets du second groupe d'adopter un comportement plus efficace et de dépenser réellement moins d'énergie au cours de l'ascension. D'autre part, on montre qu'à niveau d'habileté équivalent, les filles donnent des cotations significativement plus élevées que les garçons. Ce résultat est cohérent avec les données classiques de la psychophysique de l'effort (par exemple, Winborn et coll. 1988).

### 9.3. LA COTATION EN ESCALADE.

La cotation des voies et des passages en escalade est une pratique courante d'évaluation globale des exigences. Deux de nos expériences nous ont permis d'en examiner les principes.

Expérience 5

La première s'est intéressée au fonctionnement de l'échelle labellisée (F, PD, AD, D, TD, ED). Cette échelle ne sert plus guère qu'à coter les longues voies de montagne, l'escalade rocheuse s'étant à l'heure actuelle entièrement convertie à la cotation chiffrée. Néanmoins,

nous avons vu qu'historiquement, la cotation chiffrée est calquée sur l'échelle labellisée (cf. Chap 1.). Son étude revêt donc un certain intérêt.

1	
2	<b>FACILE</b>
3	
4	<b>PEU DIFFICILE</b>
5	
6	<b>ASSEZ DIFFICILE</b>
7	
8	<b>DIFFICILE</b>
9	
10	<b>TRES DIFFICILE</b>
11	
12	<b>EXTREMEMENT DIFFICILE</b>
13	

Tableau 9.1.: Echelle de cotation de la difficulté, dérivée de la cotation alpine.

Borg (1970a) insiste sur l'importance de la répartition des labels dans les échelles de catégories, et propose une distribution symétrique, autour d'une valeur moyenne. Cette construction est à la base de la linéarité qu'il obtient entre effort objectif et effort perçu. On peut remarquer que l'échelle classique de cotation de la difficulté en alpinisme ne possède pas cette propriété. Il était intéressant de voir si cette échelle pouvait induire un certain type de relation entre stimulus et cotation.

Nous avons pu montrer, à propos des tâches de Fitts, que la répartition particulière des labels de l'échelle classique de cotation n'entraînait aucun effet particulier (cf. Annexe 4). Que l'échelle utilisée soit symétrique ou asymétrique, la relation obtenue entre difficulté objective et difficulté perçue demeure linéaire.

Expérience 11.
----------------

Notre dernière expérience nous a permis d'étudier le fonctionnement de la cotation chiffrée, s'appliquant cette fois à des passages d'escalade. Cette cotation apparaît comme une transformation logarithmique, à la fois de l'intensité énergétique et de la difficulté informationnelle des passages (cf. Annexe 7). On met en évidence les relations suivantes:

$$COT = (13.394) * \log EO - (21.307) \quad (r = .978)$$

$$COT = (21.693) * \log DO - (28.054) \quad (r = .939)$$

La figure 9.1. représente la relation obtenue en ce qui concerne l'effort objectif. Il s'agit là d'un résultat courant en psychophysique, les échelles de catégories décrivant généralement soit des fonctions linéaires, soit des fonctions logarithmiques (Bonnet, 1986, cf. chap. 5.3).

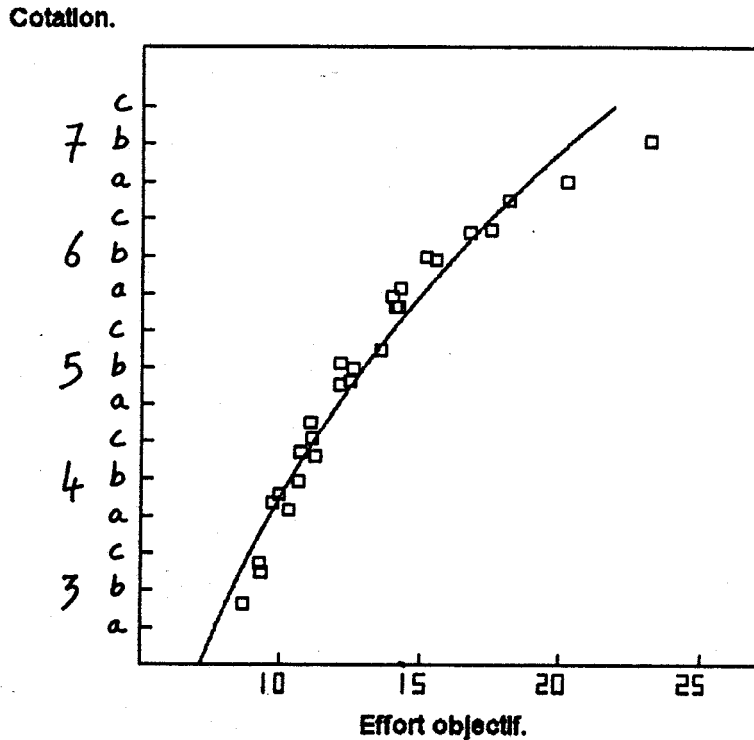


Figure 9.1.: Relation entre l'effort objectif et la cotation des passages.

Les intervalles d'exigences objectives correspondant à une cotation augmentent au fur et à mesure que l'on s'élève dans l'échelle. C'est-à-dire qu'objectivement, il y a plus de différence entre un 4 et un 5 qu'entre un 7 et un 8. Les cotations ne représentent pas des intervalles subjectivement égaux. Les échelles de rapport que nous avons construites, en ce qui concerne l'évaluation globale des exigences (EGP), l'effort perçu (EP) et la difficulté informationnelle perçue (DP) apparaissent comme des transformations exponentielles de la cotation (figure 9.2.):

$$\text{EGP} = (3.150) * e^{(.160)\text{COT}} \quad (r=.976)$$

$$\text{EP} = (2.539) * e^{(.175)\text{COT}} \quad (r=.975)$$

$$\text{DP} = (3.505) * e^{(.144)\text{COT}} \quad (r=.926)$$

Ceci semble indiquer que l'écart subjectif entre deux cotations successives augmente avec l'accroissement des exigences. Ceci expliquerait la plus grande précision des évaluations réalisées par les grimpeurs, au fur et à mesure que le niveau d'exigence s'élève. Ceci renvoie également à la multiplication des cotations intermédiaires dans les degrés supérieurs: si dans les cotations les plus faibles (2 et 3), les grimpeurs n'utilisent en général que deux niveaux (par exemple 2 et 2+), on passe ensuite à trois niveaux pour la majorité des sujets (5-, 5 et 5+), et à partir du 6 à six niveaux pour une cotation (7a, 7a+, 7b, 7b+, 7c, 7c+).

Cette transformation antilogarithmique entre une échelle de catégories et une échelle de rapport est en outre un résultat classique en psychophysique (cf. chap. 5.4.)

Exigences globales perçues.

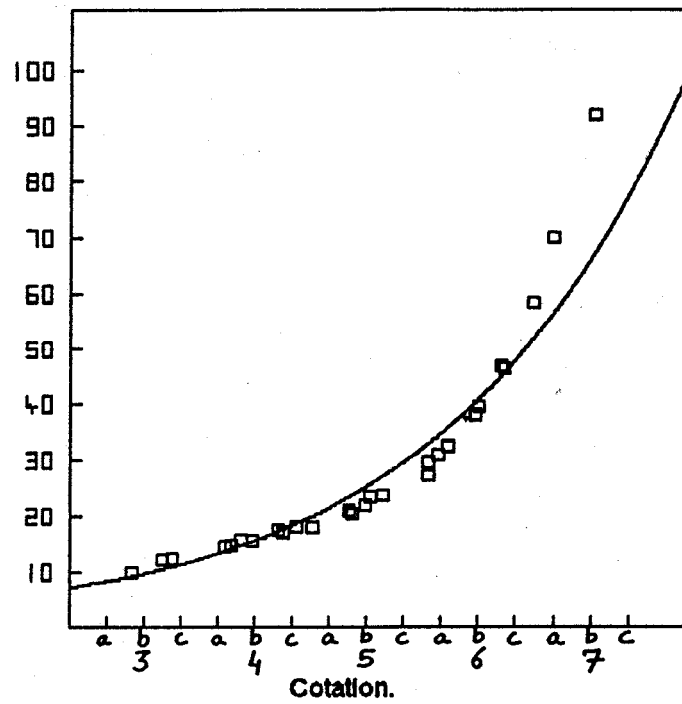


Figure 9.2.: Relation entre la cotation classique des passages et l'évaluation globale des exigences, obtenue selon la méthode d'estimation des grandeurs.

## CONCLUSION.

Au terme de ce travail de recherche, nous pensons avoir clairement mis en évidence l'intérêt de l'approche psychophysique dans le cadre des activités physiques et sportives. Ceci semble d'autant plus vrai pour une activité comme l'escalade, qui confronte le pratiquant à des exigences non seulement multivariées mais surtout échappant à tout standard (si ce n'est la rigidité du support, son impénétrabilité et, dans une certaine limite, son inclinaison), et de plus dans des contextes particulièrement stressants. Le développement des structures artificielles et de leur utilisation compétitive ou pour l'entraînement pose en outre des problèmes de *production systématique d'exigences*, ce qui semble constituer un phénomène tout à fait unique, du moins à ce niveau "microscopique", dans la culture sportive (les activités de pleine nature nécessitent en général l'ouverture de "parcours", sans que pour autant la prescription explicite des exigences n'envisage la mobilisation de tel ou tel schéma de réponse).

L'approche psychophysique doit permettre de cerner plus précisément le concept d'exigence objective, en rendre possible la quantification, et par là l'utilisation systématique dans une visée didactique ou compétitive. Nos investigations concernant les dimensions informationnelle et énergétique dans les tâches de grimper en démontrent la faisabilité. Des travaux plus poussés dans ce domaine pourraient permettre par exemple la conception informatisée de voies d'escalade, ou la cotation objective de voies déjà existantes. Il y a là une voie de recherche prometteuse, à l'heure où les structures artificielles d'escalade assistées par ordinateur commencent à voir le jour, et où les exigences dans la précision des cotations se font de plus en plus pressantes.

D'autre part, cette approche doit permettre d'élucider la logique de la perception par le sujet des exigences de la tâche. En ce sens, elle constitue un préalable fondamental, théorique et méthodologique, à la compréhension du comportement du sportif en situation et à l'expérimentation en ce domaine.

Dans l'état, nos résultats demeurent de toute évidence à un niveau trop théorique pour soutenir des prescriptions appliquées. Ils ouvrent néanmoins la voie à des recherches plus opérationnelles d'ordre didactique ou psychopédagogique, permettant aux enseignants ou entraîneurs de gérer rationnellement la structure et le niveau des exigences des tâches qu'ils proposent, ainsi que leur cohérence avec les objectifs qu'ils se sont fixés.

## BIBLIOGRAPHIE

- Agresti, H.** (1979). VII<sup>o</sup> Degré. *La Montagne et Alpinisme*, 3, 118-123.
- Alain, C.** (1976). La mesure de l'information: des concepts intuitifs aux concepts quantitatifs. *Mouvement*, 2, 1, 5-14.
- Alain, C. & Proteau, L.** (1980). Le temps de réaction au choix en fonction du temps accordé pour compléter la réponse. In C.H. Nadeau, W. Halliwell, M. Newell. & G.C. Roberts. (Eds.), *Psychology of Motor Behavior and Sport*. Champaign, Ill.: Human Kinetics Publishers.
- Alain, C. & Salmela, J.** (1980). Analyse des demandes perceptivo-motrices des tâches sportives. *Cahiers de Psychologie*, 23, 1/2, 359-372.
- Alain, P. & Devies, L.** (1947). Où en est la graduation des difficultés? *Alpinisme*, 190-191.
- Allal, L.** (1979). Stratégie d'évaluation formative: conceptions psycho-pédagogiques et modalités d'application. In L. Allal et coll., *L'évaluation formative dans un enseignement différencié*. Berne: Peter Lang.
- Amoros, F.** (1815). *Mémoire lu à la Société pour l'Instruction Elémentaire*.
- Andersen, K.L., Masironi, R., Rutenfranz, J. & Seliger, V.** (1979). *Activité physique habituelle et santé*. Copenhague: OMS Publications, 6.
- Arnaud, P.** (1986). Objet culturel, objet technique, objet didactique. *STAPS*, 7, 13, 43-55.
- Atkinson, J.W.** (1957). Motivational determinants of risk-taking behavior. *Psychological Review*, 64, 6, 359-372.
- Berlyne, D.E.** (1970). Incertitude et curiosité. *Psychologie Française*, 1, 119-129.
- Baddeley, A.** (1972). Selective attention and performance in dangerous environments. *British Journal of Psychology*, 63, 4, 546-547.
- Bainbridge, L.** (1977). Possibilités oubliées en matière d'habileté et de charge de travail. *Le Travail Humain*, 40, 2, 203-224.
- Bertsch, J.** (1984). L'EPS demain... *Revue EPS*, 186, 42-43.
- Billing, J.** (1980). An Overview of Task Complexity. *Motor Skills: Theory into Practice*, 4, 1, 18-23.
- Blitz, P.S. & Van Moorst, A.** (1978). Physical fatigue and the perception of differences in

- load: a signal detection approach. *Perceptual and Motor Skills*, 46, 779-790.
- Blomart, J.** (1963). Le goût du risque: Etude expérimentale d'une suite de choix dans l'incertitude. *Bulletin du C.E.R.P.*, XII, 4, 359-368.
- Bonnet, C.** (1968/69). La construction d'échelles psychophysiques de rapport. *Bulletin de psychologie*, 276, 624-630.
- Bonnet, C.** (1969). Les échelles subjectives directes en psychophysique. *L'Année Psychologique*, 69, 247-264.
- Bonnet, C.** (1986). *Manuel pratique de psychophysique*. Paris: A. Colin.
- Borg, G.A.V.** (1962). *Physical performance and perceived exertion*. Lund: Gleerup.
- Borg, G.A.V.** (1970a). Perceived exertion as an indicator of somatic stress. *Scandinavian Journal of Rehabilitation Medicine*, 2, 2/3, 92-98.
- Borg, G.A.V.** (1970b). *Relative response and stimulus scales*. Reports from the Institute of Applied Psychology, University of Stockholm, n°1.
- Borg, G.A.V.** (1972). *On the importance of range differences on psychophysical functions*. Reports from the Institute of Applied Psychology, University of Stockholm, n°31.
- Borg, G.A.V.** (1974). *On a general scale of perceptive intensities*. Reports from the Institute of Applied Psychology, University of Stockholm, n°55.
- Borg, G.A.V.** (1978). Psychological assessment of physical effort. In *Proceeding of the International Symposium on Psychological Assessment in Sport*, Israël, 49-57.
- Borg, G.A.V.** (1982a). A category scale with ratio properties for intermodal and interindividual comparisons. In Geissler H.G. et Petzold P. (Eds.), *Psychological Judgement and the Process of Perception*. Berlin: VEP Deutscher Verlag der Wissenschaften.
- Borg, G.A.V.** (1982b). Psychological bases of perceived exertion. *Medecine and Science in Sport and Exercise*, 14, 5, 377-381.
- Borg, G.A.V.** (1986). Some studies of perceived exertion in sports. In G.A.V. Borg et D. Ottoson (Eds.), *The perception of exertion in physical work*. Stockholm: MacMillan.
- Borg, G.A.V. & Dahlström, H.** (1960). *The perception of muscular work*. Umea vetenskapliga biblioteks skriftserie, 5.
- Borg, G.A.V., & Borg, P.** (1987). *On the relations between category scales and ratio scales and a method for scale transformation*. Report of the Department of Psychology, University of Stockholm, n°672.
- Borg, G.A.V., Bratfisch, O., & Dornic, S.** (1971a). On the problems of perceived difficulty. *Scandinavian Journal of Psychology*, 12, 249-260.
- Borg, G.A.V., Bratfisch, O., & Dornic, S.** (1971b). *Perceived difficulty of an immediate*

- memory task*. Reports from the Institute of Applied Psychology, University of Stockholm, n°15.
- Borg, G.A.V., Bratfisch, O., & Dornic, S.** (1971c). *Perceived difficulty of a visual search task*. Reports from the Institute of Applied Psychology, University of Stockholm, n°16.
- Borg, G.A.V. & Forsling, S.** (1964). *A psychophysical study on perceived difficulty*. Report from the Department of Education and the Department of Clinical Psychology, Umea University, n°1.
- Borg, G.A.V. & Karlsson, J.G.** (1976). *The psychological constants for subjective force in bicycle ergometry and their dependence on dynamic range*. Reports from the Institute of Applied Psychology, University of Stockholm, n°70.
- Borg, G.A.V. & Noble, B.J.** (1974). Perceived exertion. *Exercise and Sport Science Review*, 2, 131-153.
- Borg, G.A.V., Van den Burg, M., Hassmen, P., Kaijser, L. & Tanaka, S.** (1987). Relationships between perceived exertion, HR and HLa in cycling, running and walking. *Scandinavian Journal of Sport Science*, 9, 3, 69-77.
- Bossus, P.** (1979). Appréciation des degrés de difficulté. *Bulletin de l'Union Internationale des Associations d'Alpinisme*, 84, 5.
- Bouet, M.** (1969). L'attrait du risque chez les sportifs. *Psychologie Française*, 14, 2, 127-134.
- Boutcher, S.H., Fleischer-Curtian, L.A. & Gines, S.D.** (1988). The effects of self-presentation on perceived exertion. *Journal of Sport and Exercise Psychology*, 10, 270-280.
- Bovet, P.** (1968/69). La méthode des jugements absolus en psychophysique. *Bulletin de Psychologie*, 276, 631-639.
- Bratfisch, O., Borg, G. & Dornic, S.** (1972). *Perceived item-difficulty in three tests of intellectual performance capacity*. Reports from the Institute of Applied Psychology, University of Stockholm, n°29.
- Bratfisch, O., Dornic, S., & Borg, G.** (1970). *Perceived difficulty of a motor-skill task as a function of training*. Reports from the Institute of Applied Psychology, University of Stockholm, n°11.
- Bratfisch, O., Dornic, S., & Borg, G.** (1972). *Perceived difficulty of items in a test of reasoning ability*. Reports from the Institute of Applied Psychology, University of Stockholm, n°28.
- Burgess, M. & Hokanson, J.E.** (1961). Effects of increased heart rate on intellectual performance. *Journal of Abnormal and Social Psychology*, 68, 1, 85-91.
- Cafarelli, E., Cain, W.S. & Stevens, J.C.** (1977). Effort of Dynamic Exercise: Influence of Load, Duration, and Task. *Ergonomics*, 20, 2, 147-158.
- Chevallier Hamberger, A.** (1984). *Etude de la fréquence cardiaque par monitoring*

- ambulatoire lors de l'escalade en falaise*. Thèse pour le Doctorat de Médecine, U. Paris-Sud.
- Davey, C.P.** (1973). Physical exertion and mental performance. *Ergonomics*, 16, 5, 595-599.
- Deci, E.L.** (1975). *Intrinsic Motivation*. New-York: Plenum.
- Defrance, J.** (1976). Esquisse d'une histoire sociale de la gymnastique. *Actes de la recherche en sciences sociales*, 6, 22-38.
- Delignières, D.** (1989). A propos d'un cycle de gymnastique: Réflexions sur la production didactique à destination du public scolaire. In *Echanges et controverses*, 1. Paris: APECC, 6-52.
- Delignières, D.** (1989). *Proposition d'un modèle d'analyse de la "difficulté" des situations motrices*. Communication présentée au séminaire "Les apprentissages moteurs". Chatenay-Malabry, 13-17 mars 1989 (Document à paraître, éditions Revue EPS).
- Delignières, D.** (1990). *Risque perçu, prise de risque et apprentissage*. Communication présentée au séminaire "Représentations et apprentissage". Reims, 14-18 Mai 1990 (Document à paraître, éditions Revue EPS).
- Delignières, D. & Famose, J.P.** (1989). Perception de la difficulté des tâches motrices et théorie de l'information (soumis pour publication).
- Delignières, D. & Famose, J.P.** (1990). Estimation de l'intensité des tâches motrices. Influence de l'âge, du sexe et de l'expertise. *Revue STAPS* (à paraître).
- Delignières, D., Legros, P., & Famose, J.P.** (1990). Perception de l'effort et difficulté de la tâche. *Science et Motricité* (à paraître).
- Demeny, G.** (1903). *Mécanisme et éducation des mouvements*. Paris: Alcan.
- Desharnais, R.** (1971). Essai de systématisation d'une politique intégrée de recherche et d'application en psychologie du sport axée sur une équation de la performance maximum. *Mouvement*, 6, 43-50.
- Devies, L.** (1935). Propositions pour une graduation des difficultés dans les Alpes occidentales. *Alpinisme*, 37, 21-26.
- Devies, L.** (1943). Mise au point de la graduation des difficultés pour les Alpes occidentales. *Alpinisme*, 128-130.
- Devies, L. & Henry, P.** (1976). *Guide Vallot, La chaîne du Mont Blanc*, tome 1. Paris: Arthaud (4ème ed.).
- Dornic, S.M.** (1986). Traitement de l'information, stress et différences interindividuelles. *Le Travail Humain*, 49, 1, 61-73.
- Dornic, S., & Andersson, O.** (1980). *Difficulty and effort: a perceptual approach*. Report of the Department of Psychology, University of Stockholm, n°566.

- Dornic, S., & Birbaumer, N.** (1974). *Information overload and perceived difficulty in "neurotics"*. Reports from the Institute of Applied Psychology, University of Stockholm, n°49.
- Dornic, S., Bratfisch, O., & Larsson, T.** (1973). *Perceived difficulty in verbal learning*. Reports from the Institute of Applied Psychology, University of Stockholm, n°41.
- Dornic, S., & Fernaeus, S.E.** (1981). *Individual differences in high-load tasks: The effect of verbal distraction*. Report of the Department of Psychology, University of Stockholm, n°569.
- Dornic, S., Sarnecki, M.M., Larsson, T.J. & Svensson, J.C.** (1974). *Performance and perceived difficulty: the effect of noise and distraction*. Reports from the Institute of Applied Psychology, University of Stockholm, n°51.
- Dornic, S., Sarnecki, M., & Svensson, J.** (1973). *Perceived difficulty, learning time and subjective certainty in a perceptual task*. Reports from the Institute of Applied Psychology, University of Stockholm, n°43.
- Dornic, S. & Stone, L.A.** (1974). *Performance and perceived difficulty in paced and self-paced tasks*. Reports from the Institute of Applied Psychology, University of Stockholm, n°46.
- Droyer, J.C.** (1978). La cotation des difficultés supérieures. *Paris-Chamonix*, 25, 23-24.
- Droyer, J.C. & Golden, M.** (1979). L'escalade vers quel avenir? *La Montagne et Alpinisme*, 1, 18-30.
- Dupuy, C.** (1987). *Analyse des stratégies visuelles et motrices d'une population de grimpeurs de haut-niveau*. Mémoire pour l'obtention du diplôme de l'INSEP.
- Dupuy, C.** (1988). Nécessité de la recherche pour l'optimisation sportive des structures artificielles d'escalade (SAE); Intérêt des SAE pour le développement des programmes de recherche. In *Actes du Symposium Sport et Technologies Nouvelles*, SEJS.
- Durand, M.** (1983). Les exigences bio-énergétiques des tâches motrices. In *Dossiers EPS n°1*, ed. Revue EPS.
- Durand, M.** (1986). L'estimation de la difficulté des tâches motrices par des enseignants d'éducation physique et sportive. *Revue STAPS*, 7, 14, 43-50.
- Durand, M.** (1987). *L'enfant et le sport*. Paris: PUF.
- Durand, M. & Barna, R.** (1986). *Caractéristiques des tâches et performances motrices: étude développementale*. Communication au 3<sup>e</sup> Congrès International de Psychologie du Sport, Paris.
- Durand, M., Famose, J.P. & Bertsch, J.** (1985). *Complexité de la tâche et acquisition des habiletés motrices*. Communication présentées aux Journées d'Automne de l'ACAPPS, Beaune.
- Easterbrook, J.A.** (1959). Effect of emotion on cue utilisation. *Psychological Review*, 66,

153-201.

- Eisler, H.** (1962). Empirical test of a model relating magnitude and category scales. *Scandinavian Journal of Psychology*, 3, 88-96.
- Ekblom, B. & Goldbarg, A.N.** (1971). The influence of physical training and others factors on the subjective rating of perceived exertion. *Acta Psychologica Scandinavica*, 83, 399-406.
- Ekman, G.** (1964). Is the power law a special case of Fechner's law? *Perceptual and Motor Skills*, 19, 730.
- Ekman, G. & Frankenhaeuser, M.** (1957). *Subjective time scales*. Reports from the Psychological Laboratory, University of Stockholm, n°49.
- Ekman, G. & Künnapas, T.** (1962). Measurement of aesthetic value by "direct" and "indirect" methods. *Scandinavian Journal of Psychology*, 3, 33-39.
- Famose, J.P.** (1982a). Apprentissage moteur et tâches motrices. In R. Thomas, *Sport et Science 1982*. Paris: Vigot.
- Famose, J.P.** (1982b). Pédagogie de situation. *Revue EPSI*, 10, 11.
- Famose, J.P.** (1983a). Stratégies pédagogiques, tâches motrices et traitement de l'information. In *Dossiers EPS n°1*, ed. Revue EPS.
- Famose, J.P.** (1983b). Relation pédagogique et tâche motrice. In R. Thomas, *La relation au sein des APS*. Paris: Vigot.
- Famose, J.P.** (1986). *Fonctions requises, complexité de la tâche et apprentissage moteur*. Communication au 3° Congrès International de Psychologie du Sport, Paris.
- Famose, J.P.** (1987a). Analyse et enseignement des habiletés motrices: l'intérêt de l'approche écologique, in Laurent M. et Therme P. (eds), *Recherches en Activités physiques et Sportives*, 2, 343-358, Marseille: édition UEREPS, Université Aix-Marseille II.
- Famose, J.P.** (1987b). Vers une théorie de l'enseignement des habiletés motrices. In M. Laurent et P. Therme, *L'enfant par son corps*. Joinville: Actio.
- Famose, J.P.** (1990). *Apprentissage moteur et difficulté de la tâche*. Paris: INSEP.
- Famose, J.P., Bertsch, J. & Durand, M.** (1986). *Performances motrices de joueurs et de non-joueurs de tennis dans des tâches de différents niveaux d'incertitude spatiale*. Communication au 3° Congrès International de Psychologie du Sport, Paris.
- Famose, J.P., Durand, M. & Bertsch, J.** (1985). *Caractéristiques spatiotemporelles des tâches et performances motrices*. Actes du Congrès International "Corps-Espace-Temps", Marly-le-Roi.
- Famose, J.P. & Genty, J.** (1990). Prédiction de la performance à partir des caractéristiques des tâches. (en préparation).

- Famose, J.P., Konikowski, C.** (1986). *Exigence de précision d'une tâche motrice et apprentissage moteur*. Communication au 3<sup>e</sup> Congrès International de Psychologie du Sport, Paris.
- Fitts, P.M.** (1954). The information capacity of the human motor system in controlling the amplitude of movement. *Journal of experimental Psychology*, 47, 6, 381-391.
- Fitts, P.M. & Peterson, J.R.** (1964). Information capacity of discrete motor responses. *Journal of Experimental Psychology*, 67, 2, 103-111.
- Galanter, E. & Messick, S.** (1961). The relation between category and magnitude scales of loudness. *Psychological Bulletin*, 68, 6, 363-372.
- Gamberale, F.** (1972). Perceived exertion, Heart Rate, Oxygen Uptake and Blood Lactate in Different Work Operations. *Ergonomics*, 15, 5, 545-554.
- Gamberale, F.** (1985). The perception of exertion. *Ergonomics*, 28, 1, 299-308.
- Gescheider, G.A.** (1988). Psychophysical scaling. *Annual Review of Psychology*, 39, 169-200.
- Gregg, L.W.** (1951). Fractionation of temporal intervals. *Journal of Experimental Psychology*, 42, 307-312.
- Griffin, N.S. & Keogh, J.F.** (1982). A model for movement confidence. In Kelso, J.A.S. et Clark, J.E. (eds), *The development of movement control and coordination*, 213-236. New York: Wiley.
- Griffin, N.S., Keogh, J.F. & Maybee, R.** (1984). Performer Perceptions of Movement Confidence. *Journal of Sport Psychologie*, 6, 395-407.
- Guillerme, J.** (1980). L'autonomie du moteur animé ou les hésitations de la mesure. *Travaux et Recherches en EPS*, 6, 57-60.
- Guillerme, J.** (1981). Le sens de la mesure. In C. Pociello, *Sport et société*. Paris: Vigot.
- Hallsten, L. & Borg, G.A.V.** (1975). *Six ratings for perceived exertion*. Reports from the Institute of Applied Psychology, University of Stockholm, n°58.
- Hamilton, M.** (1959). The assessment of anxiety states by ratings. *British Journal of Medical Psychology*, 32, 50-55.
- Hans, D.** (1984). La prise de risque. Définition et problèmes posés par l'utilisation de ce concept. *STAPS*, 9, 19-29.
- Harter, S.** (1978). Pleasure derived from optimal challenge and the effects of receiving grades on children's difficulty level choices. *Child Development*, 49, 788-799.
- Hayes, K.C. & Marteniuk, R.G.** (1976). Dimensions of Motor Task Complexity. In Stelmach, G.E., *Motor Control*. Academic Press: New York.

- Hebenstreit, J.** (1989). Théorie de l'information. In *Encyclopédia Universalis*, 9, 1140-1141.
- Hébert, G.** (1941). *L'éducation physique virile et morale par la méthode individuelle*. Paris: Vuibert.
- Heider, F.** (1958). *The psychology of interpersonal relations*. New York: Wiley.
- Henry, P.** (1982). Ascension et escalade. *La Montagne et Alpinisme*, 3, 351.
- Herbert, A.** (1974a). *Measurement of perceived work difficulty*. Reports from the Institute of Applied Psychology, University of Stockholm, n°52.
- Herbert, A.** (1974b). *Factors in the perception of work difficulty*. Reports from the Institute of Applied Psychology, University of Stockholm, n°53.
- Herbert, A.** (1975). *What makes a job difficult?* Reports from the Institute of Applied Psychology, University of Stockholm, n°69.
- Hick, W.E.** (1952). On the rate of gain of information. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 4, 11-26.
- Hochstetler, S.A., Rejeski, W.J. & Best, D.** (1985). The influence of sex-role orientation on ratings of perceived exertion. *Sex-roles*, 12, 825-835.
- Hogan, J.C. & Fleishman, E.A.** (1979). An index of the physical effort required in human task performance. *Journal of Applied Psychology*, 64, 2, 197-204.
- Holender, D.** (1975). *Contribution expérimentale à l'étude des propriétés temporelles des ajustements préparatoires*. Dissertation présentée pour l'obtention du grade de Docteur en Sciences Psychologiques. Université Libre de Bruxelles.
- Holender, D.** (1980). Le concept de préparation à réagir dans le traitement de l'information. In J. Requin (Ed), *Anticipation et comportement*. CNRS: Paris.
- Holland, R.L., Sayers, J.A., Keatinge, W.R., Davis, H.M. & Peswany, R.** (1985). Effect of raised body temperature on reasoning, memory and mood. *Journal of Applied Physiology*, 59, 1823-1827.
- Howarth, C.I.** (1988). The relationship between objective risk, subjective risk, and behaviour. *Ergonomics*, 31, 4, 527-535.
- Hyman, R.** (1953). Stimulus information as a determinant of reaction time. *Journal of Experimental Psychology*, 45, 188-196.
- Jones, J.G. & Hardy, L.** (1989). Stress and cognitive functioning in sport. *Journal of Sport Science*, 7, 41-63.
- Jouty, S.** (1986). Preuss ou Dülfer? *Alpirando*, 88, 64-67.
- Kilbom, A., Gamberale, F., Persson, J. & Annwall, G.** (1983). Physiological and Psychological Indices of Fatigue during Static Contractions. *European Journal of Applied Physiology*, 50, 179-183.

- Kinsman, R.A. & Weiser, P.C.** (1976). Subjective symptomology during work and fatigue. In Simonson, E. et Weiser, P.C. (eds), *Psychological aspects and physiological correlates of work and fatigue*, 336-405. Springfield: C.C. Thomas.
- Kukla, A.** (1972a). Foundations of an attributional theory of performance. *Psychological Review*, 79, 6, 454-470.
- Kukla, A.** (1972b). Attributional determinants of achievement-related behavior. *Journal of Personality and Social Psychology*, 21, 166-174.
- Kukla, A.** (1974). Performance as a Function of Resultant Achievement Motivation (Perceived Ability) and Perceived Difficulty. *Journal of Research in Personality*, 7, 374-383.
- Lambert, R.** (1969a). Le comportement de prise de risque. *Psychologie Française*, 14, 2, 83-85.
- Lambert, R.** (1969b). Extrémisation du comportement de prise de risque en groupe et modèle majoritaire. *Psychologie Française*, 14, 2, 113-125.
- Laming, D.** (1973). *Mathematical Psychology*. Londres, New-York: Academic Press.
- Le Couadou, Y. & Maurel, F.** (1988). Etude de quelques paramètres physiologiques sur l'escalade en falaise. *Sport et Médecine*, 31, 38-43.
- Leplat, J.** (1977). Les facteurs déterminant la charge de travail. *Le Travail Humain*, 40, 2, 195-202.
- Leplat, J.** (1980). *La psychologie ergonomique*. Paris: PUF, Coll. "Que sais-je?" n°1883.
- Leplat, J. & Hoc, J-M.** (1983) Tâches et activité dans l'analyse psychologique des situations. *Cahiers de Psychologie Cognitive*, 3, 1., 50-63.
- Leyens, J.P.** (1979). *Psychologie sociale*. Bruxelles: Mardaga.
- Luce, R.D.** (1986). *Response times*. Oxford University Press :New York, et Clarendon Press: Oxford.
- Mace, R.** (1979). Physiological arousal in climbers. *Physical Education Review*, 2, 2, 141-149.
- MacKenzie, C.L., Marteniuk, R.G., Dugas, C., Liske, D. & Eickmeier, B.** (1987). Three-dimensional Movement Trajectories in Fitts' task: Implications for control. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 39A, 629-647.
- Mandler, G.** (1975). *Mind and Emotion*. New York: Wiley.
- Marks, L.E., Borg, G.A.V. & Ljunggren, G.** (1983). Individual differences in perceived exertion assessed by two new methods. *Perception and Psychophysics*, 34, 3, 280-288.
- Martens, R., Burton, D., Vealey, R.S., Bump, L.A. & Smith, D.E.** (1988). The Development of the Competitive State Anxiety Inventoty-2. In D. Burton & R. Vealey,

*Competitive Anxiety*. Champaign, Illinois: Human Kinetics.

**Messner, R.** (1975). *Le septième degré*. Paris: Arthaud.

**Moray, N.** (1982). Subjective Mental Workload. *Human Factors*, 24, 1, 25-40.

**Morgan, W.P.** (1981). Psychophysiology of Self-Awareness during Vigorous Physical Activity. *Research quarterly for exercise and Sport*, 52, 3, 385-427.

**Morgan, W.P.** (1985). Psychogenic factors and exercise metabolism: a review. *Medecine and Science in Sport and Exercise*, 17, 3, 309-316.

**Morgan, W.P. & Borg, G.A.V.** (1977). Perception of effort in the prescription of physical activity. In T.T. Craig (Ed.), *The Humanistic and Mental Health Aspects of Sports Exercise and Recreation*. Chicago: American Medical Association, 126-129.

**Morris, L.W., & Liebert, R.M.** (1973). Effects of negative feedback, threat of shock, and trait anxiety on the arousal of two components of anxiety. *Journal of Counselling Psychology*, 20, 321-326.

**Morris, L.W., Harris, E.W. & Rovins, D.S.** (1981). Interactive effects of generalised and situational expectancies on cognitive and emotional components of social anxiety. *Journal of Research in Personality*, 15, 302-311.

**Mumford, L.** (1950). *Technique et civilisation*. Paris: Seuil.

**Naatanen, R.** (1973). The inverted-U relationship between activation and performance: a critical review. In S. Kornblum (ed.), *Attention and Performance IV*. New York: Academic Press.

**Neisser, U.** (1976). *Cognition and reality: Principles and implications of cognitive psychology*. San Francisco: W.H. Freeman.

**Noble, B.J.** (1982). Clinical Application of Perceived Exertion. *Medecine and Science in Sport and Exercise*, 14, 5, 406-411.

**Oppe, S.** (1988). The concept of risk: a decision theoretic approach. *Ergonomics*, 31, 4, 435-440.

**Pandolf, K.B., Burse, R.L. & Goldman, R.F.** (1975). Differentiated rating of perceived exertion during physical conditioning of older individuals using leg-load weighting. - *Perceptual and Motor Skills*, 40, 563-574.

**Parlebas, P.** (1971). Pour une épistémologie de l'éducation physique. *EPS*, 110, 15-22.

**Phillip, U., Reiche, D. & Kirchner, J.H.** (1971). The Use of Subjective Rating. *Ergonomics*, 14, 5, 611-616.

**Piéron, H.** (1963). La psychophysique. in Fraisse P. et Piaget J. (eds), *Traité de psychologie expérimentale*, paris, PUF.

**Poulton, E.C.** (1979). Models for biases in judging sensory magnitude. *Psychological*

- Bulletin*, 69, 777-803.
- Rejeski, W.J.** (1985). Perceived exertion: an active or passive process? *Journal of Sport Psychology*, 7, 4, 371-378.
- Rejeski, W.J., Best, D.L., Griffith, P. & Kenney, E.** (1987). Sex-Role Orientation and the Response to Exercise Stress. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, 58, 3, 260-264.
- Rejeski, W.J. & Brawley, L.R.** (1983). Attribution Theory in Sport: Current Status and New Perspectives. *Journal of Sport Psychology*, 5, 77-99.
- Rejeski, W.J. & Kenney, B.** (1987). Distracting Attentional Focus From Fatigue: Does Task Complexity Make a Difference? *Journal of Sport Psychology*, 9, 1, 66-73.
- Rejeski, W.J. & Sanford, B.** (1984). Feminine-Typed Females: The Role of Affective Schema in the Perception of Exercise Intensity. *Journal of Sport Psychology*, 6, 2, 197-207.
- Reuchlin, M.** (1976). *Précis de statistique*. Paris: PUF.
- Richard, J.F.** (1988). Psychophysique. *Encyclopedia Universalis, Corpus*, 15, 405-406.
- Ripoll, H., Papin, J.P. & Simonet, P.** (1983). Approche de la fonction visuelle en sport. *Le Travail Humain*, 46, 1, 163-173.
- Robaye, F.** (1957). *Niveaux d'aspiration et d'expectation*. Paris: PUF.
- Robaye, F.** (1963). Quelques propositions pour l'établissement d'un modèle de comportement dans les situations dangereuses. *Bulletin du C.E.R.P.*, XII, 4, 331-340.
- Robaye, F., Hubert, J. & Decroly, L.** (1963). Estimation de la probabilité et de la gravité des accidents. Comparaison entre les groupes à haute et basse fréquence d'accidents. *Bulletin du C.E.R.P.*, XII, 4, 341-357.
- Roberts, G.C.** (1975). Sex and achievement motivation effects on risk taking. *Research Quarterly*, 46, 1, 58-69.
- Roberts, G.C. & Duda, J.L.** (1984). Motivation in Sport: The Mediating Role of Perceived Ability. *Journal of Sport Psychology*, 6, 312-324.
- Robertson, J.R.** (1982). Central signals of perceived exertion during dynamic exercise. - *Medecine and Science in Sport and Exercise*, 14, 390-396.
- Roche, M.** (1969). La conduite des automobiles: perception des risques et décisions. *Psychologie Française*, 14, 2, 135-139.
- Sanders, A.F.** (1983). Towards a model of stress and human performance. *Acta Psychologica*, 53, 64-97.
- Schürch, P.M., Haas, G., Diers, P-T.** (1986). Über die physische Beanspruchung beim Felsklettern. *Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin*, 2, 50-54.
- Seliger, V.** (1979). Les activités physiques associées au sport et à la détente. In K.L.

- Andersen, R. Masironi, J. Rutenfranz, V. Seliger, *Activité physique habituelle et santé*. Copenhague: OMS Publications, 6.
- Snedecor, G.W. & Cochran, W.G.** (1967). *Statistical Methods*. Ames, Iowa: Iowa State University Press (6<sup>ème</sup> édition).
- Sparrow, W.A.** (1983). The efficiency of Skilled Performance. *Journal of Motor Behavior*, 15, 3, 237-261.
- Spérandio, J.C.** (1977). La régulation des modes opératoires en fonction de la charge de travail chez les contrôleurs de trafic aérien. *Le Travail Humain*, 40, 2, 249-256.
- Stauffer, J.C.** (1937). The effects of induced muscular tension upon various phases of the learning. *Journal of Experimental Psychology*, 21, 26-46.
- Stein, J.F.** (1987). Planification et réalisation de l'action dans les situations sportives d'opposition. In H. Ripoll et G. Azemar, *Neurosciences du Sport*. Paris: Insep.
- Stevens, J.C. & Mack, J.D.** (1959). Scales of apparent force. *Journal of experimental Psychology*, 58, 405-413.
- Stevens, S.S.** (1968/69). Le quantitatif et la perception. *Bulletin de Psychologie*, 276, 696-704.
- Teghtsoonian, R.** (1971). On the exponents in Stevens' law and the constants in Ekman's law. *Psychological Review*, 78, 71-80.
- Teghtsoonian, R., Teghtsoonian, M. & Karlsson, J.-G.** (1981). The limits of perceived magnitude: comparison among individuals and among perceptual continua. *Acta Psychologica*, 49, 83-94.
- Teiger, C.** (1977). Les modalités de régulation de l'activité comme instrument d'analyse de la charge de travail dans les tâches perceptivo-motrices. *Le Travail Humain*, 40, 2, 257-272.
- Tiberghien, G.** (1984). *Initiation à la psychophysique*. Paris: PUF.
- Vermersch, P.** (1978). Une problématique théorique en psychologie du travail. *Le Travail Humain*, 41, 2.
- Vidacek, S & Wishner, J.** (1972). Task difficulty and the efficiency of muscular activity. *Journal of Applied Psychology*, 56, 6, 510-512.
- Vigarello, G. & Vivès, J.** (1983). Technique corporelle et discours technique. *EPS*, 184, 40-47.
- Weiner, B.** (1972). *Theory of motivation: from mechanism to cognition*. Chicago: McNally.
- Weiner, B.** (1979). A theory of motivation for some classroom experiences. *Journal of Educational Psychology*, 71, 3-25.
- Welford, A.T.** (1973). Stress and performance. *Ergonomics*, 16, 567-580.

- Welford, A.T.** (1977). La charge mentale de travail comme fonction des exigences, de la capacité, de la stratégie et de l'habileté. *Le Travail Humain*, 40, 2, 283-304.
- Wilde, G.J.S.** (1988). Risk homeostasis theory and traffic accidents: propositions, deductions and discussion of dissension in recent reactions. *Ergonomics*, 31, 4, 441-468.
- Winborn, M.D., Meyers, A.W. & Mulling, C.** (1988). The Effects of Gender and Experience on Perceived Exertion. *Journal of Sport and Exercise Psychology*, 10, 22-31.
- Wrisberg, C.A., Franks, B.D., Birdwell, M.W. & High, D.M.** (1988). Physiological and psychological responses to exercise with an induced attentional focus. *Perceptual and Motor Skills*, 66, 603-616.
- Yerkes, R.M. & Dodson, J.D.** (1908). The relation of strength of stimulus to rapidity of habit formation. *Journal of Comparative and Neurological Psychology*, 18, 459-482.
- Yukelson, D., Weiberg, R.S. & Jackson, A.** (1981). Attribution and performance: an empirical test of Kukla's theory. *Journal of Sport Psychology*, 3, 46-57.
- Zaleska, M.** (1969). Prise de risque pour soi et pour autrui par des individus et par des groupes. *Psychologie Française*, 14, 2, 97-112.
- Zarrugh, M.T., Todd, F.N. & Ralston, H.J.** (1974). Optimization of energy expenditure during level walking. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 33, 293-306.

## Annexe 1.

### EXPERIENCE 1.

Influence du risque, du sexe et de l'habileté sur la perception des exigences de la tâche en escalade.

Il s'agit dans cette expérience d'examiner l'influence de divers facteurs, contextuels et individuels, sur la perception des exigences de la tâche. Les travaux antérieurement réalisés, sur la perception de l'effort ou de la difficulté, permettent d'avancer les hypothèses suivantes:

Confrontés à une difficulté objective identique,

-les sujets féminins devraient percevoir une difficulté plus importante que les sujets masculins,

-les sujets habiles devraient percevoir une difficulté moins élevée que les sujets peu habiles,

-les sujets performant en situation risquée devraient percevoir une difficulté plus grande que ceux performant en situation de sécurité.

#### A1.1.METHODE.

L'expérience a lieu sur le mur d'escalade du Lycée de Corbeil (Essonne). Une voie a été spécialement tracée à cet effet, de niveau 5a (ce niveau de difficulté permettant d'y confronter des sujets de niveaux de pratique très divers). Le traçage de la voie a consisté à marquer à la peinture le contour des prises "autorisées". Ceci permet de s'assurer que tous les sujets sont confrontés à un même niveau objectif d'exigences.

Pour chaque sujet réalisant la voie, on note:

-le sexe, masculin ou féminin,

-le niveau de pratique (exprimé en fonction de la difficulté maximale franchie en tête à la date du test),

-les conditions d'assurage (en tête ou en second),

-la cotation attribuée à la voie par le sujet, après l'avoir franchie, selon la grille présentée en figure A1.1.

1	
2	<b>EXTREMEMENT FACILE</b>
3	
4	<b>TRES FACILE</b>
5	
6	<b>FACILE</b>
7	
8	<b>UN PEU DIFFICILE</b>
9	
10	<b>DIFFICILE</b>
11	
12	<b>TRES DIFFICILE</b>
13	
14	<b>EXTREMEMENT DIFFICILE</b>
15	

Figure A1-1: Echelle de cotation de la difficulté.

Il est demandé aux sujets de se baser sur les libellés, mais de ne donner que la cotation chiffrée correspondante. La présence de cotations intermédiaires permet d'affiner l'évaluation.

Les sujets sont des élèves du lycée. Afin de d'éviter de donner un aspect trop solennel à l'expérimentation, ce qui aurait pu déboucher sur certains effets pervers (anxiété, sous-estimations, comparaison des estimations entre élèves,...), nous avons décidé de banaliser au maximum les passations. Les élèves passent le test dans le cadre des séances d'escalade de leurs cours d'EPS. Ils ne sont pas au courant de l'objet de l'expérience. On leur demande uniquement de coter la voie qu'ils viennent de franchir. On évite de faire passer plusieurs élèves dans la même séance. L'ensemble du recueil des données s'étend sur plusieurs mois, et est réalisé par les enseignants d'EPS du Lycée de Corbeil.

On suppose que lors d'une ascension en tête, la chute étant possible, la situation sera vécue comme plus risquée que lors d'une ascension en second.

## A1.2. RESULTATS.

35 élèves participent à l'expérience. A partir des caractéristiques relevées par les enseignants, on reconstitue quatre groupes:

- Groupe 1: 9 garçons, de niveau 5/6, qui ont franchi la voie en tête.
- Groupe 2: 8 garçons, de niveau 3/4, qui ont franchi la voie en tête.
- Groupe 3: 8 garçons, de niveau 3/4, qui ont franchi la voie en second.
- Groupe 4: 8 filles, de niveau 3/4, qui ont franchi la voie en second.

Deux sujets isolés sont écartés des traitements: un garçons de niveau 5/6 ayant réalisé la voie en second, et un fille, de niveau 5/6, ayant réalisé la voie en tête. Les résultats sont

indiqués dans le tableau A1-1.

Groupe	1	2	3	4
Cotations	9	7	9	8
	7	8	8	10
	9	9	8	11
	8	9	8	11
	7	9	6	12
	6	12	9	10
	9	11	7	7
	8	10	7	8
	7			
	Moyenne	7.78	9.38	7.75

Tableau A1-1: Scores et moyennes des scores obtenus pour chaque groupe.

La différence constatée entre le groupe 1 et le groupe 2 est significative ( $t=2.38$ ,  $p<.05$ ). Les garçons les plus habiles annoncent des cotations significativement moins élevées que les garçons les moins habiles.

La différence constatée entre les groupes 2 et 3 est significative ( $t=2.41$ ,  $p<.05$ ). En ce qui concerne les garçons peu habiles, les sujets qui escaladent la voie en tête annoncent des cotations significativement plus élevées.

La différence constatée entre les groupes 3 et 4 est significative ( $t=2.59$ ,  $p<.05$ ). En ce qui concerne les sujets les moins habiles, les filles annoncent des cotations significativement plus élevées que les garçons.

On peut regretter que l'ensemble des critères n'aient pu être croisés. On peut supposer que les différences liées à l'habileté chez les garçons, et au risque pour les garçons les moins habiles pourrait être également mise en évidence chez les filles. Par contre, il n'est pas évident que l'on retrouve chez les garçons et les filles les plus habiles, les différences liées au risque, ni par ailleurs que l'on trouve de différence liée au sexe entre les sujets les plus habiles.

EXPERIENCES 2 ET 3.

ESTIMATION DE L'INTENSITE DES TACHES MOTRICES.

Durand (1986) soumet à une population d'enseignants en EPS un questionnaire, dont l'objectif est d'étudier la précision de l'estimation des exigences bio-énergétiques des tâches motrices. L'auteur conclut à la relative fiabilité des évaluations réalisées par la population testée, qu'il explique par l'expertise développée dans le cadre de l'enseignement des activités physiques et sportives. Dans le but de vérifier cette interprétation et de relativiser les résultats de l'auteur, nous nous sommes proposés de faire passer le même questionnaire à des publics différents, soit à des élèves de sixième, et à des élèves de seconde. N'ayant pu en outre recueillir les données brutes de la première expérience, nous avons également proposé le questionnaire à une population d'enseignants.

A2.1. EXPERIENCE 2.

A2.1.1. METHODE.

Les sujets sont répartis en trois groupes:

Groupe 1: 50 élèves de sixième du collège La Vallée, à Epinay-sous-Sénart (91), 24 garçons et 26 filles. Age moyen: 12 ans et 8 mois, écart-type: 11 mois.

Groupe 2: 56 élèves de seconde du lycée d'Epinay-sous-Sénart (91), 23 garçons et 33 filles. Age moyen: 16 ans et 4 mois, écart-type: 10 mois.

Groupe 3: 40 enseignants en EPS de la région parisienne, 19 de sexe masculin, 21 de sexe féminin. Age moyen: 35 ans et 3 mois, écart-type: 5 ans et 4 mois.

Les sujets doivent situer sur une échelle de catégorie en sept points, dérivée de la RPE scale de BORG (cf. tableau A2-1.), quatorze activités physiques en fonction de l'intensité présumée de la dépense d'énergie qu'elles occasionnent. Ces activités, présentées dans le tableau A2-2 sont extraites d'une recherche de Seliger (1979) qui en a mesuré le coût énergétique. En attribuant arbitrairement la cote 1 à une activité hypothétique occasionnant une dépense énergétique de 4 Kcal/min, et la cote 7 à une activité requérant 17 Kcal/min, on peut calculer le score théorique de chaque activité (tableau A2-2). On peut noter que Durand (1986), dans cette première partie, n'utilisait que des scores théoriques arrondis à l'unité la

plus proche. Les activités sont proposées dans le même ordre à tous les sujets, et décrites de la manière indiquée dans le tableau A2-2.

---

1	Effort extrêmement léger
2	Effort très léger
3	Effort léger
4	Effort moyen
5	Effort intense
6	Effort très intense
7	Effort extrêmement intense

---

Tableau A2-1: Echelle d'évaluation de l'intensité des tâches.

Activités	Coût (Kcal/min)	Score
Danse lente (fox-trot, tango)	4.3	1.14
Tennis de table	8.5	3.08
Cyclisme de détente	5.9	1.88
Patinage sur glace sportif (figures)	16.9	6.95
Escrime (niveau moyen)	9.8	3.68
Badminton (niveau moyen)	6.5	2.15
Tennis de compétition	15.8	6.45
Danse énergétique (polka, rock'n roll)	11.3	4.37
Hand ball (niveau moyen)	13.7	5.48
Kayak de détente	8	2.85
Ski de piste (détente)	12	4.69
Footing (détente)	10.4	3.95
Basket-ball (niveau moyen)	14.3	5.75
Tir à l'arc	4.6	1.28

Tableau A2-2: Présentation des activités, de leur coût et de leur score théorique. Les activités sont classées par ordre de présentation aux sujets (d'après Durand, 1986). Le score théorique (sct) est obtenu à partir du coût (c) par la formule:  $sct = ((6 * c) - 11) / 13$ .

#### A2.1.2. RESULTATS.

Le tableau A2-3 fait apparaître les moyennes des estimations réalisées par chacun des trois groupes pour chaque activité, et à l'intérieur de chaque groupe par les sujets masculins et féminins.

Groupe	1			2			3			
	Sexe Score Théorique	M + F	M	F	M + F	M	F	M + F	M	F
1.138		1.87	1.50	2.15	2.03	2.02	2.03	2.57	2.50	2.67
1.28		4.83	4.67	4.69	3.77	3.39	4.03	2.46	2.50	2.37
1.88		2.71	2.83	2.69	3.69	3.35	3.94	3.98	4.03	3.89
2.15		3.75	4.67	3.08	4.11	3.95	4.21	5.06	5.16	4.89
2.85		3.04	2.83	3.15	4.75	4.26	5.09	3.75	3.84	3.67
3.08		4.75	5.17	4.23	3.64	3.52	3.73	4.42	4.37	4.44
3.68		5.12	5.17	5.08	4.36	4.52	4.24	4.63	4.78	4.33
3.95		4.87	5.67	4.00	4.98	5.48	4.64	3.62	3.56	3.67
4.37		4.79	4.67	4.92	4.83	4.93	4.76	5.69	5.56	5.78
4.69		3.92	3.67	4.00	4.55	4.60	4.52	3.92	3.87	3.89
5.48		4.42	4.50	4.38	4.84	4.87	4.82	5.25	5.19	5.28
5.75		4.21	4.33	4.15	4.80	4.87	4.76	4.90	4.84	5.00
6.45		6.71	6.67	6.77	6.30	6.17	6.39	5.94	5.96	5.78
6.95		5.21	4.83	5.46	5.63	5.52	5.70	5.87	6.06	5.39

Tableau A2-3: Moyennes des estimations, en fonction du groupe et du sexe (M: sujets masculins, F: sujets féminins). Les activités sont classées par ordre croissant, en fonction du score théorique.

A partir du tableau précédent, on peut calculer le coefficient de corrélation linéaire entre l'échelle des scores théoriques et celle des estimations moyennes (tableau A2-4). Ces coefficients sont voisins, pour les enseignants, de ceux calculés par Durand (1986). Dans la mesure néanmoins où de nombreux auteurs ne reconnaissent à ce type d'échelle de catégories que des propriétés de niveau ordinal, on peut se demander si ce calcul ne constitue pas un abus méthodologique. Un résumé peut être plus légitime de la précision des estimations est fourni par les coefficients de corrélation par les rangs de Spearman, entre les deux échelles (tableau A2-4). On applique les tests statistiques de comparaison, intergroupe et intragroupe en fonction du sexe, aux échelles d'estimations moyennes, et aux coefficients de corrélation. Dans tous les cas, les différences constatées ne sont pas assez importantes pour être significatives au seuil .05 (tableau A2-5).

Groupe	1			2			3		
	M + F	M	F	M + F	M	F	M + F	M	F
r	.650	.550	.717	.842	.871	.791	.782	.773	.774
r <sub>s</sub>	.591	.470	.637	.851	.897	.697	.736	.743	.752

Tableau A2-4: Valeurs du coefficient de corrélation linéaire (r) et du coefficient de corrélation des rangs de Spearman (r<sub>s</sub>), entre l'échelle des scores théoriques et l'échelle des estimations moyennes.

Comparaison des groupes	Estim. moy.	r	r <sub>s</sub>
1 versus 2	.632	1.062	1.362
1 versus 3	.608	.645	.616
2 versus 3	1.469	.416	.746
1M versus 1F	.519	.664	.570
2M versus 2F	.937	.617	1.396
3M versus 3F	.693	.006	.048

Tableau A2-5: Valeur du t de Student obtenues pour la comparaison intergroupe et intragroupe en fonction du sexe, des échelles des estimations moyennes, des coefficients de corrélation linéaire (r) et des coefficients de corrélation par les rangs de Spearman (r<sub>s</sub>). Aucune valeur de t n'est significative au seuil .05.

Si cette première expérimentation ne permet pas de conclure à la signification statistique des différences constatées dans les estimations réalisées par les différents groupes, on peut néanmoins en tirer des enseignements sur la construction même des échelles psychophysiques de catégories. Le tableau A2-6 indique, par groupe et sous-groupe sexuel, l'erreur relative moyenne pour chaque activité, ainsi que l'erreur relative globale et les corrélations entre les échelles d'erreur relative et l'échelle des scores théoriques. D'une manière générale, l'intensité des activités est surestimée. Ceci concorde avec les résultats de Durand (1986).

On peut remarquer en outre que l'erreur relative corrèle fortement avec le score théorique. Les données des tableaux A2-6 et A2-7 font apparaître clairement que les activités les moins intenses sont systématiquement sur-estimées par l'ensemble des sujets, les activités les plus exigeantes étant à l'inverse sous-estimées.

Groupe	1			2			3		
	M + F	M	F	M + F	M	F	M + F	M	F
1.14	.74	.36	1.02	.89	.88	.89	1.44	1.36	1.53
1.28	3.56	3.39	3.42	2.49	2.11	2.75	1.18	1.22	1.06
1.88	.83	.96	.82	1.82	1.47	2.06	2.10	2.15	2.01
2.15	1.59	2.51	.92	1.95	1.80	2.06	2.90	3.00	2.73
2.85	.20	-.01	.31	1.90	1.41	2.24	.90	1.00	.82
3.08	1.67	2.09	1.15	.57	.44	.65	1.35	1.30	1.37
3.68	1.45	1.49	1.40	.68	.84	.57	.96	1.10	.66
3.95	.92	1.71	.05	1.03	1.52	.68	-.34	-.39	-.29
4.37	.42	.30	.55	.46	.57	.39	1.32	1.19	1.41
4.69	-.78	-1.03	-.69	-.14	-.10	-.18	-.77	-.82	-.80
5.48	-1.06	-.98	-1.09	-.64	-.61	-.66	-.23	-.29	-.20
5.75	-1.55	-1.42	-1.60	-.95	-.88	-1.00	-.85	-.91	-.75
6.45	.26	.22	.32	-.14	-.27	-.05	-.50	-.48	-.67
6.95	-1.75	-2.12	-1.49	-1.33	-1.43	-1.26	-1.09	-0.89	-1.57
ERM. Glob.	.465	.534	.363	.613	.555	.654	.599	.611	.522
Corr.	.769	.729	.774	.884	.872	.872	.824	.813	.839

Tableau A2-6: Erreurs relatives moyennes, pour chaque activité, et erreur relative moyenne globale, en fonction du groupe et du sexe. Coefficients de corrélation entre le score théorique et l'erreur relative.

Score	ERM	Score	ERM
1.14	1.02	3.95	.54
1.28	2.41	4.37	.74
1.88	1.58	4.69	-.56
2.15	2.15	5.48	-.64
2.85	1.00	5.75	-1.12
3.08	1.19	6.45	-.13
3.68	1.03	6.95	-1.39

Tableau A2-7: Erreur relative moyenne tous groupes confondus, par activité.

	A	B	r
Groupe 1	-.584	2.706	.768
Groupe 2	-.547	2.712	.884
Groupe 3	-.536	2.656	.824
Tous groupes confondus	-.556	2.692	.893

Tableau A2-8: Ajustements linéaires entre l'erreur relative moyenne (ERM) et le score théorique (SCT). Les équations obtenues sont de la forme:

$$ERM = A * SCT + B.$$

Le calcul des fonctions d'ajustement entre les échelles des erreurs relatives et celle des scores théoriques confirme cette tendance (tableau A2-8, figure A2-1): l'erreur relative est une fonction linéaire du score théorique, de pente négative. Le point d'équilibre, c'est-à-dire l'intensité pour laquelle les activités sont estimées avec le moins d'erreur, correspond sur les résultats d'ensemble à un score théorique de 4.6. Ce résultat peut être interprété comme dû à un artéfact de construction de l'échelle, les bornes inférieures et supérieures ayant été choisies arbitrairement et n'ayant pas été communiquées aux sujets. Grâce à une transformation affine de l'échelle des coûts objectifs affectés aux échelons successifs de la grille d'évaluation que nous avons utilisée, on peut construire une nouvelle grille, qui minimise les erreurs relatives. Cette échelle est proposée par le tableau A2-9.

**Erreurs relatives moyennes.**

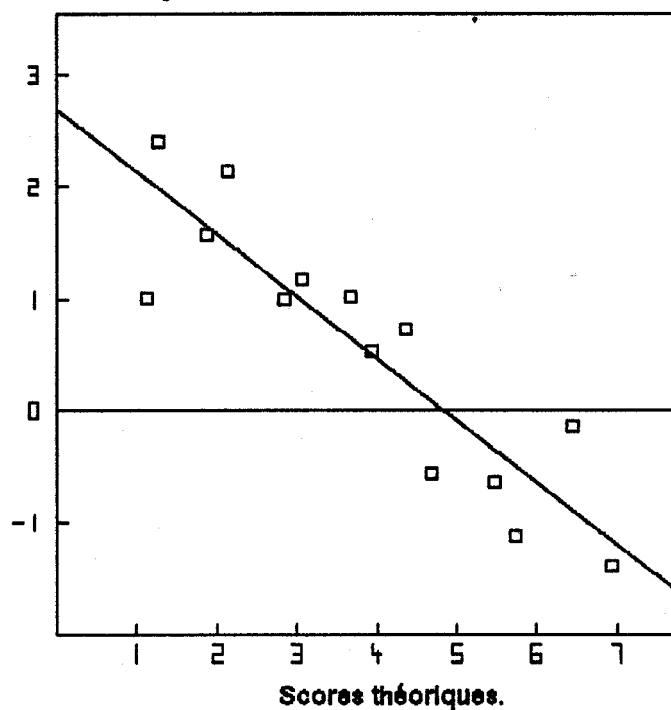


Figure A2-1: Relation score théorique-erreur relative moyenne, tous groupes confondus.

Score (points)	Coût (Kcal)
1	-1.69
2	1.79
3	5.28
4	8.77
5	12.25
6	15.74
7	19.23

Tableau A2-9: Nouvelle échelle de cotation permettant de réduire l'erreur relative.

Cette transformation, si elle permet d'éliminer les artéfacts dus à la construction de l'échelle, ne modifie en rien les corrélations trouvées entre les estimations moyennes et les scores théoriques.

## A2.2. EXPERIENCE 3.

### A2.2.1. METHODE.

Les sujets sont les mêmes que précédemment. Chaque sujet se voit présenter un questionnaire décrivant 27 tâches motrices, et reçoit pour consigne d'estimer sur une échelle en 7 points (cf. tableau A2-1) chacune d'elles. Les tâches à estimer sont extraites d'une recherche de Seliger (1979), qui en a mesuré le coût énergétique. Elles sont caractérisées par un type de déplacement (la marche), une durée, une vitesse de déplacement, et un éventuel temps de repos intervenant à mi-parcours. On les présente selon un énoncé de la forme: "tâche 1: marcher à 6 km/h, pendant 30 minutes, sans repos". Le tableau A2-10 résume les 27 énoncés.

Tâche	Vitesse (km/h)	Durée (min)	Repos (min)	Coût (kcal)	Score (pts)
1	6	30	0	159	5.89
2	6	10	5	53	2.63
3	5	30	2	120	3.69
4	5	10	2	40	2.23
5	6	20	2	106	4.26
6	4	30	0	93	3.86
7	5	20	2	80	3.46
8	4	10	0	31	1.95
9	6	30	5	159	5.89
10	5	30	5	120	3.69
11	5	10	5	40	2.23
12	6	20	0	106	4.26
13	6	10	0	53	2.63
14	4	20	2	62	2.91
15	4	10	2	31	1.95
16	6	30	2	159	5.89
17	6	10	2	53	2.63
18	6	20	5	106	4.26
19	5	10	0	40	2.23
20	5	20	5	80	3.46
21	4	30	2	93	3.86
22	4	20	0	62	2.91
23	5	30	0	120	3.69
24	4	10	5	31	1.95
25	4	30	5	93	3.86
26	4	20	5	62	2.91
27	5	20	0	80	3.46

Tableau A2-10: Description des tâches de marche, de leur coût et de leur score théorique (d'après Durand, 1986).

On précise en outre aux sujets les bornes de l'échelle, au travers des deux exemples suivants:

- marcher à 2 km/h durant 30 secondes correspond à la cotation 1,

- marcher à 8 km/h durant 20 minutes à la cotation 7.

Ces deux tâches, mesurées également par Seliger (1979) avec des coûts respectifs de 1 Kcal et 196 Kcal, permettent de construire une échelle des scores théoriques pour l'ensemble des tâches (tableau A2-10).

### A2.2.2. RESULTATS.

Comme précédemment, on peut calculer les coefficients de corrélation linéaire et les coefficients de corrélation par les rangs, entre l'échelle des scores théoriques et les échelles d'estimations moyennes de chaque groupe et sous-groupes sexuels. Les résultats sont présentés dans le tableau A2-11.

Groupe	1			2			3		
	M + F	M	F	M + F	M	F	M + F	M	F
<b>r</b>	.804	.853	.654	.784	.775	.768	.836	.829	.834
<b>r<sub>s</sub></b>	.748	.850	.618	.746	.719	.716	.797	.796	.790

Tableau A2-11: Coefficients de corrélation linéaire ( $r$ ) et coefficients de corrélation par les rangs de Spearman ( $r_s$ ), entre l'échelle de scores théoriques et les échelles d'estimations moyennes, en fonction des groupes et sous-groupes sexuels.

Les corrélations obtenues dénotent pour tous les groupes une bonne précision dans la hiérarchisation et la distanciation des tâches. Les différences inter- et intragroupales constatées sont trop faibles pour que l'on puisse espérer y relever une quelconque signification statistique. Ceci est confirmé par l'application du test de Student pour la comparaison des coefficients de corrélation (cf. tableau A2-12). Néanmoins, si ce résultat dénote une solide cohérence interne dans les échelles d'estimations ainsi construites, il ne nous renseigne pas sur les glissements éventuels, les décalages entre ces échelles et celle des scores théoriques.

Ces scores permettent de calculer pour chaque tâche et/ou pour chaque groupe l'erreur relative moyenne caractérisant l'estimation. Le tableau A2-13 fait apparaître ces erreurs en fonction des groupes et des sous-groupes sexuels (cf. figures A2-2 et A2-3). Dans tous les cas, les tâches semblent surestimées. Ce constat concorde avec celui de Durand (1986).

Comparaison des groupes	r	r <sub>s</sub>
1 versus 2	.188	.016
1 versus 3	.339	.422
2 versus 3	.527	.348
1M versus 1F	1.679	1.851
2M versus 2F	.060	.021
3M versus 3F	.056	.056

Tableau A2-12: Valeur du t de Student obtenues pour la comparaison intergroupe et intragroupe en fonction du sexe, des coefficients de corrélation linéaire (r) et des coefficients de corrélation par les rangs de Spearman (r<sub>s</sub>). Aucune valeur de t n'est significative au seuil .05.

Groupe	1	2	3	1		2		3	
				M	F	M	F	M	F
ERM	1.216	.553	.524	1.359	1.084	.258	.728	.637	.324

Tableau A2-13: Erreur relative moyenne, en fonction du groupe et du sous-groupe sexuels.

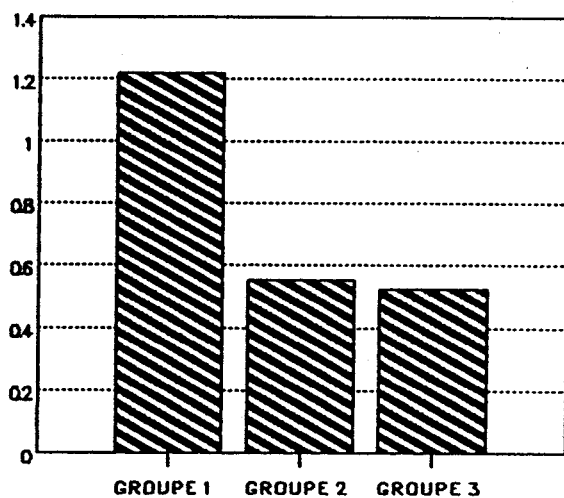


Figure A2-2: Distribution de l'erreur relative moyenne, en fonction du groupe.

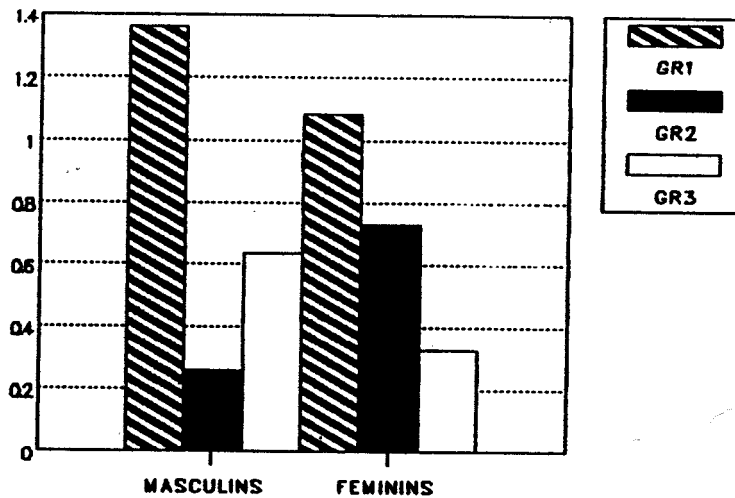


Figure A2-3: Distribution de l'erreur relative moyenne, en fonction du groupe et du sexe.

Comparaison des groupes	1-2	2-3	1-3	1M-1F	2M-2F	3M-3F
t	11.17 ***	.55 NS	9.17 ***	2.58 **	6.81 ***	6.63 ***

Tableau A2-14: Valeurs du t de Student, obtenues après comparaisons intergroupes, et intragroupes en fonction du sexe, des échantillons d'estimations (\*\*\*: significatif à  $p < .01$ , \*\*: significatif à  $p < .02$ , \*: significatif à  $p < .05$ , NS:  $p > .05$ ).

Le test de Student (cf. tableau A2-14) indique que la plupart des différences observées sont significatives. Les élèves de sixièmes semblent surestimer davantage l'intensité des tâches que les élèves de secondes ou les enseignants. Par contre, on ne relève pas de différence entre ces deux derniers groupes. En ce qui concerne le sexe, une différence significative apparaît dans tous les groupes. Mais si les filles de seconde surestiment davantage les tâches que les garçons, la tendance apparaît inversée en sixième et chez les enseignants.

La définition des tâches permet en outre de les caractériser et de les regrouper en fonction de leur coût (fort, de 106 à 159 Kcal; moyen, de 62 à 93 Kcal; faible, de 31 à 53 Kcal), de leur vitesse (6, 5 ou 4 km/h), de leur durée (30, 20 ou 10 minutes) ou du repos accordé (sans repos, 2 minutes ou 5 minutes). Les figures A2-4, A2-5, A2-6 et A2-7 représentent la distribution des erreurs relatives, par groupe, en fonction des caractéristiques des exigences de la tâche. La signification statistique des différences observées est analysée au moyen du test de Student (tableaux A2-15 et A2-16).

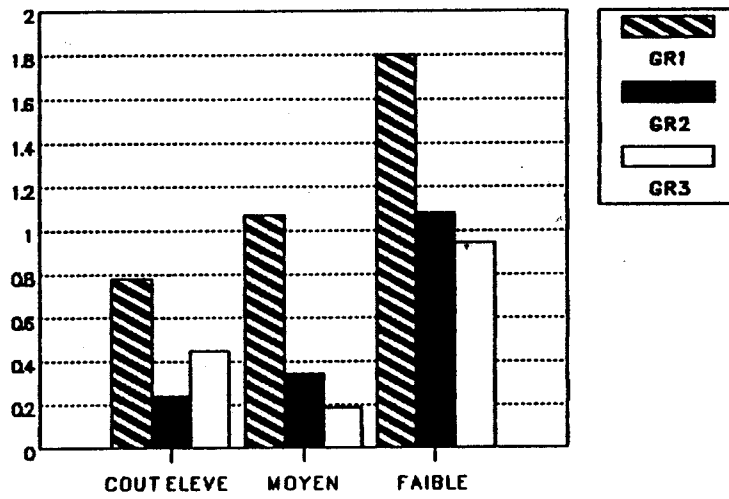


Figure A2-4: Distribution de l'erreur relative en fonction du groupe et du coût global des tâches.

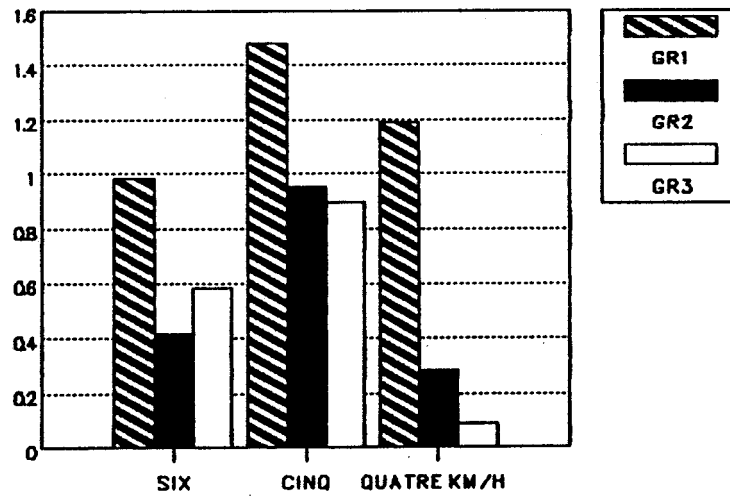


Figure A2-5: Distribution de l'erreur relative en fonction du groupe et de la vitesse.

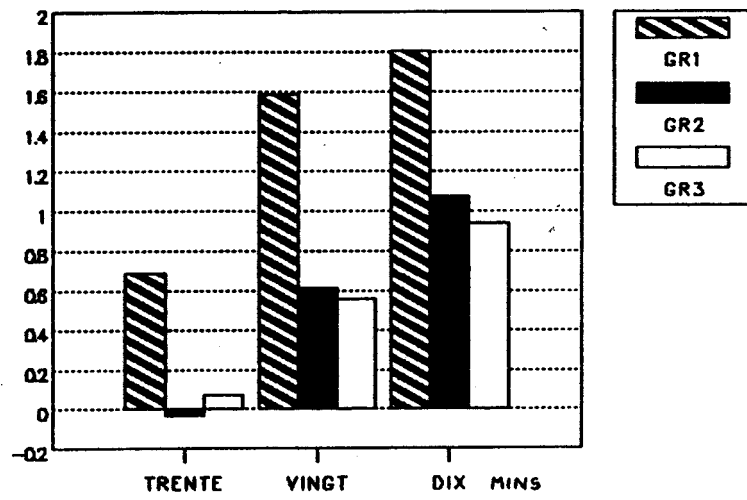


Figure A2-6: Distribution de l'erreur relative en fonction du groupe et de la durée.

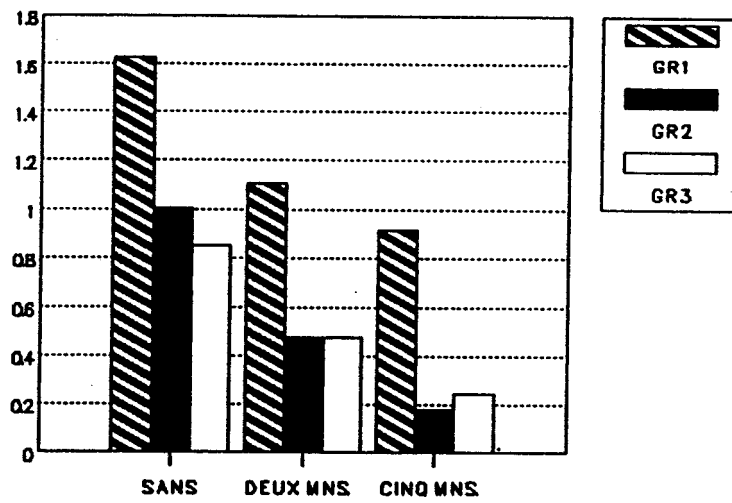


Figure A2-7: Distribution de l'erreur relative en fonction du groupe et du repos.

Groupes		1	2	3
Coût	Fort vs Moyen	.99NS	.32NS	.91NS
	Fort vs Faible	3.36***	2.75**	1.80NS
	Moyen vs Faible	3.57***	2.63**	3.15***
Vitesse	6 vs 5 km/h	1.30NS	1.57NS	1.10NS
	6 vs 4 km/h	.56NS	.38NS	1.61NS
	5 vs 4 km/h	1.24NS	2.60**	4.56***
Durée	30 vs 20 mins	1.68NS	2.40*	1.79NS
	30 vs 10 mins	3.80***	3.63***	3.10***
	20 vs 10 mins	3.18***	2.03NS	1.81NS
Repos	Sans vs 2 mins	1.58NS	1.63NS	1.31NS
	Sans vs 5 mins	2.26*	2.76**	2.14*
	2 vs 5 minutes	.66NS	.98NS	.82NS

Tableau A2-15: Valeurs du t de Student, obtenues après comparaisons intragroupes en fonction du type et du niveau des exigences des tâches (\*\*\*: significatif à  $p < .01$ , \*\*: significatif à  $p < .02$ , \*: significatif à  $p < .05$ , NS:  $p > .05$ ).

En ce qui concerne le coût, on observe une tendance significative à davantage surestimer les tâches à faible coût que celles à moyen et fort coût. On retrouve en fait ici le phénomène observé dans la première partie de l'expérimentation. Le calcul des corrélations entre l'échelle des scores théoriques et celles des erreurs relatives confirme cette hypothèse (groupe 1,  $r = -.770$ ; groupe 2,  $r = -.653$ ; groupe 3,  $r = -.506$ ). Ces corrélations sont significatives au seuil  $p = .01$ . Le bornage de l'échelle proposé aux sujets n'a donc pas suffi à modifier la tendance au recentrage autour de valeurs moyennes. Il faut noter que Durand (1986) obtenait le résultat inverse. Les élèves de sixièmes surestiment davantage que les secondes ou les enseignants, quelle que soit la situation de la tâche dans l'échelle des coûts. La seule différence significative observée entre les groupes 2 et 3 concerne les tâches à fort coût énergétique, davantage surestimées par les enseignants.

En ce qui concerne la vitesse, si pour l'ensemble des groupes, ce sont les tâches de vitesse moyenne qui sont les plus surestimées, les différences observées ne sont significatives que pour les enseignants. Quelle que soit la vitesse, les sixièmes surestiment davantage les tâches que les deux autres groupes. Par ailleurs, les enseignants surestiment davantage les tâches rapides et moins les tâches lentes, que les élèves de seconde. On retrouve la tendance dégagée plus haut pour le coût. Il semblerait que les enseignants ont davantage tenu compte du bornage de l'échelle de cotation.

Type	Comparaison des Groupes	Exigences		
		Fortes	Moyennes	Faibles
Coût	1 vs 2	6.01***	6.89***	6.56***
	1 vs 3	3.58***	7.64***	9.02***
	2 vs 3	3.75***	2.84*	1.41NS
Vitesse	1 vs 2	6.56***	5.37***	11.02***
	1 vs 3	4.03***	5.74***	20.63***
	2 vs 3	2.66*	.61NS	2.79*
Durée	1 vs 2	6.36***	6.57***	6.56***
	1 vs 3	4.44***	4.06***	3.02***
	2 vs 3	1.73NS	.57NS	1.41NS
Repos	1 vs 2	7.26***	5.71***	6.25***
	1 vs 3	7.57***	4.16***	4.67***
	2 vs 3	1.53NS	.00NS	.92NS

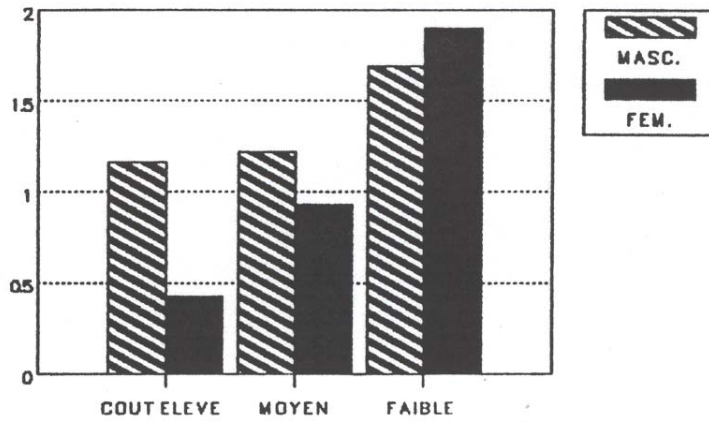
Tableau A2-16: Valeurs du t de Student, obtenues après comparaisons intergroupes en fonction du type et du niveau des exigences des tâches (\*\*\*: significatif à  $p < .01$ , \*\*: significatif à  $p < .02$ , \*: significatif à  $p < .05$ , NS:  $p > .05$ ).

En ce qui concerne la durée de l'effort, les tâches longues apparaissent pour l'ensemble des groupes davantage surestimées que les tâches courtes. Ceci concorde avec les résultats antérieurs de Durand. Encore une fois, les élèves de sixième surestiment davantage l'ensemble des tâches, quelle qu'en soit la durée. Aucune différence n'apparaît entre les deux autres groupes.

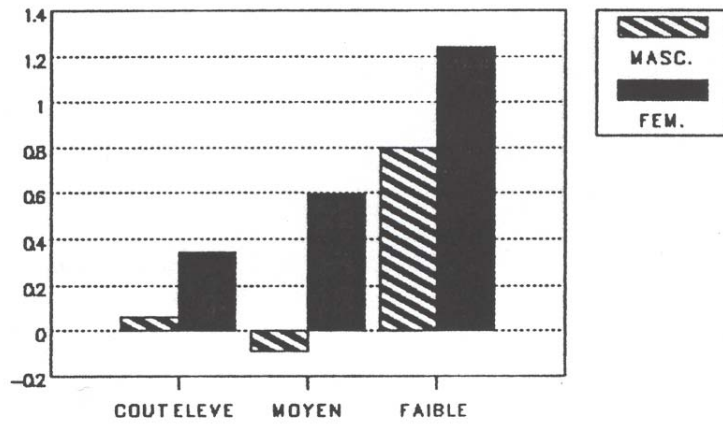
En ce qui concerne enfin le repos accordé, les tâches sans repos sont davantage surestimées que les tâches avec cinq minutes de repos. Les différences avec les tâches intermédiaires n'apparaissent pas significatives. Ceci est cohérent avec les résultats de Durand. Les sixièmes surestiment davantage les tâches, quel que soit le repos défini. Aucune différence significative n'apparaît entre les deux autres groupes.

On a pu mettre en évidence des effets systématiques dus au sexe. Ces effets se retrouvent-ils par rapport aux différents types d'exigences définissant les tâches? Les figures A2-8, A2-9, A2-10 et A2-11 représentent la distribution de l'erreur relative moyenne, en fonction de la nature des exigences, du groupe et du sexe. Les différences observées sont analysées grâce au test de Student (Tableau A2-17).

### GRUPE 1.



### GRUPE 2.



### GRUPE 3.

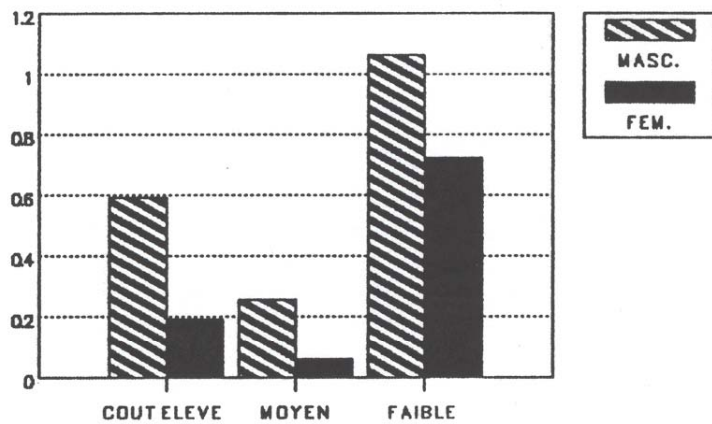
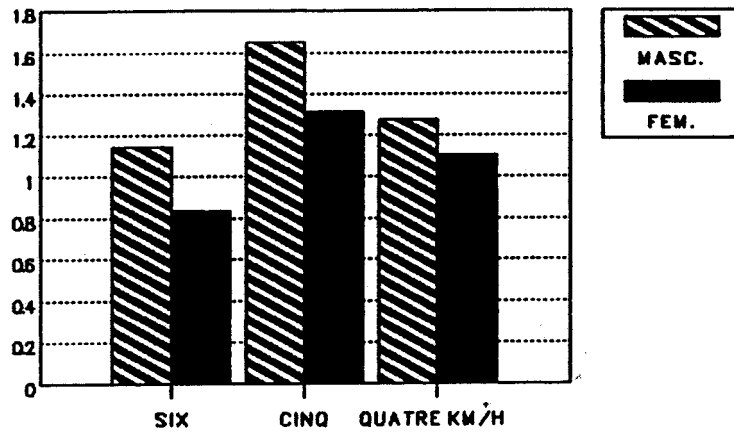
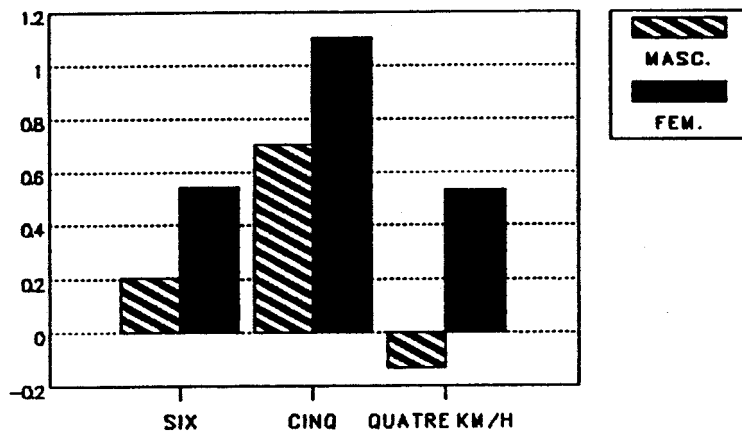


Figure A2-8: Distribution de l'erreur relative moyenne, en fonction du coût global, du groupe et du sexe.

### GRUPE 1.



### GRUPE 2.



### GRUPE 3.

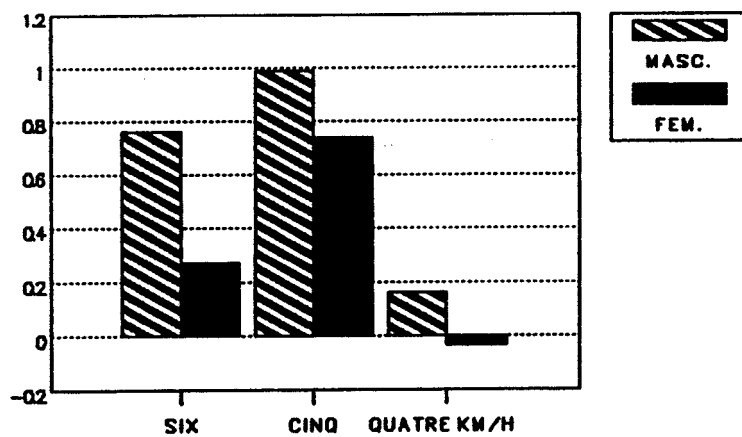
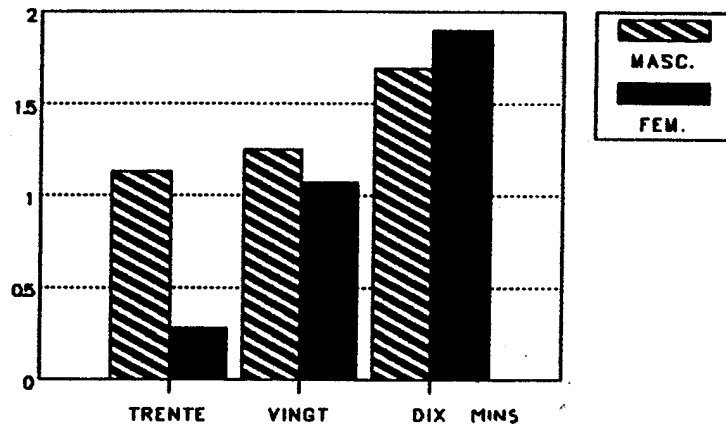
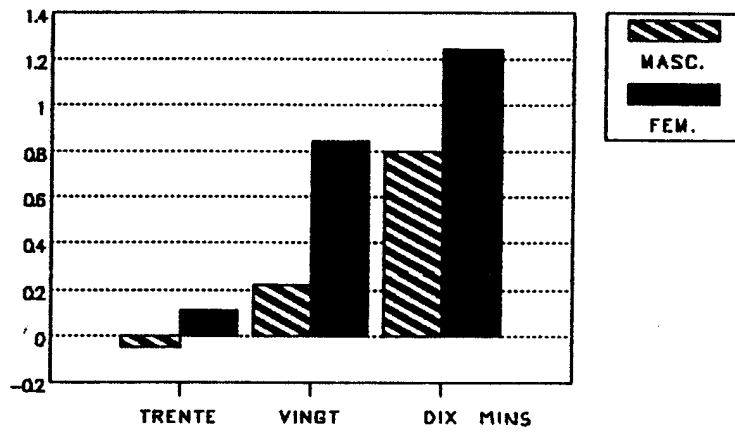


Figure A2-9: Distribution de l'erreur relative moyenne, en fonction de la vitesse, du groupe et du sexe.

### GROUPE 1.



### GROUPE 2.



### GROUPE 3.

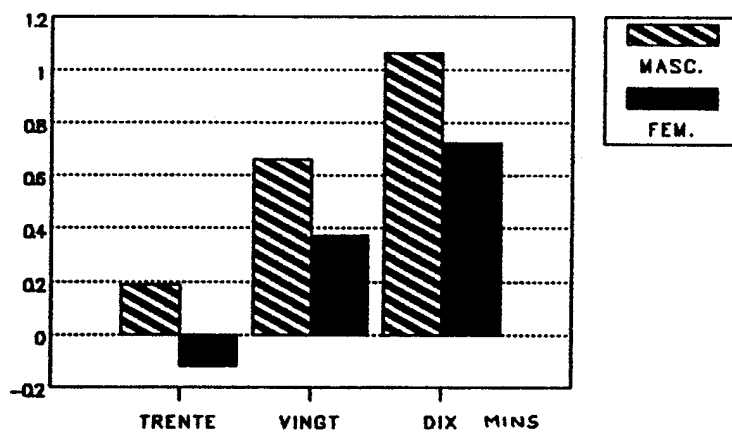
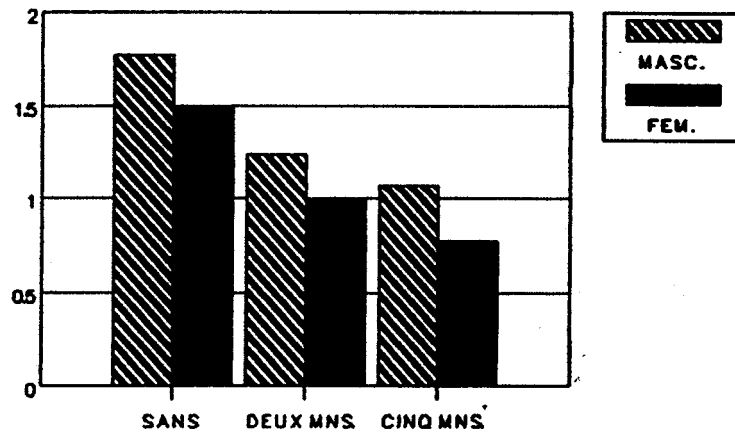
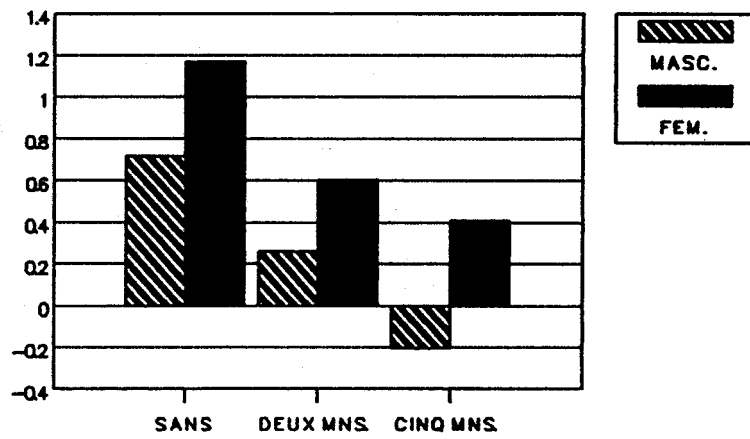


Figure A2-10: Distribution de l'erreur relative moyenne, en fonction de la durée, du groupe et du sexe.

### GRUPE 1.



### GRUPE 2.



### GRUPE 3.

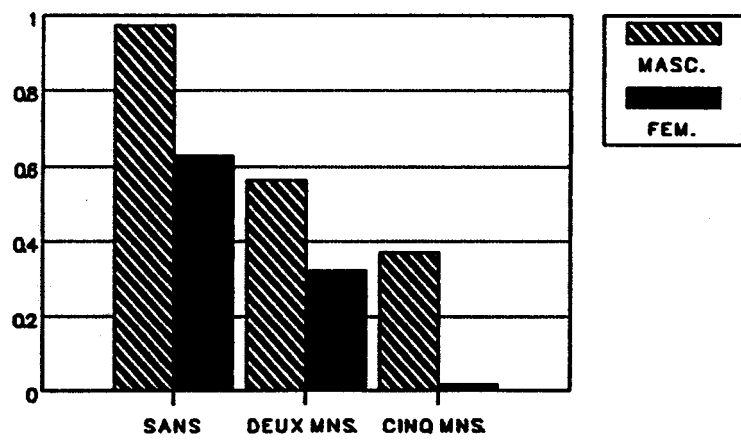


Figure A2-11: Distribution de l'erreur relative moyenne, en fonction du repos, du groupe et du sexe.

Groupes		1	2	3
Coût	Fort	5.87***	2.50*	4.43***
	Moyen	1.68NS	5.08***	3.05*
	Faible	2.29NS	6.25***	4.19***
Vitesse	6 km/h	1.72NS	3.19**	7.41***
	5 km/h	1.61NS	3.68***	2.71*
	4 km/h	.98NS	5.51***	3.75***
Durée	30 minutes	7.91***	2.42*	4.69***
	20 minutes	1.32NS	4.94***	2.82*
	10 minutes	2.29NS	6.25***	4.19***
Repos	Sans	1.59NS	3.83***	3.75***
	2 minutes	1.10NS	2.81*	2.65*
	5 minutes	1.75NS	5.41***	5.60***

Tableau A2-17: Valeurs du t de Student, obtenues après comparaisons intragroupes en fonction du sexe (\*\*\*: significatif à  $p < .01$ , \*\*: significatif à  $p < .02$ , \*: significatif à  $p < .05$ , NS:  $p > .05$ ).

On remarque qu'en ce qui concerne les élèves de sixièmes, les différences observées n'apparaissent guère significatives, si ce n'est une tendance pour les garçons à surestimer davantage que les filles les tâches longues et celles à coût élevé. C'est à ce niveau que semble résider l'essentiel des différences précédemment observées entre filles et garçons de sixième (cf tableau A2-14). Les différences sexuelles sont beaucoup plus marquées au sein des deux autres groupes. Quel que soit le niveau et la nature des exigences prises en compte, les résultats précédents sont confirmés: dans le groupe 2, les filles surestiment davantage les tâches que les garçons, alors qu'à l'inverse les enseignantes surestiment moins que leurs collègues masculins.

EXPERIENCE 4.

PERCEPTION DE L'EFFORT ET DIFFICULTE DE LA TACHE.

Les rapports entre cognition et endurance à l'effort ont connu des développements récents. On peut notamment noter l'intérêt, tant pour leurs éventuelles applications pratiques que pour leurs développements théoriques, porté aux techniques de dissociation. Ces dernières consistent à surajouter une tâche mentale à une tâche à dominante bio-énergétique. On montre que la tâche ajoutée entraîne une diminution de l'effort perçu et un accroissement de la performance. Rejeski (1985) interprète ce phénomène dans le cadre du modèle de traitement de l'information, et dans le sens d'une mise en concurrence des informations au niveau du canal de traitement. Le traitement informationnel occuperait la capacité du canal, et de ce fait distrairait le sujet de sa propre fatigue.

On considère actuellement que la difficulté d'une tâche est liée à la quantité d'information à traiter pour le contrôle du mouvement (Hayes et Marteniuk, 1976). On peut alors formuler l'hypothèse que la difficulté même de la tâche peut jouer le rôle de la tâche surajoutée dans la technique de dissociation. Notre hypothèse principale pourrait donc se libeller ainsi: à intensité objective égale, une tâche difficile devrait être ressentie comme moins pénible qu'une tâche plus facile. Le modèle proposé par Rejeski suggère également que plus la difficulté de la tâche sera grande, plus le phénomène de dissociation sera marqué. Une expérience récente (Rejeski et Kenney, 1987) montre néanmoins que l'accroissement de la difficulté de la tâche mentale ajoutée n'a pas d'effet significatif sur l'effet de dissociation.

A3.1. METHODE.

Huit sujets, de sexe masculin, participent à l'expérience. Leur âge moyen est de 17 ans, et ils sont suffisamment entraînés (ils pratiquent tous une activité sportive de compétition et suivent un enseignement sportif optionnel de 3 heures par semaine dans le cadre de leurs études).

La tâche consiste en une course sur tapis roulant d'une durée de trois minutes. Cette durée permet la stabilisation de la fréquence cardiaque, tout en évitant des phénomènes de fatigue excessive, les sujets devant réaliser cinq parcours au cours de l'expérience.

Les variables manipulées sont la vitesse de course (A1=8km/h, A2=12km/h,

A3=10km/h), et la difficulté de la tâche (D1= course libre, D2= course avec marquage au sol). Le tapis roulant est divisé longitudinalement en deux bandes, gauche et droite. Sur chacune de ces bandes sont tracées deux cibles, différemment espacées sur une bande et sur l'autre. Dans la condition D2, on demande aux sujets de s'efforcer de mettre un pied dans chacune des cibles qui défilent sur la bande sur laquelle ils courent. Afin d'éviter l'automatisation de stratégies économiques, comme l'adoption de séquences rythmiques dans la course, on demande fréquemment au sujet de changer de bande. On s'assure que la consigne est bien suivie tout au long du déroulement de l'épreuve.

Les sujets effectuent tous pour commencer un parcours (A3, D1), afin de se familiariser avec le tapis roulant. Les quatre parcours suivants sont définis par le croisement des vitesses A1 et A2, et des difficultés D1 et D2 (tableau A3-1).

<b>Parcours</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>
<b>Vitesse</b>	<b>A3</b>	<b>A1</b>	<b>A1</b>	<b>A2</b>	<b>A2</b>
<b>Difficulté</b>	<b>D1</b>	<b>D1</b>	<b>D2</b>	<b>D1</b>	<b>D2</b>

Tableau A3-1. Descriptif des tâches utilisées.

Cette construction suppose que la difficulté du parcours 5 est plus grande que celle du parcours 3, par augmentation de la pression temporelle.

Les parcours 2 à 5 sont proposés dans un ordre aléatoire, différent pour chaque sujet. Par le jeu de la rotation du groupe sur l'atelier, chacun dispose d'un temps de repos de 12 minutes entre deux passations.

L'électrocardiogramme est enregistré en continu, ce qui permet de mesurer la fréquence cardiaque moyenne par périodes de 30 secondes. Au terme de chacun des quatre derniers parcours, on demande une évaluation de l'effort perçu, selon la RPE scale de Borg, traduite en français (tableau A3-2).

Les sujets n'ont pas connaissance des évaluations réalisées par leurs camarades.

### A3.2. RESULTATS.

La stabilisation de la fréquence cardiaque apparaît selon les sujets et les parcours entre un minute et demi et deux minutes. On prend comme donnée individuelle par parcours la moyenne des mesures de fréquence cardiaque à deux minutes, deux minutes et demi et trois minutes. Les résultats individuels sont indiqués dans le tableau A3-3. Le meilleur ajustement des données avant moyennage est de type linéaire:

$$RPE = (.123) * FC - 7.936 \quad (r = .764) \quad (1)$$

6	
7	Extrêmement léger
8	
9	Très léger
10	
11	Léger
12	
13	Moyen
14	
15	Intense
16	
17	Très intense
18	
19	Extrêmement intense
20	

Tableau A3-2. Echelle de cotation utilisée pour l'évaluation de l'effort perçu.

Parcours	2		3		4		5	
Vitesse	A1		A1		A2		A2	
Difficulté	D1		D2		D1		D2	
Sujets	RPE	FC	RPE	FC	RPE	FC	RPE	FC
1	8	139.33	13	143.33	10	153.33	15	168.67
2	9	147.33	14	165.33	14	164.67	17	179.33
3	11	146.00	11	153.33	14	168.66	16	177.33
4	12	168.00	13	176.67	15	186.00	18	192.67
5	13	177.33	14	188.00	16	196.67	16	195.33
6	9	155.33	12	170.67	14	183.33	14	192.00
7	11	152.67	11	161.33	15	175.33	15	183.33
8	8	163.33	12	168.67	12	181.33	14	182.67

Tableau A3-3. Fréquences cardiaques (FC) et efforts perçus (RPE). Résultats individuels.

La figure A3-1 représente les résultats individuels et cette fonction d'ajustement. On peut remarquer que l'accroissement de la difficulté de la tâche augmente le niveau d'effort objectif, la course étant beaucoup moins efficace dans les tâches D2.

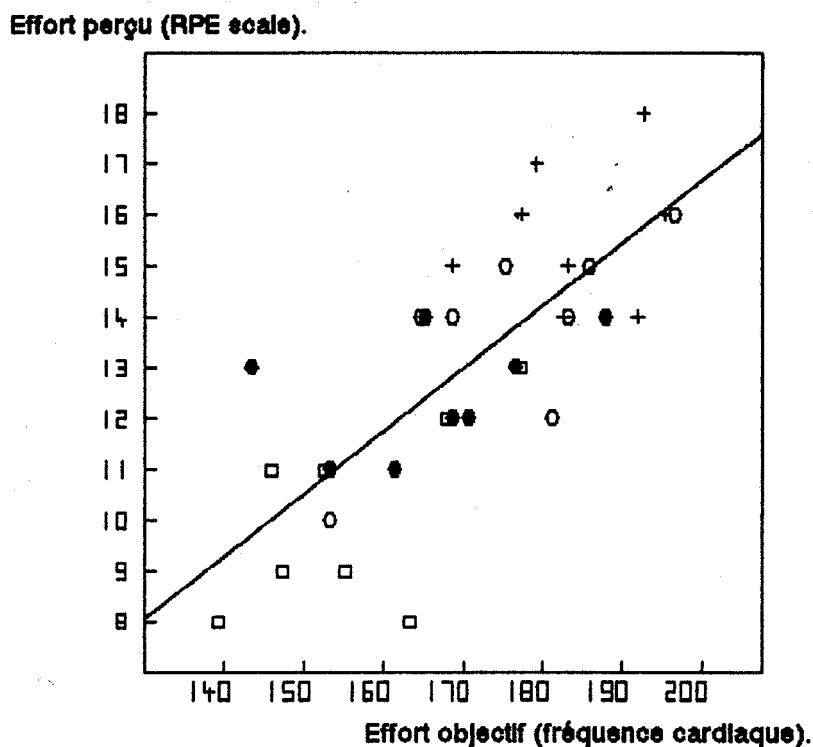


Figure A3-1. Relation Fréquence cardiaque-effort perçu (données avant moyennage). Carrés= tâche (D1, A1), croix= tâche (D1, A2), cercles vides= tâche (D2, A1), cercles pleins= tâche (D2, A2).

On calcule ensuite pour chaque parcours la fréquence cardiaque moyenne et la moyenne des efforts perçus (tableau A3-4).

Parcours	2	3	4	5
Vitesse	A1	A1	A2	A2
Difficulté	D1	D2	D1	D2
RPE moy.	10.12	12.5	13.75	15.62
FC moy.	156.16	165.92	176.16	183.92

Tableau A3-4. Fréquences cardiaques (FC) et efforts perçus (RPE) moyens.

La figure A3-2 représente ces points moyens, associés à la fonction d'ajustement de l'échantillon avant moyennage (1).

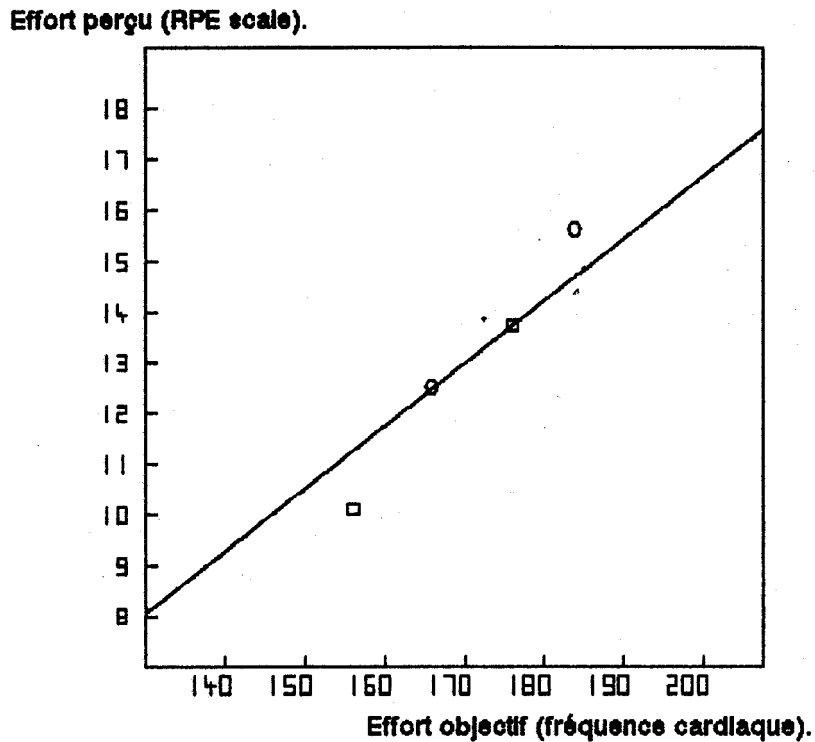


Figure A3-2. Relation fréquence cardiaque-effort perçu (moyennes par tâche). Cercles vides= tâches D1, cercles pleins= tâches D2.

Afin de comparer les résultats obtenus dans les différentes conditions, on calcule pour chaque évaluation réalisées l'écart entre le RPE réel et le RPE théorique donné par la fonction d'ajustement (1). Les écarts moyens sont présentés dans le tableau A3-5.

<b>Difficulté</b>	<b>D1</b>		<b>D2</b>	
<b>Ecart moyen</b>	<b>-.52533</b>		<b>.52533</b>	
<b>Vitesse</b>	<b>A1</b>	<b>A2</b>	<b>A1</b>	<b>A2</b>
<b>Ecart moyen</b>	<b>-1.11</b>	<b>.059</b>	<b>.068</b>	<b>.983</b>

Tableau A3-5. Moyenne des écarts à l'ajustement linéaire, pour les différents tâches.

Le test de Student pour la comparaison d'échantillons appariés montre que les écarts obtenus dans les tâches de difficulté D1 diffèrent significativement de ceux obtenus dans les tâches D2 ( $t=2.37$ ,  $p<.05$ ). Ces derniers étant positifs, ce résultat est à l'opposé de notre hypothèse principale: à intensité objective égale, l'accroissement de la difficulté de la tâche entraîne une augmentation significative de la RPE.

On peut noter que la différence entre les tâches (D2, A1) et les tâches (D2, A2) est significative, bien qu'à un seuil moins élevé ( $t=1.90$ ,  $p<.10$ ). C'est-à-dire que plus la difficulté de la tâche est grande, plus l'effet d'augmentation de l'effort perçu décrit plus haut semble marqué.

La différence entre les tâches (D1, A1) et (D1, A2) est également significative ( $t=3.71$ ,  $p<.01$ ). Ce résultat peut être expliqué si l'on considère que la course sur tapis roulant, même sans contrainte particulière, est déjà un exercice difficile pour le néophyte: l'élévation de la vitesse de déroulement accroît la pression temporelle et les exigences de contrôle. Cette différence serait donc d'une nature similaire à celle décrite au paragraphe précédent.

EXPERIENCES 5, 6 ET 7.

Estimation et Perception de la difficulté dans une tâche de pointage manuel.

Ces expériences ont pour but de montrer la validité de l'approche psychophysique de la difficulté informationnelle. Elles consistent en l'application des méthodes classiques (échelles de catégories et échelles de rapport) à une tâche informationnelle simple.

Dans le cadre de ces expériences, nous avons choisi d'utiliser la tâche de Fitts (1954), qui consiste en un pointer alternatif de deux cibles, selon deux exigences combinées de précision et de rapidité. Chaque tâche (figure 1) est décrite par la largeur des cibles ( $W$ ) et par la distance séparant les centres des deux cibles ( $A$ ). Fitts montre que l'on peut calculer pour chacune de ces tâches un indice de difficulté ( $ID$ ), traduisant la quantité d'information à traiter pour le contrôle du mouvement.

$$ID = -\log_2(W/2A) \text{ (bits/réponses)}$$

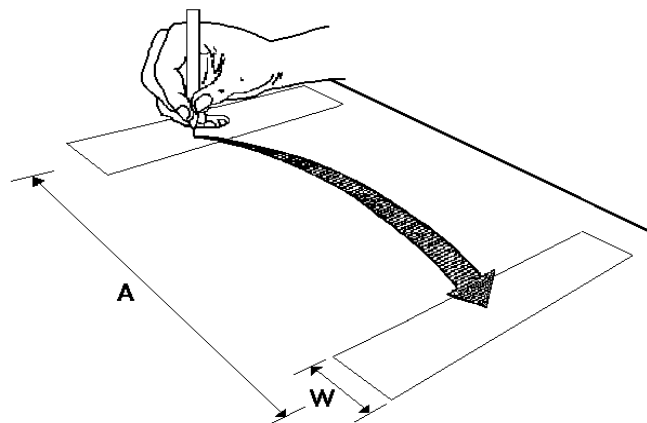


Figure A4-1: Description schématique de la tâche de Fitts.

L'auteur montre que cet indice corrèle avec le temps de mouvement (temps moyen séparant deux impacts successifs), à précision constante. La validité de la loi de Fitts a été vérifiée à plusieurs reprises, notamment pour des mouvements discrets (Fitts et Peterson, 1964; MacKenzie et coll., 1987).

#### A4.1. EXPERIENCE 5.

##### A4.1.1. METHODE.

L'expérience se déroule avec 15 sujets, masculins et féminins, l'âge moyen du groupe est de 34 ans. Les sujets sont confrontés à une série de 16 tâches dont les caractéristiques sont décrites dans le tableau A4-1. La tâche consiste à pointer alternativement avec un crayon les deux cibles, le plus précisément et le plus rapidement possible, durant cinq secondes. La consigne met l'accent en premier lieu sur la précision des pointages. La durée de chaque essai a été réduite par rapport au protocole de Fitts (1954), afin de limiter les effets d'apprentissage.

SERIE 1	W (cm)	A (cm)	ID (b/r)	SERIE 2	W (cm)	A (cm)	ID (b/r)
A1	0.5	5	4.32	B1	0.3	4	4.74
A2	0.5	10	5.32	B2	0.3	8	5.74
A3	0.5	20	6.32	B3	0.3	16	6.74
A4	0.5	40	7.32	B4	0.3	32	7.74
A5	1	5	3.32	B5	1	4	3.00
A6	1	10	4.32	B6	1	8	4.00
A7	1	20	5.32	B7	1	16	5.00
A8	1	40	6.32	B8	1	32	6.00
A9	2	5	2.32	B9	2.5	4	1.68
A10	2	10	3.32	B10	2.5	8	2.68
A11	2	20	4.32	B11	2.5	16	3.68
A12	2	40	5.32	B12	2.5	32	4.68
A13	4	5	1.32	B13	5	5	1.00
A14	4	10	2.32	B14	5	8	1.68
A15	4	20	3.32	B15	5	16	2.68
A16	4	40	4.32	B16	5	32	3.68

Tableau A4-1: Description des tâches expérimentales.

La première échelle utilisée pour l'évaluation de la difficulté, dérivée de la RPE scale de Borg, est décrite par le tableau A4-2. La seconde, inspirée de l'échelle de cotation des difficultés en escalade, est décrite dans le tableau A4-3. On peut remarquer que cette dernière ne respecte pas les principes édicté par Borg sur la répartition des labels le long du continuum. Il est demandé aux sujets dans les deux cas de se baser sur les libellés, mais d'indiquer comme résultats les chiffres correspondants. Les cotations intermédiaires permettent d'affiner l'appréciation. L'expérience se déroule en quatre temps:

DE1- Les sujets estiment la difficulté des tâches de la série A, selon l'échelle numéro 1.

DP1- Les sujets réalisent chacune des tâches de la série A, et en évaluent immédiatement après la difficulté, selon l'échelle numéro 1.

DE2- Les sujets estiment la difficulté des tâches de la série B, selon l'échelle numéro 1.

DP2- Les sujets réalisent chacune des tâches de la série A, et en évaluent

immédiatement après la difficulté, selon l'échelle numéro 2.

1	
2	<b>EXTREMEMENT FACILE</b>
3	
4	<b>TRES FACILE</b>
5	
6	<b>FACILE</b>
7	
8	<b>UN PEU DIFFICILE</b>
9	
10	<b>DIFFICILE</b>
11	
12	<b>TRES DIFFICILE</b>
13	
14	<b>EXTREMEMENT DIFFICILE</b>
15	

Tableau A4-2: Echelle numéro 1 pour l'évaluation de la difficulté.

1	
2	<b>FACILE</b>
3	
4	<b>PEU DIFFICILE</b>
5	
6	<b>ASSEZ DIFFICILE</b>
7	
8	<b>DIFFICILE</b>
9	
10	<b>TRES DIFFICILE</b>
11	
12	<b>EXTREMEMENT DIFFICILE</b>
13	

Tableau A4-3. Echelle numéro 2 pour l'évaluation de la difficulté.

Les tâches sont présentées dans un ordre aléatoire, qui change pour chaque sujet et pour chaque temps de la passation. Néanmoins, les deux premières sont toujours la plus facile et la plus difficile, et sont présentées comme telles aux sujets, afin de fixer les bornes du continuum. Mais aucune cotation n'est attribuée a priori à ces deux tâches.

#### A4.1.2. RESULTATS.

On calcule les moyennes de difficulté estimée ou perçue pour chaque tâche. Les meilleurs ajustements obtenus sont linéaires:

$$DE1 = (2.035 * ID) - 1.191 \quad (r = .967)$$

$$DP1 = (2.255 * ID) - 2.450 \quad (r = .974)$$

$$DE2 = (2.115 * ID) - .922 \quad (r = .976)$$

$$DP2 = (1.972 * ID) - 2.66 \quad (r = .976)$$

L'ajustement des fonctions après moyennage sur chaque valeur de ID est encore plus précis:

$$DE1 = (1.986 * ID) - 1.087 \quad (r = .995)$$

$$DP1 = (2.175 * ID) - 2.121 \quad (r = .994)$$

$$DE2 = (2.041 * ID) - .473 \quad (r = .975)$$

$$DP2 = (1.895 * ID) - 2.238 \quad (r = .993)$$

Les figures A4-2, A4-3, A4-4 et A4-5 représentent ces ajustements. Le tableau A4-4 permet de comparer les corrélations obtenues entre la difficulté subjective et les différents descripteurs de la tâche. L'indice de difficulté présente des corrélations supérieures à celles des indices visuels pouvant être prélevés sur les tâches.

	ID	A	1/W	A/W
DE1	.967	.526	.797	.787
DP1	.974	.546	.796	.814
DE2	.976	.493	.751	.714
DP2	.976	.569	.788	.845

Tableau A4-4. Coefficients de corrélation entre la difficulté subjective et les différents descripteurs de la tâche.

Une analyse en régression multiple de la difficulté subjective, selon l'indice de difficulté, la largeur des cibles et l'espacement donne les résultats suivants (l'analyse s'effectue sur données centrées réduites, et l'on utilise pour les échelles de difficulté subjective les données avant moyennage):

$$Z_{DE1} = (.871)Z_{ID} + (.206)Z_{1/W} - (.065)Z_A + (.000) \quad (r = .971)$$

$$Z_{DP1} = (.795)Z_{ID} + (.256)Z_{1/W} + (.007)Z_A + (.000) \quad (r=.982)$$

L'ajustement obtenu est plus précis que la régression linéaire simple de la difficulté subjective selon la quantité d'information (DE1,  $r=.971$  vs  $r=.967$ ; DP1,  $r=.982$  vs  $r=.974$ ). Le coefficientage montre comme on pouvait s'y attendre l'importance de l'indice de difficulté. Si l'espacement des cibles joue en tant que tel dans les deux cas un rôle négligeable, il n'en va pas de même pour leur taille. On peut dire que la difficulté subjective est principalement déterminée par la quantité d'information à traiter, la taille des cibles en modulant secondairement la valeur.

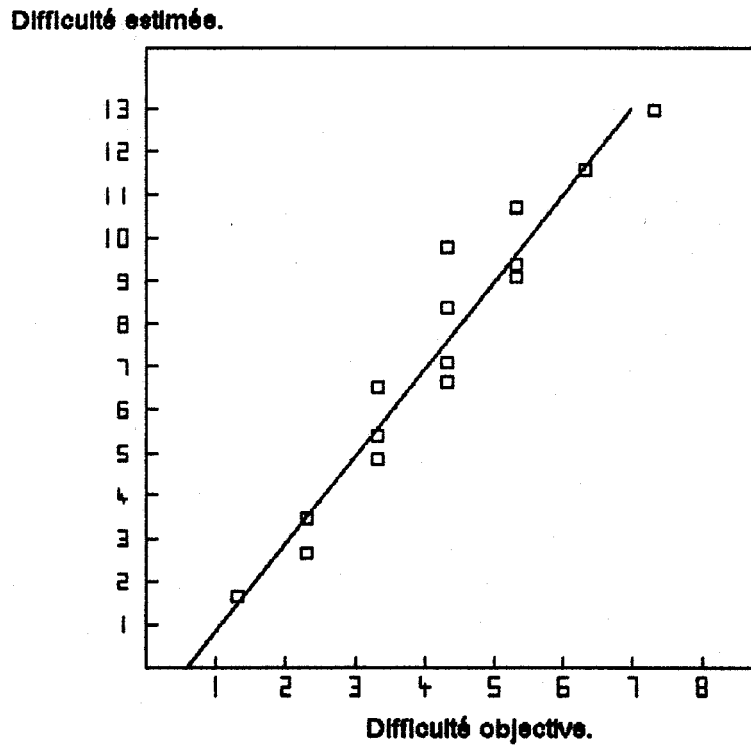


Figure A4-2.: Relation difficulté objective-difficulté estimée dans la tâche de Fitts (échelle numéro 1, avant pratique).

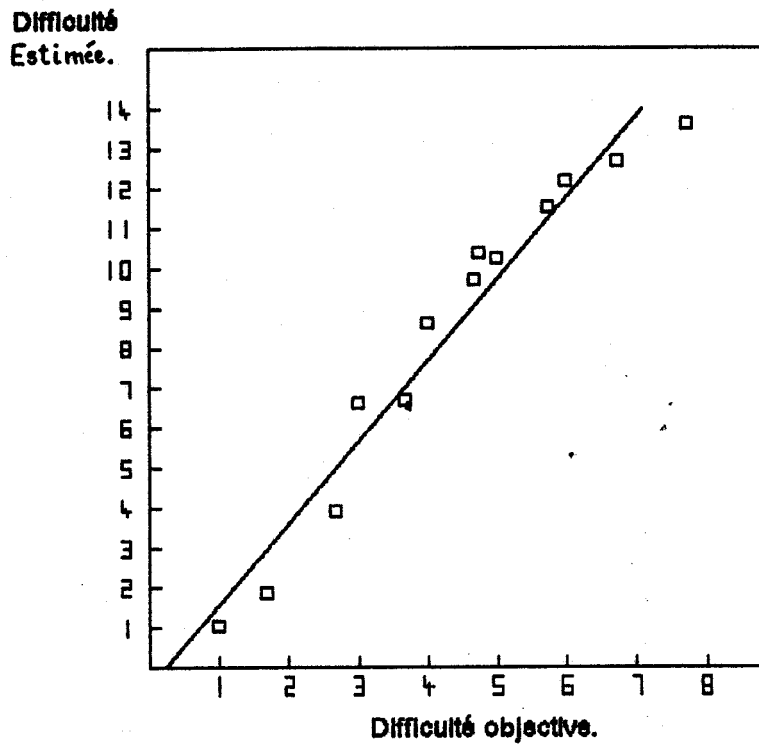


Figure A4-3.: Relation difficulté objective-difficulté estimée dans la tâche de Fitts (échelle numéro 1, après pratique).

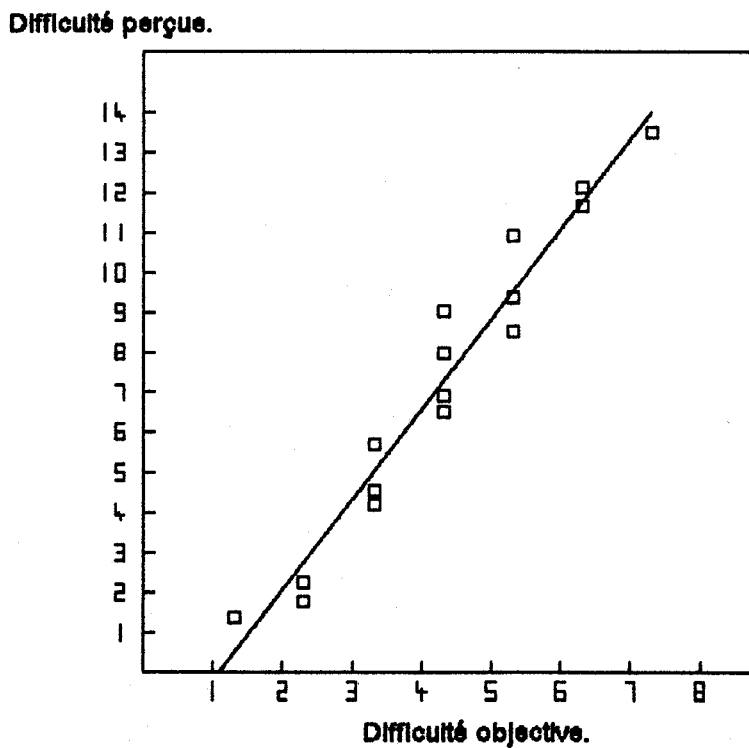


Figure A4-4.: Relation difficulté objective-difficulté perçue dans la tâche de Fitts (échelle numéro 1).

**Difficulté perçue.**

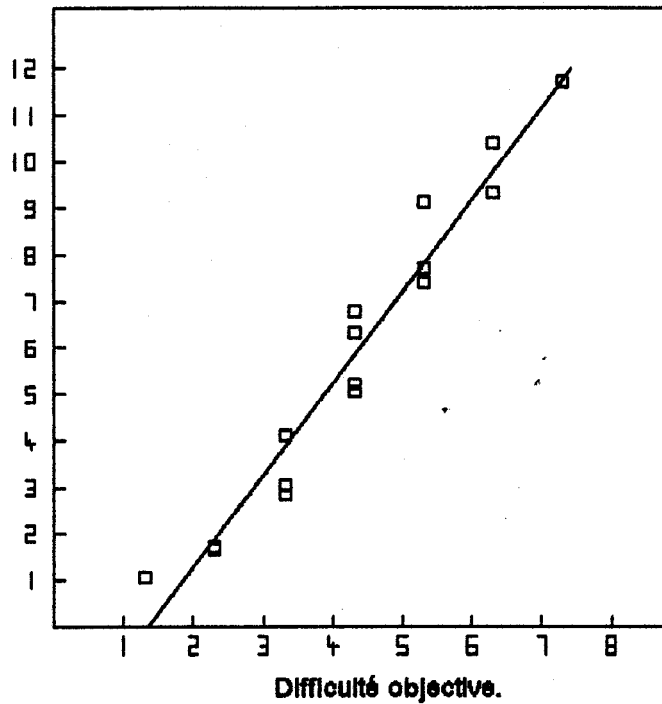


Figure A4-5.: Relation difficulté objective-difficulté perçue dans la tâche de Fitts (échelle numéro 2).

Le tableau A4-5 indique les corrélations entre les différentes échelles construites.

	DP2	DP1	DE2
DE1	.982	.993	.994
DE2	.984	.993	
DP1	.992		

Tableau A4-5: Corrélations entre les échelles de catégories.

Ces corrélations sont très élevées. Les valeurs les plus basses sont enregistrées dans les couples incluant DP2, construite à partir de l'échelle d'estimation numéro 2.

## A4.2. EXPERIENCE 6.

### A4.2.1. METHODE.

Les sujets sont les mêmes que précédemment. 7 tâches de la série servent de support (A13 (ID=1.32), A9 (ID=2.32), A15 (ID=3.32), A11 (ID=4.32), A7 (ID=5.32), A8 (ID=6.32), A4 (ID=7.32)). L'expérience consiste en la construction d'échelles de rapport, dans un premier temps suivant la technique d'estimation des grandeurs: la tâche la plus facile (A13) est affectée de la cotation 10, le sujet doit attribuer une cotation à chacune des autres tâches, dans une logique de rapport, c'est-à-dire qu'une tâche cotée 20 est considérée comme deux fois plus difficile que le modulus (tâche-étalon).

Dans un second temps on utilise la méthode d'estimation des rapports. Les tâches sont présentées par paires, dans un ordre aléatoire qui change pour chaque sujet. La tâche la plus facile de la paire sert de modulus et est cotée 10. Le sujet doit coter la seconde selon la même logique que précédemment. Le calcul des cotations subjectives de chaque tâche, à partir de la matrice des résultats, est réalisé par la méthode de Ekman (Bonnet, 1968-69).

### A4.2.2. RESULTATS.

On calcule la moyenne de la DP pour chaque tâche. Quelle que soit la méthode employée, les résultats s'ajustent sur des fonctions exponentielles (figure A4-6).

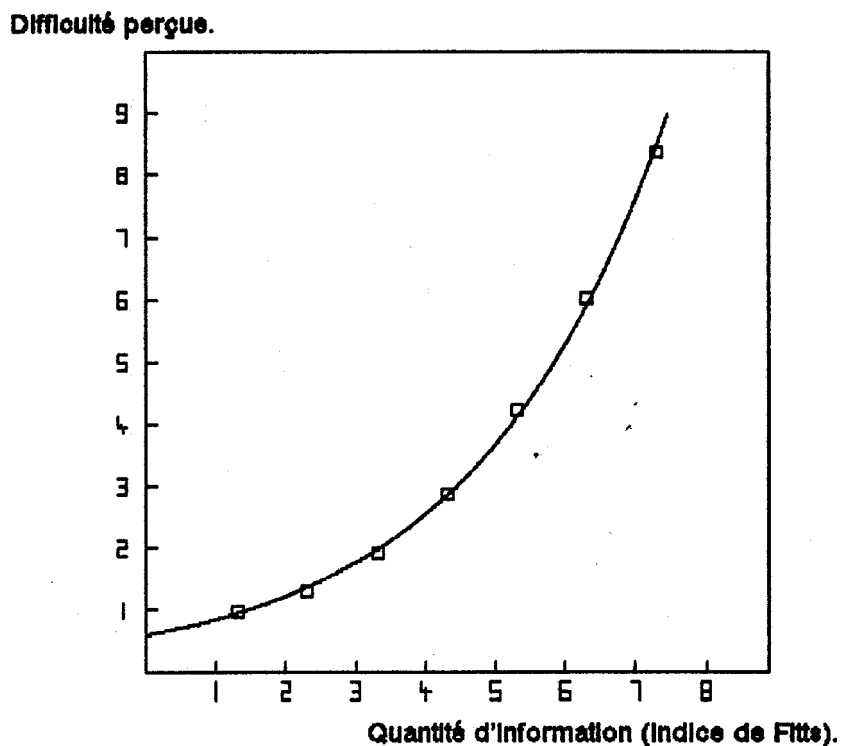


Figure A4-6: Relation difficulté objective-difficulté perçue dans la tâche de Fitts. Les résultats représentés ont été obtenus par la méthode d'estimation des grandeurs.

Selon la méthode d'estimation de grandeurs:

$$DP = .593 * e^{(.364)*ID} \quad (r=.999)$$

Selon la méthode d'estimation des rapports:

$$DP = .474 * e^{(.408)*ID} \quad (r=.987)$$

Aucun autre type de fonction n'atteint un tel coefficient de corrélation. L'ajustement des échelles individuelles donne également des fonctions exponentielles, dont les coefficients sont indiqués dans le tableau A4-6.

Sujets	Estimation de grandeurs			Estimation de rapports		
	$\alpha$	$\beta$	r	$\alpha$	$\beta$	r
9	.716	.229	.997	.681	.240	.995
10	.673	.242	.995	.612	.263	.989
6	.729	.249	.993	.659	.272	.985
4	.671	.258	.997	.581	.290	.986
1	.716	.263	.998	.598	.303	.994
14	.603	.278	.965	.493	.325	.962
2	.733	.325	.989	.488	.413	.990
5	.536	.328	.984	.511	.335	.962
15	.649	.347	.999	.538	.388	.996
7	.623	.397	.977	.481	.441	.984
13	.719	.411	.987	.432	.506	.986
11	.560	.412	.983	.453	.451	.992
8	.509	.443	.986	.417	.485	.988
12	.473	.468	.997	.378	.499	.987
3	.418	.498	.984	.348	.526	.952

Tableau A4-6: Exposants des fonctions exponentielles obtenues pour chaque sujet ( $DP = \alpha * e^{(\beta*ID)}$ ). r est le coefficient de corrélation de l'ajustement. Les sujets sont classés par ordre décroissant suivant le coefficient  $\beta$  obtenu par la méthode d'estimation de grandeurs.

### A4.3. EXPERIMENTATION 3.

Cette expérience a pour but de déterminer si l'expertise, dans une activité caractérisée par la difficulté du contrôle moteur (l'escalade en l'occurrence), a une influence sur la valeur de l'exposant des fonctions psychophysiques obtenues par les méthodes steveniennes dans les tâches de Fitts. On peut faire l'hypothèse que l'expérience de la difficulté extrême, chez les grimpeurs de haut-niveau, entraîne une diminution de la valeur de l'exposant.

#### A4.3.1. METHODE.

Deux groupes expérimentaux sont constitués, le premier est composé de 14 grimpeurs de haut-niveau, le second est un groupe témoin (n=14). On procède, à partir des 7 tâches de pointage retenues pour l'expérience précédente, à la construction d'échelles de rapports, selon la méthode d'estimation des grandeurs.

#### A4.3.2. RESULTATS.

Les résultats individuels s'ajustent tous selon des fonctions exponentielles. Le tableau A4-7 indique les exposants de chaque fonction individuelle.

Grimpeurs		Groupe témoin	
Sujet	Exposant	Sujet	Exposant
7	.188	2	.229
6	.198	8	.249
13	.200	4	.259
8	.223	10	.278
12	.240	3	.325
1	.242	5	.328
2	.263	6	.347
3	.267	12	.397
9	.275	9	.411
4	.283	11	.412
11	.294	7	.443
10	.325	1	.467
5	.342	14	.488
14	.505	13	.498
<b>Moyenne</b>	<b>.275</b>	<b>Moyenne</b>	<b>.366</b>

Tableau A4-7: Exposants des fonctions exponentielles individuelles.

Les deux distributions d'exposants diffèrent significativement ( $t=2.82$ ,  $p<.01$ ). Si l'ensemble des résultats s'ajuste sur des exponentielles, la pente des fonctions est donc plus faible chez les grimpeurs. Le même test d'ajustement réalisé sur les données moyennées donne les résultats suivants:

Grimpeurs:

$$DP = (.732) * e^{(.299)DO} \quad (r=.997)$$

Groupe témoin:

$$DP = (.639) * e^{(.386)DO} \quad (r=.999)$$

La figure A4-7 représente ces fonctions d'ajustement.

**Difficulté perçue.**

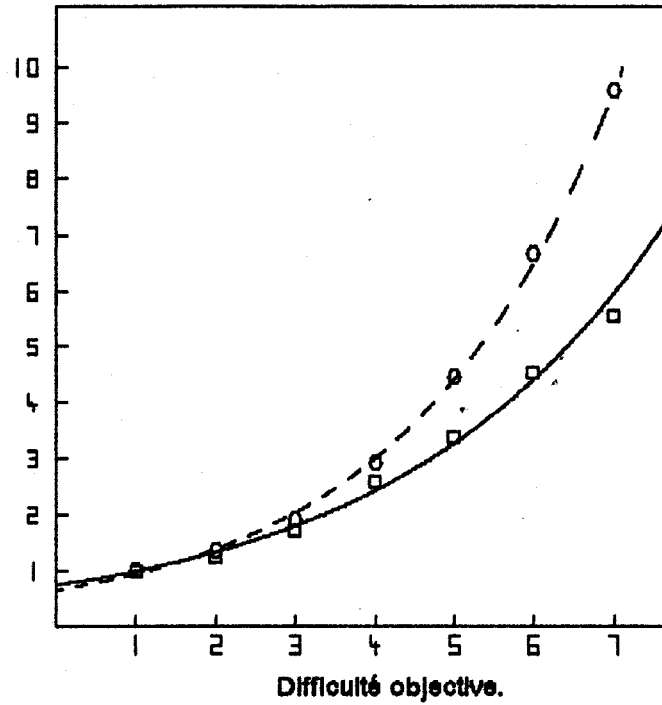


Figure A4-7: Relation difficulté objective-difficulté perçue. En plein: grimpeurs, en pointillé: groupe témoin.

EXPERIENCES 8 ET 9.

PERCEPTION DE LA COMPLEXITE  
DANS UNE TACHE DE RECHERCHE VISUELLE.

Ces expériences ont pour but de vérifier si les résultats obtenus au titre de la difficulté dans les tâches de Fitts se retrouvent en ce qui concerne la complexité informationnelle.

A5.1. DISPOSITIF EXPERIMENTAL.

Le dispositif expérimental se compose d'un micro-ordinateur, dont le clavier peut être équipé de caches ne laissant apparaître qu'un certain nombre de lettres. Chacun de ses caches correspond à une tâche expérimentale. Il y a cinq tâches, notées de A à E, correspondant respectivement à la mise en jeu d'un clavier à 2, 4, 8, 16, et 32 lettres. Afin d'éviter des artéfacts dûs à une maîtrise différenciée du clavier chez les sujets, on a procédé à des inversions de lettres et à l'introduction de lettres grecques (figure A5-1).

L'ordinateur est programmé pour effectuer les fonctions suivantes:

- Il demande laquelle des cinq tâches il doit lancer.
- Il affiche un message de préparation ("attention"), pour une durée régulière tout au long de l'expérimentation.
- Il affiche aléatoirement au centre de l'écran une des lettres du clavier.
- il affiche dans le coin inférieur droit de l'écran le temps séparant l'affichage de la lettre et la frappe de la touche correspondante. Cet affichage est masqué et ne peut être vu que par l'expérimentateur. Si le sujet frappe une touche ne correspondant pas à l'affichage, l'ordinateur signale l'erreur.

Après chaque essai, l'expérimentateur peut soit relancer un nouvel essai dans la même tâche, soit entrer dans une nouvelle tâche. A chaque essai, les n lettres caractérisant la tâche sont équiprobables.

Le sujet peut se positionner à sa guise à son poste de travail. Néanmoins, avant chaque essai, il doit poser la main droite dans une position repérée sur le support en avant du clavier. Il est recommandé aux sujets de frapper la touche correspondant à l'affichage le plus vite possible, et de n'utiliser qu'un seul doigt tout au long de l'expérience. En outre, on leur demande de ne faire aucune erreur. La position de départ de la main effectrice est déterminée de manière à ce que les distances la séparant de chaque touche possible soient équivalentes.

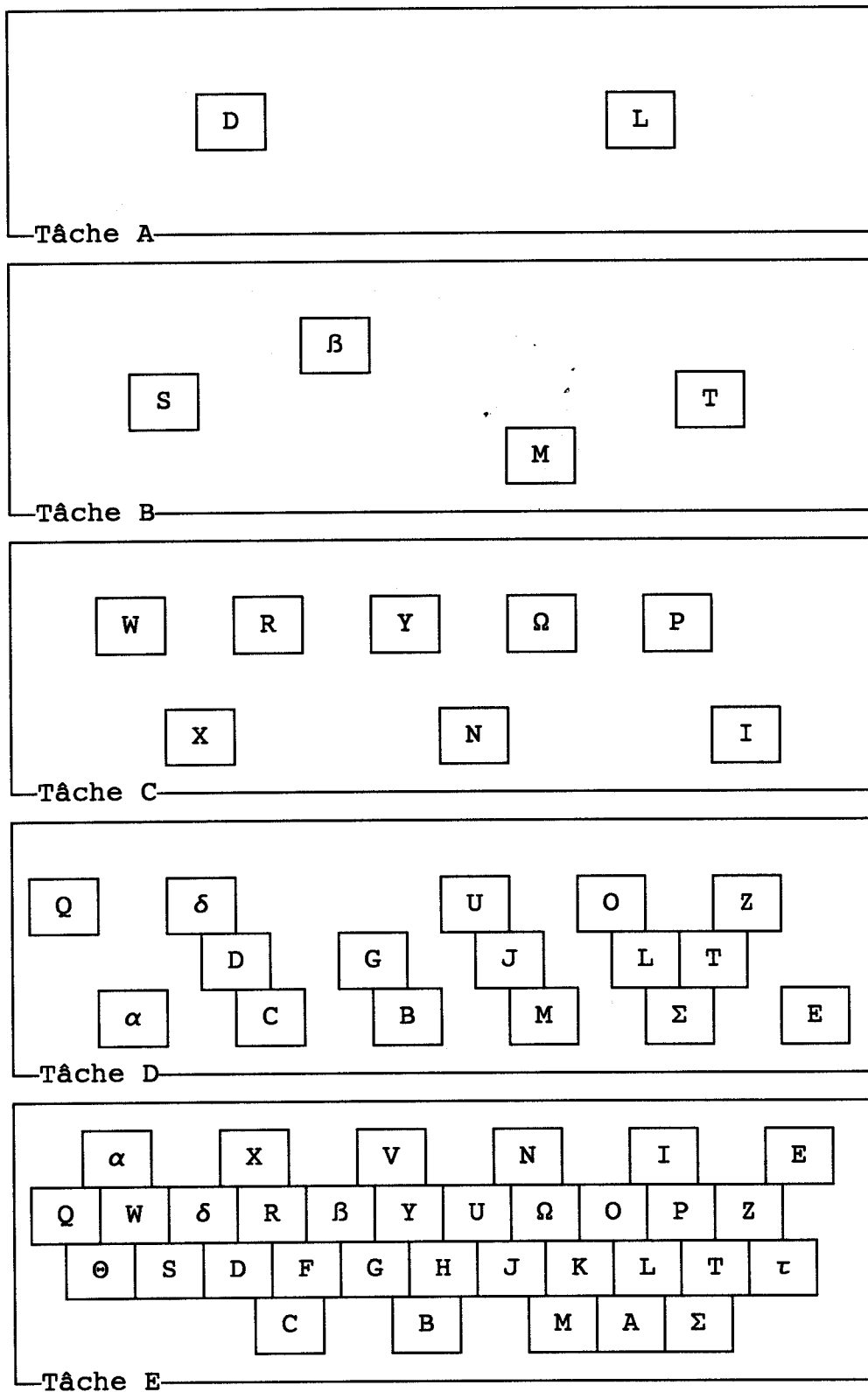


Figure A5-1.: Aménagement du clavier dans les cinq tâches expérimentales.

Les n stimuli étant pour chaque tâche et pour chaque essai équiprobables, la quantité d'information véhiculée par la tâche est égale à

$$I_n = \log_2 n.$$

Le tableau A5-1. résume les caractéristiques des cinq tâches expérimentales.

Tâche	n	$I_n$
A	2	1
B	4	2
C	8	3
D	16	4
E	32	5

Tableau A5-1.: Nombre de stimuli et quantité d'information pour les cinq tâches expérimentales.

## A5.2. EXPERIENCE 8.

### A5.2.1. METHODE.

15 sujets, masculins et féminins, participent à l'expérience. L'âge moyen du groupe est de 34 ans. Les sujets sont tous droitiers.

Les sujets réalisent une série de dix essais dans chacune des cinq tâches expérimentales. Au terme de chaque série, on leur demande l'évaluer la difficulté ressentie. L'échelle utilisée pour l'évaluation de la difficulté, dérivée de la RPE scale de Borg, est décrite par le tableau A5-2. Il est demandé aux sujets de se baser sur les libellés, mais d'indiquer comme résultats les chiffres correspondants. Les cotations intermédiaires permettent d'affiner l'appréciation.

1	
2	<b>EXTREMEMENT FACILE</b>
3	
4	<b>TRES FACILE</b>
5	
6	<b>FACILE</b>
7	
8	<b>UN PEU DIFFICILE</b>
9	
10	<b>DIFFICILE</b>
11	
12	<b>TRES DIFFICILE</b>
13	
14	<b>EXTREMEMENT DIFFICILE</b>
15	

Tableau A5-2: Echelle de cotation de la difficulté.

Les tâches sont présentées dans un ordre aléatoire, qui varie pour chaque sujet. Contrairement à l'expérience similaire concernant les tâches de Fitts (cf. Expérience 5, Annexe 4.), on ne donne aucun renseignement susceptible d'orienter la construction de l'échelle.

#### A5.2.2. RESULTATS.

Le tableau A5-3 indique les moyennes par tâche des évaluations réalisées par le groupe de sujets. Le meilleur ajustement entre la quantité d'information et la complexité perçue est linéaire (cf. figure A5-2):

$$CP = (1.803 * I) + 1.303 \quad (r = .997).$$

I	CP
1	3.333
2	4.800
3	6.533
4	8.300
5	10.600

Tableau A5-3: Valeurs de la complexité estimée d'après l'échelle de catégories.

**Complexité perçue.**

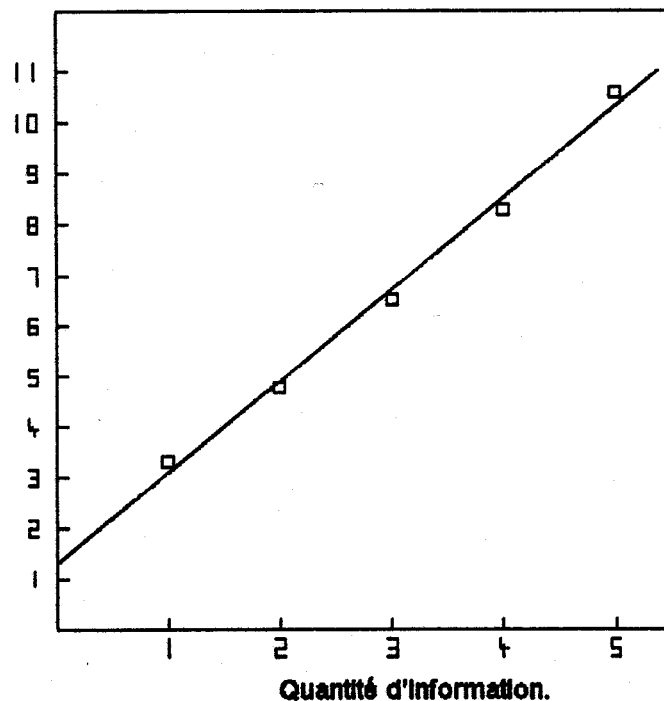


Figure A5-2 : Relation entre quantité d'information et complexité perçue selon l'échelle de catégories.

### A5.3. EXPERIENCE 9.

#### A5.3.1.METHODE.

L'expérience consiste en la construction d'échelles de rapport, dans un premier temps suivant la technique d'estimation des grandeurs: la tâche la plus facile (A) étant affectée de la cotation 10, le sujet doit attribuer une cotation à chacune des autres tâches, dans une logique de rapport, c'est-à-dire qu'une tâche cotée 20 est considérée comme deux fois plus difficile que le modulus (tâche-étalon). Les tâches sont présentées dans un ordre aléatoire, qui varie pour chaque sujet.

Dans un second temps on utilise la méthode d'estimation des rapports. Les tâches sont présentées par paires, dans un ordre aléatoire qui change pour chaque sujet. La tâche la plus facile de la paire sert de modulus et est cotée 10. Le sujet doit coter la seconde selon la même logique que précédemment. Le calcul des cotations subjectives de chaque tâche, à partir de la matrice des résultats, est réalisé par la méthode de Ekman (Bonnet, 1968-69).

La performance dans ce type de tâche étant très sensible aux effets d'apprentissage, chaque série est réduite dans cette seconde expérimentation à huit essais. De même, on évite de concentrer les séries d'une même tâche à un moment de la passation.

#### A5.3.2. RESULTATS.

On calcule la moyenne de la DP pour chaque tâche. Le tableau A5-4 indique les valeurs obtenues pour chaque tâche, selon les deux méthodes de construction de l'échelle employées.

<b>Quantité d'information</b>	<b>Estimation des rapports</b>	<b>Estimation des grandeurs</b>
<b>1</b>	<b>1.000</b>	<b>1.000</b>
<b>2</b>	<b>1.301</b>	<b>1.467</b>
<b>3</b>	<b>1.985</b>	<b>2.173</b>
<b>4</b>	<b>3.416</b>	<b>3.533</b>
<b>5</b>	<b>6.954</b>	<b>5.960</b>

Tableau A5-4: Valeurs obtenues pour chaque tâche après construction des échelles de rapport.

Quelle que soit la méthode employée, les résultats s'ajustent sur des fonctions exponentielles (Figure A5-3).

Selon la méthode d'estimation des grandeurs:

$$DP = .610 * e^{(.445)*I} \quad (r=.997)$$

Selon la méthode d'estimation des rapports:

$$DP = .533 * e^{(.484)*I} \quad (r=.985)$$

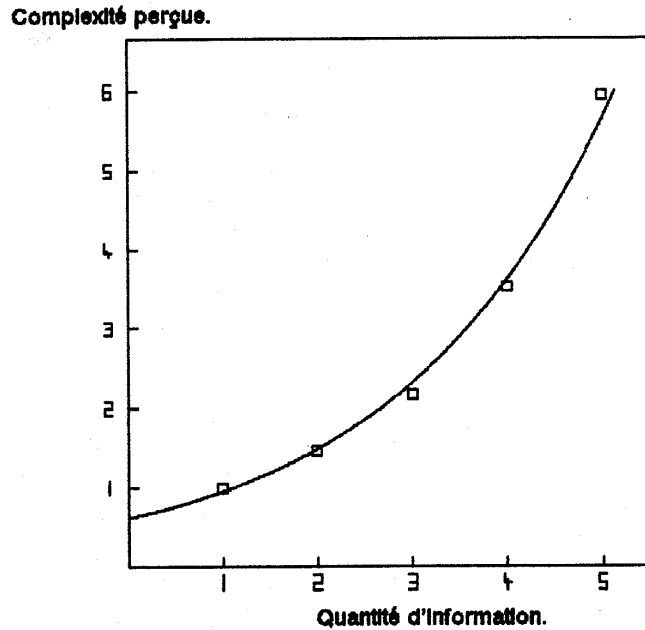


Figure A5-3: Relation difficulté objective-difficulté perçue. Les résultats représentés ont été obtenus par la méthode d'estimation des grandeurs.

Aucun autre type de fonction n'atteint un tel coefficient de corrélation. L'ajustement des échelles individuelles donne également des fonctions exponentielles, dont les coefficients sont indiqués dans le tableau A5-4.

Sujets	Estimation de grandeurs			Estimation de rapports		
	$\alpha$	$\beta$	r	$\alpha$	$\beta$	r
2	.840	.234	.948	.657	.312	.976
14	.856	.264	.952	.663	.362	.980
6	.726	.298	.997	.607	.355	.977
8	.663	.320	.955	.539	.386	.926
10	.711	.334	.990	.685	.344	.990
1	.664	.343	.991	.585	.380	.955
9	.691	.370	.998	.618	.407	.995
11	.692	.391	.993	.626	.423	.998
15	.615	.400	.991	.673	.371	.999
3	.649	.468	.985	.504	.539	.988
13	.602	.524	.999	.557	.547	.996
4	.574	.563	.998	.502	.598	.992
5	.460	.559	.943	.383	.616	.953
12	.445	.582	.977	.451	.577	.981
7	.481	.617	.958	.405	.653	.957

Tableau A5-4: Exposants des fonctions exponentielles obtenues pour chaque sujet ( $DP = \alpha * e^{(\beta * I)}$ ). r est le coefficient de corrélation de l'ajustement. Les sujets sont classés par ordre décroissant suivant l'exposant  $\beta$  obtenu par la méthode d'estimation des grandeurs.

Tâche	A	B	C	D	E
Temps moyen (secondes)	.630	.744	.944	1.156	1.417

Tableau A5-6: Performances moyennes pour chaque tâche.

On calcule la performance moyenne réalisée sur chaque tâche (tableau A5-6). Le meilleur ajustement de la relation entre la quantité d'information contenue dans la tâche et la performance est exponentiel (cf. figure A5-4):

$$t = .505 * e^{(.206)*I} \quad (r=.999).$$

**Temps requis.**

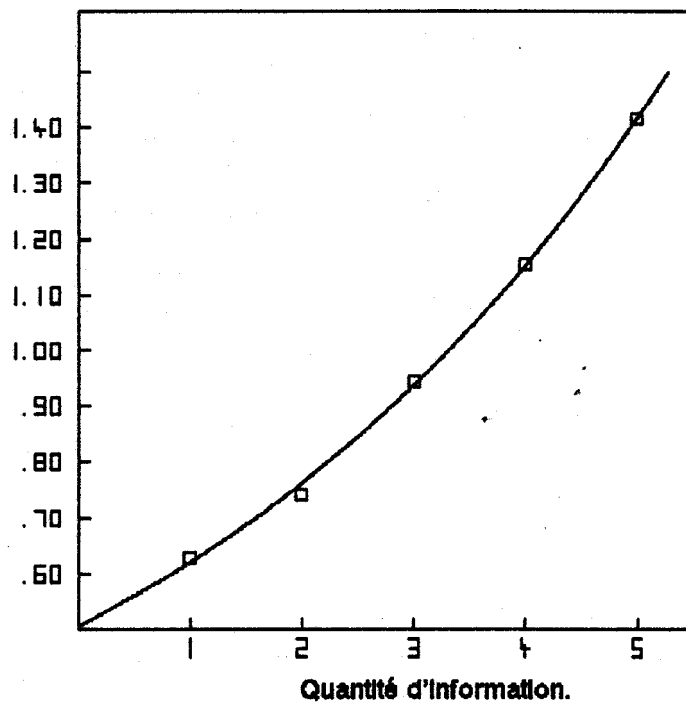


Figure A5-4: Relation quantité d'information/temps requis.

## EXPERIENCE 10.

## COMPLEXITE ET PRESSION TEMPORELLE.

Cette expérience a pour but principal de confirmer la relation exponentielle mise en évidence entre complexité objective et complexité perçue. Son second objectif est d'étudier les contributions respectives de la quantité d'information et de la pression temporelle dans la structuration de la complexité objective.

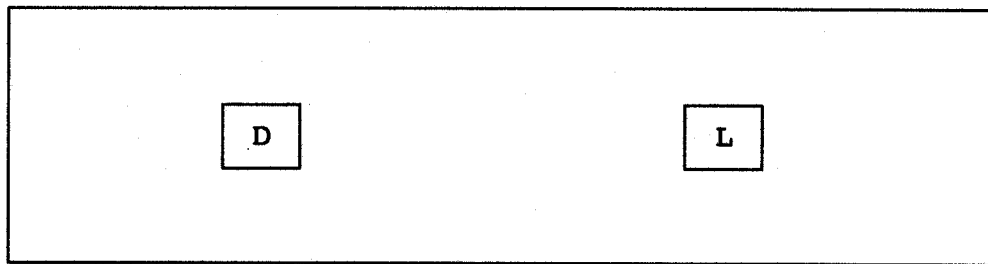
## A6.1. METHODE.

Le dispositif expérimental se compose d'un micro-ordinateur, dont le clavier peut être équipé de caches ne laissant apparaître qu'un certain nombre de lettres. Il y a quatre caches, notés de A à D, correspondant respectivement à la mise en jeu d'un clavier à 2, 4, 8, et 16 lettres. Afin d'éviter des artéfacts dûs à une maîtrise différenciée du clavier chez les sujets, on a procédé à des inversions de lettres et à l'introduction de lettres grecques (figure A6-1).

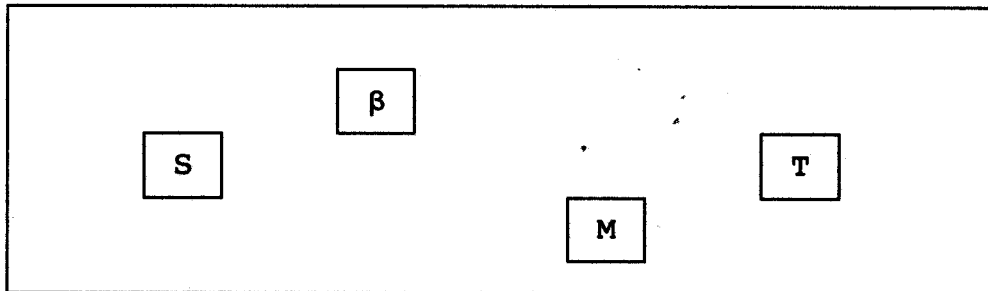
L'ordinateur affiche les lettres correspondant à chaque clavier suivant un rythme défini pour chaque tâche. Les tâches varient donc en fonction du nombre de lettres possibles (n) et du rythme d'affichage (temps disponible, TD). On utilise cinq rythmes différents, notés de 1 à 5, les lettres apparaissant respectivement toutes les 1.078, .980, .862, .754, .647 secondes. Le tableau A6-1 donne le descriptif des 20 tâches expérimentales.

Tâche	n	TD	Tâche	n	TD
A1	2	1.078	C1	8	1.078
A2	2	.980	C2	8	.980
A3	2	.862	C3	8	.862
A4	2	.754	C4	8	.764
A5	2	.647	C5	8	.647
B1	4	1.078	D1	16	1.078
B2	4	.980	D2	16	.980
B3	4	.862	D3	16	.862
B4	4	.764	D4	16	.764
B5	4	.647	D5	16	.647

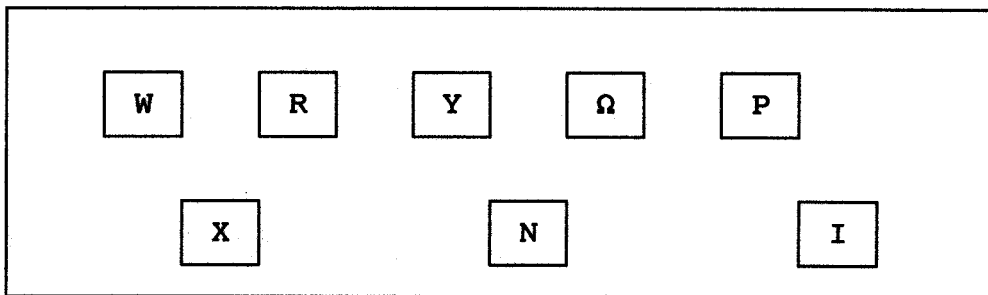
Tableau A6-1: Descriptif des tâches expérimentales.



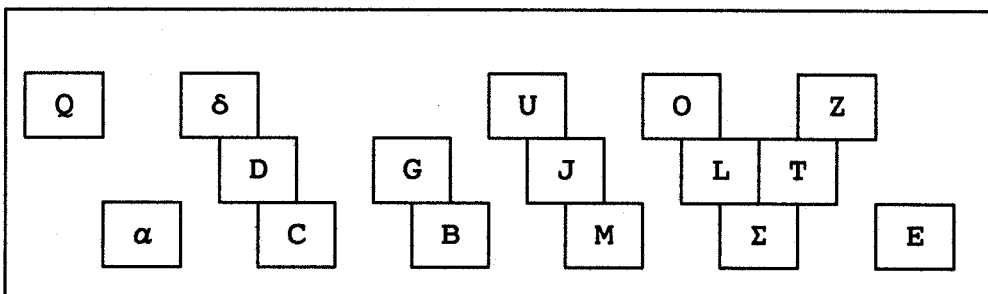
**Clavier A.**



**Clavier B.**



**Clavier C.**



**Clavier D.**

Figure A6-1: Description des quatre claviers utilisés.

Pour chaque tâche, les sujets doivent frapper les touches correspondant aux lettres qui se succèdent à l'affichage. Les lettres apparaissent par séries de 10. Le dispositif expérimental permet en outre de relever, pour chaque essai, le temps séparant l'apparition de la lettre de la frappe de la touche correspondante. On demande aux sujets de ne commettre aucune erreur.

On procède à l'évaluation de la complexité par la méthode d'estimation des grandeurs. La tâche A1 sert d'étalon et est cotée 10. Les autres tâches sont cotées par rapport à celle-ci selon une logique de rapport. Elles sont présentées selon un ordre aléatoire, qui varie pour chaque sujet. Le sujet peut revenir aussi souvent qu'il le désire à la tâche-étalon.

Tâche	CP	I/TD	COth.	Treq./TD	I-(logTD)/b
A1	10.000	0.928	0.402	0.396	0.720
A2	11.842	1.020	0.787	0.435	1.075
A3	15.632	1.160	1.306	0.495	1.553
A4	19.474	1.325	1.846	0.565	2.052
A5	24.632	1.546	2.471	0.660	2.627
B1	16.158	1.856	1.487	0.492	1.720
B2	18.474	2.041	1.872	0.541	2.075
B3	21.947	2.320	2.391	0.615	2.553
B4	28.053	2.651	2.932	0.703	3.052
B5	35.842	3.093	3.556	0.820	3.627
C1	24.211	2.783	2.572	0.663	2.720
C2	29.526	3.061	2.957	0.730	3.075
C3	36.684	3.479	3.476	0.829	3.553
C4	43.684	3.976	4.017	0.950	4.052
C5	57.158	4.639	4.641	1.106	4.627
D1	39.421	3.711	3.657	0.832	3.720
D2	45.579	4.082	4.042	0.915	4.075
D3	57.579	4.639	4.561	1.040	4.553
D4	70.211	5.302	5.102	1.189	5.052
D5	87.789	6.186	5.726	1.387	5.627

Tableau A6-2: Valeurs des évaluations moyennes par tâches, et valeurs de plusieurs descripteurs de la complexité (voir explications dans le texte).

#### A6-2. RESULTATS.

Classiquement, on mesure la difficulté objective de telles tâches par le rapport quantité d'information/temps disponible:

$$CO = I/TD.$$

Cette formule permet de construire une échelle de la complexité objective des tâches de la série expérimentale (cf. tableau A6-2). Cette échelle présente une bonne corrélation par les rangs avec celle de la complexité perçue ( $r_s = .974$ ). Si d'autre part, on cherche le meilleur ajustement pour la relation entre la complexité objective et la complexité perçue, on trouve conformément à nos hypothèses une fonction exponentielle:

$$CP = 9.434 * e^{(.381)CO} \quad (r = .969). \quad (1)$$

La figure A6-2 représente la description obtenue.

### Complexité perçue

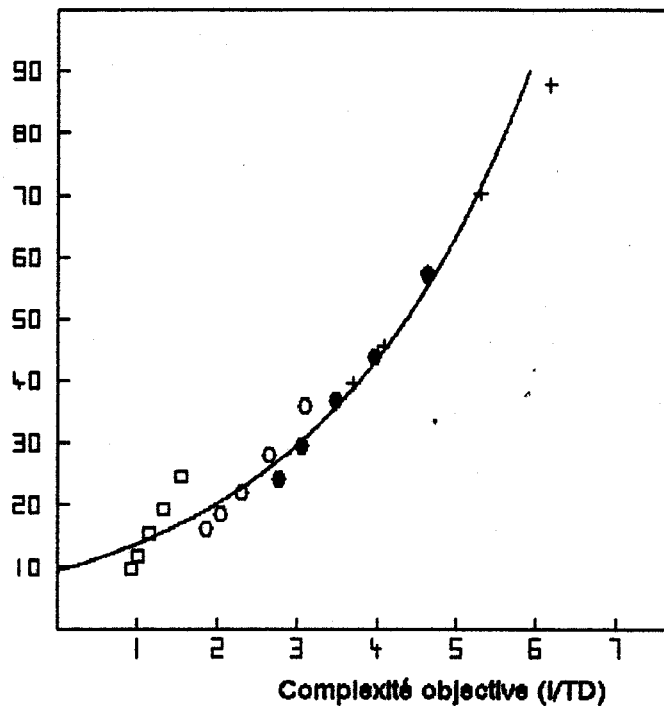


Figure A6-2: Relation entre la complexité objective, considérée comme le rapport quantité d'information/temps disponible, et la complexité perçue.

Néanmoins nos résultats précédents nous amènent à formuler une hypothèse alternative. Selon Stein (1987), on peut mesurer la pression temporelle caractérisant une tâche par le rapport temps requis/temps disponible. L'auteur estime que ce rapport peut en outre être considéré comme une mesure de la charge mentale des sujets, soit

$$CM = Treq./TD.$$

Conformément à nos résultats précédents, on peut postuler que le temps requis est une fonction exponentielle de la quantité d'information présente dans la tâche:

$$Treq. = a * e^{bI}.$$

De même on peut supposer que la charge mentale est une transformation exponentielle de la complexité objective, transformation que l'on notera:

$$CM = c * e^{dCO}.$$

On a  $Treq./TD = c * e^{dCO}$

$$\log(Treq./TD) = \log c + dCO$$

$$\log(a * e^{bI}) - \log TD = \log c + dCO$$

d'où

$$CO = (b/d)I - (1/d)\log TD + (\log a - \log c)/d \quad (2).$$

La complexité objective admettrait donc une régression multiple selon I et logTD. Par ailleurs, si l'on admet que:

$$CP = \alpha * e^{\beta CO},$$

alors  $\log CP = \log \alpha + \beta CO$

$$\log CP = (\beta b/d)I - (\beta/d)\log TD + (\beta(\log a - \log c)/d) + \log \alpha \quad (3).$$

Le logarithme de la complexité perçue admettrait également une régression multiple selon I et logTD. Afin de vérifier la pertinence de cette démonstration, on réalise un test de régression multiple de logCP selon I et logTD. Les résultats confirment la validité de l'équation (3):

$$\log CP = (.441)I - (1.644)\log TD + (2.015) \quad (r=.998).$$

Les coefficients de régression obtenus permettent de calculer une valeur théorique de l'exposant b:

$$\beta b/d = .441 \quad \text{et} \quad \beta/d = 1.644$$

d'où  $b = .268$ .

Pour aller plus loin, on peut repartir de l'équation (1).

Si  $DP = \alpha * e^{\beta CO}$

alors  $CO = (-\log \alpha)/\beta + (1/\beta)\log DP$ .

La recherche du meilleur ajustement donne l'équation suivante:

$$CO = (-5.344) + (2.461)\log DP \quad (r=.969) \quad (4).$$

On peut en déduire:

$$\beta = .406 \quad \text{et} \quad \alpha = 8.754$$

et si  $\beta/d = 1.644$ ,

alors  $d = .247$ .

L'équation (4) permet de calculer pour chaque tâche une valeur théorique de la complexité objective (cf. tableau A6.2). La recherche du meilleur ajustement de  $CP = F(CO_{th})$  confirme logiquement les valeurs calculées:

$$CP = (8.754) * e^{(.406)CO_{th}} \quad (r=.999).$$

Le coefficient de corrélation par les rangs entre les deux échelles est égal à  $r_s = .994$ . La figure A6-3 représente la description obtenue.

**Complexité perçue**

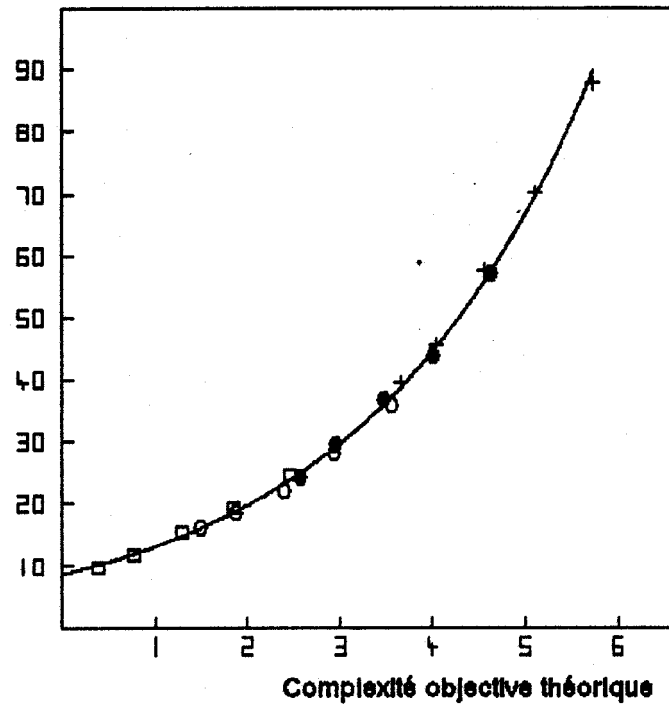


Figure A6-3: Relation entre la complexité objective théorique et la complexité perçue.

Enfin, si  $CM = c * e^{dCO}$

et  $CP = \alpha * e^{\beta CO}$

alors  $CP = \alpha * e^{(\beta/d)(\log CM - \log c)}$

ou  $CP = \tau * CM^{\delta}$

avec  $\delta = \beta/d$ .

Selon les calculs précédents, on aurait:

$$\delta = 1.644$$

Nos résultats expérimentaux concernant le temps requis permettent-ils de confirmer ces calculs théoriques? Les données recueillies sont synthétisées dans le tableau A6-3. Les valeurs de Treq. prises en compte sont les temps moyens mesurés entre l'apparition du signal et la frappe de la touche correspondante. L'analyse de variance indique que ni le temps disponible, ni l'interaction du TD et de la quantité d'information n'ont d'effet significatif sur le temps requis (cf. tableau A6-4). On doit donc pouvoir exprimer le temps requis en tant que transformation de la quantité d'information. Ceci est confirmé par le fait que, conformément à nos résultats précédents, le meilleur ajustement entre la quantité d'information et le temps requis est une fonction exponentielle:

$$T_{req.} = (.303) * e^{(.265)I} \quad (r=.998).$$

La valeur de b obtenue est très proche de celle calculée théoriquement.

Tâches	TR (s)	Tâches	TR (s)	Tâches	TR (s)	Tâches	TR (s)
A1	.393	B1	.507	C1	.686	D1	.864
A2	.407	B2	.507	C2	.690	D2	.864
A3	.393	B3	.489	C3	.682	D3	.884
A4	.404	B4	.500	C4	.693	D4	.858
A5	.396	B5	.508	C5	.683	D5	.873
Moyenne	.398	Moyenne	.502	Moyenne	.687	Moyenne	.869

Tableau A6-3: Temps requis moyens par tâches et par niveau de quantité d'information.

	Somme des carrés	ddl	Carrés moyens	F
Quantité d'information	12.269	3	4.090	1195.892
Temps disponible	.00143	4	.00036	.1048574
Interaction	.01617	12	.00135	.3941449
Erreur	1.2311	360	.00342	

Tableau A6-4: Analyse de variance du temps requis, en fonction de la quantité d'information et du temps disponible.

A partir des valeurs expérimentales de TR, on construit l'échelle de Treq./TD (cf. tableau A6-2). La recherche du meilleur ajustement entre Treq./TD et CP donne l'équation de régression suivante:

$$CP = (50.973) * (Treq./TD)^{1.711} \quad (r=.998).$$

La valeur obtenue pour l'exposant est voisine de celle calculée théoriquement ( $\hat{U}=1.644$ ). D'autre part, le coefficient de corrélation par les rangs de Spearman, entre l'échelle de Treq./TD et celle de CP est de  $r_s=.994$ . Ceci valide l'expression de la charge mentale comme rapport temps requis/temps disponible.

Les valeurs calculées pour b et d sont relativement voisines. Dans un souci pratique, et afin de simplifier l'expression de la complexité objective, on peut poser l'hypothèse de leur égalité. En effet, si l'on admet que dans ce type de tâche, la relation entre complexité objective et charge mentale est de même nature que celle liant quantité d'information et temps requis,

on a:

$$CM = a * e^{bCO}$$

$$\text{D'où } TR/TD = a * e^{bCO}$$

$$\log(TR/TD) = \log a + bCO$$

$$\log(a * e^{bI}) - \log TD = \log a + bCO$$

$$CO = I - (1/b)\log TD \quad (6)$$

Si l'on prend pour valeur de b celle que l'on a trouvée à partir de l'équation (2), on peut calculer une nouvelle échelle de la complexité objective, notée CO2 dans le tableau A6-2. Le calcul du meilleur ajustement donne l'équation suivante:

$$CP = (7.503) * e^{(.441)CO2} \quad (r=.999)$$

Le coefficient de corrélation par les rangs entre les deux échelles est égal à  $r_s=.994$ . La figure A6-4 représente la description obtenue.

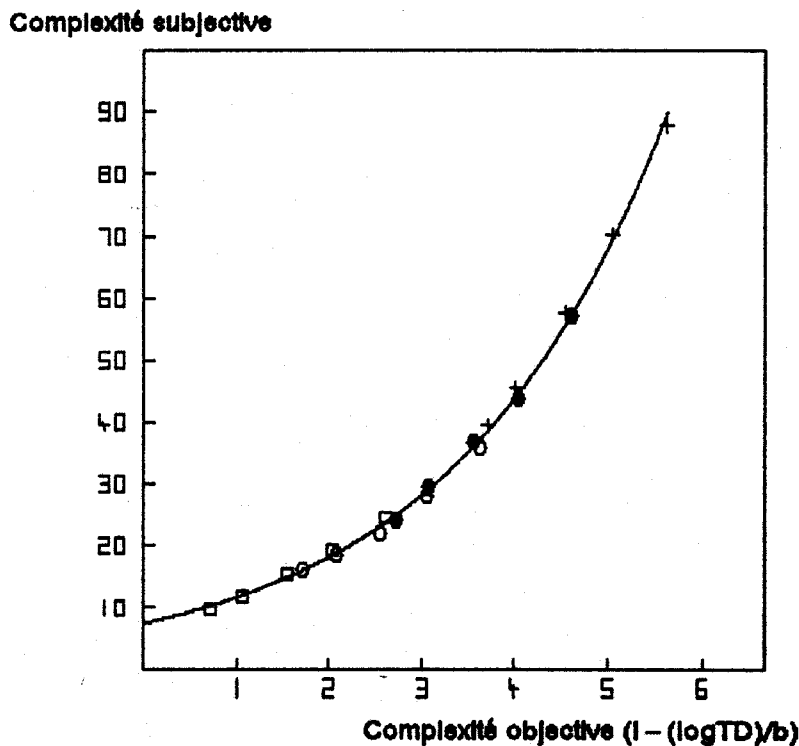


Figure A6-4: Relation entre complexité objective, calculée selon l'équation  $CO = I - (\log TD)/b$ , et la complexité perçue.

Certains traitements réalisés sur nos données expérimentales peuvent apporter des validations supplémentaires à notre modèle. Si l'on considère que TD est constant, on a

$$CO = I - k.$$

$$\text{D'où } CP = \alpha * e^{\beta(I-k)}$$

$$CP = (\alpha / e^{\beta k}) * e^{\beta I}$$

La complexité perçue serait donc une fonction exponentielle de la quantité d'information. L'ajustement de nos résultats confirme cette hypothèse:

$$TD=1.078 \quad CP= 6.002 * e^{(.485)I} \quad (r=.998),$$

$$TD= .980 \quad CP= 7.150 * e^{(.472)I} \quad (r=.999),$$

$$TD= .862 \quad CP= 9.641 * e^{(.440)I} \quad (r=.992),$$

$$TD= .754 \quad CP=12.506 * e^{(.415)I} \quad (r=.998),$$

$$TD= .647 \quad CP=14.886 * e^{(.428)I} \quad (r=.998).$$

D'autre part, si l'on considère I constant,

$$CO = k - (1/b)\log TD$$

$$\text{d'où } CP = \alpha * e^{\beta(k-(1/b)\log TD)}$$

$$CP = (\alpha * e^{\beta k}) / (e^{\beta \log TD / b})$$

$$CP = (\alpha * e^{\beta k}) * (1/TD)^{\beta/b}.$$

A quantité d'information constante, la complexité perçue serait donc une fonction puissance du temps. Nos résultats confirment également cette hypothèse:

$$I=1 \quad CP=11.615 * (1/TD)^{1.705} \quad (r=.990),$$

$$I=2 \quad CP=17.507 * (1/TD)^{1.595} \quad (r=.998),$$

$$I=3 \quad CP=27.588 * (1/TD)^{1.450} \quad (r=.999),$$

$$I=4 \quad CP=47.615 * (1/TD)^{1.329} \quad (r=.999).$$

EXPERIENCE 11.

EXIGENCES OBJECTIVES ET SUBJECTIVES DANS LES TACHES DE GRIMPER

Cette expérimentation a pour objectif de valider, au niveau d'une tâche complexe, les résultats obtenus précédemment dans des tâches simples et les modèles proposés pour en rendre compte. Elle permettra en outre d'examiner la logique de l'intégration perceptive des dimensions bioénergétique et bioinformationnelle, dans la construction d'un jugement global sur le niveau d'exigence de la tâche. Les principaux axes d'investigation sont les suivants:

- la relation entre effort objectif et effort perçu.
- La relation entre difficulté objective et difficulté perçue.
- Les rapports difficulté/effort, aux niveaux objectif et subjectif, et leur intégration dans un jugement global sur la tâche.
- La logique et la fiabilité de l'estimation préliminaire des exigences, avant réalisation de la tâche.
- Enfin cette expérience devrait permettre de comprendre le mécanisme de fonctionnement de l'échelle de cotation actuellement utilisée par les grimpeurs.

A7.1. METHODE.

18 grimpeurs de haut-niveau , d'âge moyen 27 ans et 5 mois, participent à l'expérience. Leur niveau médian est en falaise de 7b à vue et 7c+ après travail, et en bloc de 6b+ à vue, et 7b après travail. Ces grimpeurs résident pour la plupart en Région Parisienne, et de ce fait possèdent une bonne expérience de l'escalade et de la cotation en blocs.

L'expérience a lieu sur une structure artificielle d'escalade, constituée par une plaque de contreplaqué de 4 mètres de haut sur 3 de large, fixée sur un cadre rigide. Cette plaque peut pivoter autour d'un axe situé au niveau de son bord supérieur, ce qui permet de lui donner une inclinaison variable, de 100 degrés à 70 degrés. Cette plaque est équipée d'une trame de chevilles permettant d'y ajuster des prises mobiles (cf. Figure A7-1).

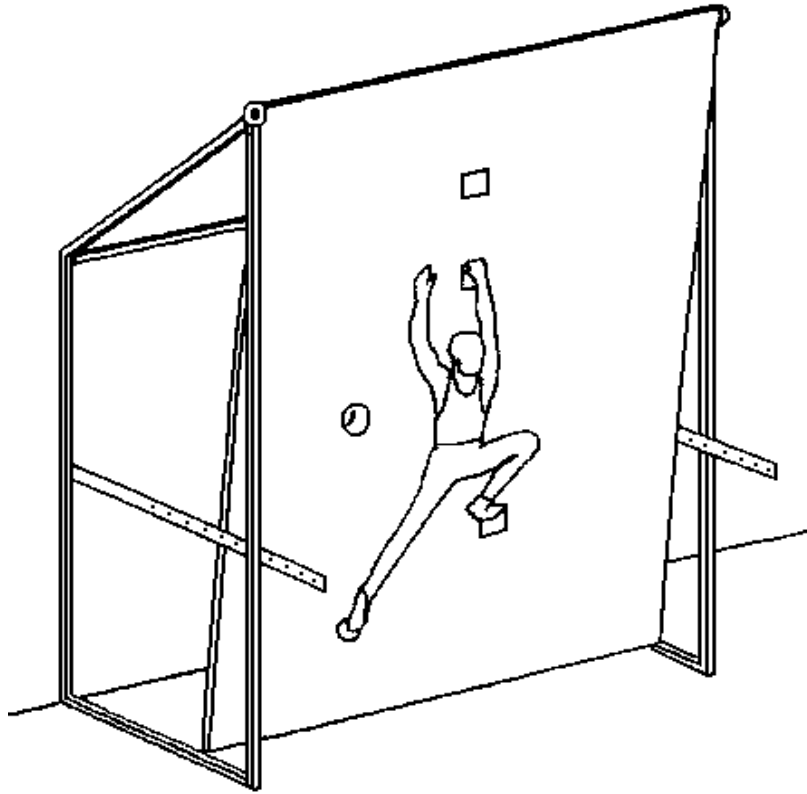


Figure A7-1: Vue de la structure utilisée.

Le schéma de base des tâches proposées est le suivant: L'emplacement des prises ne varie pas en cours d'expérience. Les passages sont constitués de 6 prises, dont 4 prises invariantes et 2 prises variables. Les prises invariantes ont été choisies de telle sorte que leur facilité d'utilisation ne soit pas altérée par une modification de l'inclinaison du mur. Leur disposition précise est indiquée en figure A7-2. Les sujets utilisent les prises P1, P2 et P3 (prises invariantes) pour s'équilibrer sur le système de prises variables PM et PP. On précise que PM est utilisé en main droite, et PP en pied droit. Les sujets doivent alors s'élever, en utilisant uniquement ces deux prises, pour aller chercher la prise invariante P4 en main gauche. On demande en outre aux sujets d'accomplir ce mouvement en "statique", c'est-à-dire sans prendre d'élan à l'aide des prises invariantes.

Les prises variables sont des réglettes rectangulaires de 10 centimètres de large. Leur profondeur est de 2.4, 1.2, 0.6 centimètres pour les prises de main, et de 1.2, 0.6 ou 0.3 centimètres pour les prises de pied. On utilise trois niveaux d'inclinaison du mur (angle  $\beta$ ): 80 degrés, 95 degrés, et 110 degrés. Nous disposons d'un jeu de 12 prises mobiles permettant, pour tous les niveaux d'inclinaison du mur, que les réglettes des prises variables soient horizontales (cf. Figure A7-3).

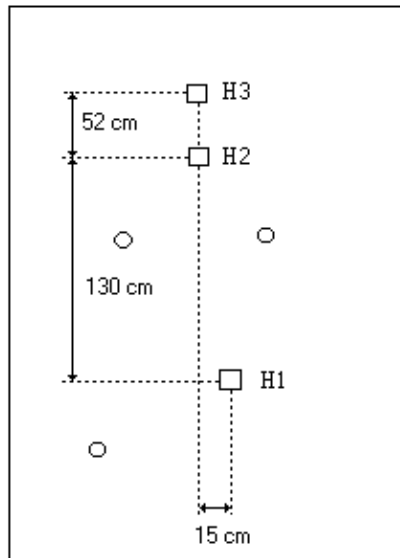


Figure A7-2: Représentation schématique de la tâche expérimentale.

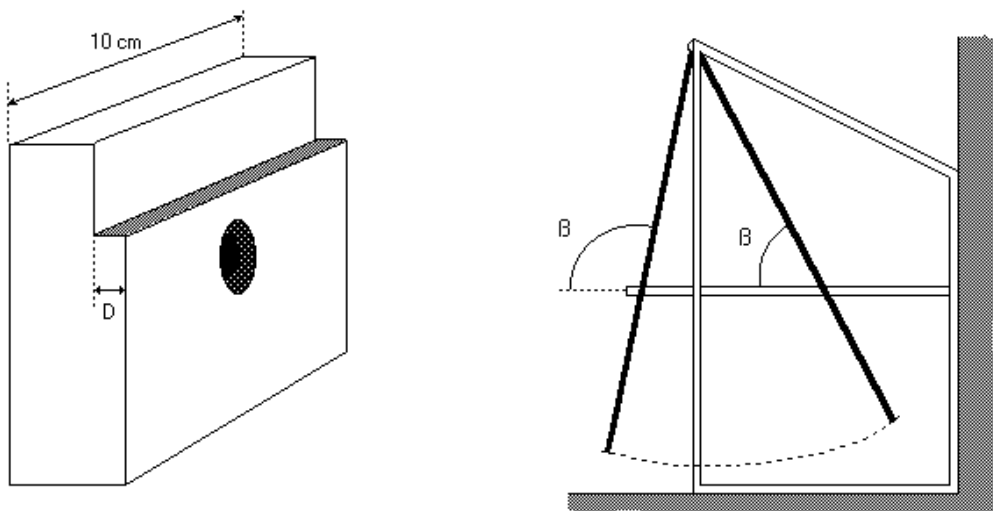


Figure A7-3: Les dimensions de variation du dispositif expérimental: la profondeur (P) des prises (la partie utilisable est hachurée) et l'angle d'inclinaison du mur (B).

En croisant les trois niveaux d'inclinaison du mur, et les trois profondeurs possibles pour la prise variable de pied et la prise variable de main, on obtient 27 tâches possibles, qui sont décrites dans le tableau A7-1.

Tâche numéro	Prise pied (cm)	Prise main (cm)	Inclinaison (degrés)
1	1.2	2.4	100
2	0.6	2.4	100
3	0.3	2.4	100
4	1.2	1.2	100
5	0.6	1.2	100
6	0.3	1.2	100
7	1.2	0.6	100
8	0.6	0.6	100
9	0.3	0.6	100
10	1.2	2.4	85
11	0.6	2.4	85
12	0.3	2.4	85
13	1.2	1.2	85
14	0.6	1.2	85
15	0.3	1.2	85
16	1.2	0.6	85
17	0.6	0.6	85
18	0.3	0.6	85
19	1.2	2.4	70
20	0.6	2.4	70
21	0.3	2.4	70
22	1.2	1.2	70
23	0.6	1.2	70
24	0.3	1.2	70
25	1.2	0.6	70
26	0.6	0.6	70
27	0.3	0.6	70

Tableau A7-1: Description des 27 tâches expérimentales.

On demande à chaque sujet de construire 5 échelles psychophysiques, selon les modalités suivantes:

1. Avant de tenter une tâche, le sujet en estime le niveau global d'exigence, selon l'échelle classique, actuellement en huit degrés, utilisée par les grimpeurs. On recommande aux sujets d'aligner leurs estimations sur la cotation "bloc", utilisée notamment sur les rochers de Fontainebleau.

2. Après travail et réussite de la tâche, le sujet en évalue le niveau global d'exigence, selon la même échelle.

3. Après travail et réussite de la tâche, le sujet en évalue le niveau global d'exigence, selon la méthode d'estimation des grandeurs, la tâche numéro 1 servant de modulus.

4. Après travail et réussite de la tâche, le sujet en évalue l'effort requis, selon la méthode d'estimation des grandeurs, la tâche numéro 1 servant de modulus. On précise au sujet qu'il s'agit de l'effort *musculaire* nécessaire au franchissement du passage.

5. Après travail et réussite de la tâche, le sujet évalue la difficulté informationnelle, selon la méthode d'estimation des grandeurs, la tâche numéro 1 servant de modulus. Cette dimension est expliquée aux sujets en termes de précision, de marge d'erreur permise dans le contrôle du mouvement.

Pour la construction des trois échelles de rapport, la tâche numéro 1 sert de modulus. On lui attribue arbitrairement la cotation 10 sur les trois échelles. L'ordre des passations est randomisé au maximum d'un sujet à l'autre. Néanmoins, au vu de la lourdeur du plan expérimental, de la difficulté extrême de certaines tâches (notamment les passages numéro 17, 18, 24, 25, 26 et 27), on respecte une gradation globale du niveau d'exigence au cours de chaque passation. Approximativement, une première partie concerne les passages cotés de 3 à 6a, dont l'ordre est randomisé, et une seconde ceux cotés de 6b à 7b, pour lesquels on suit un ordre globalement croissant. Cette précaution est due au fait que pour des passages d'un tel niveau, les grimpeurs doivent respecter une longue période d'échauffement, et d'autre part au fait que les prises de main que nous utilisons dans les passages les plus difficiles sont extrêmement traumatisantes pour les doigts (risque de coupure ou de déchirement). La moindre blessure nous obligeant à interrompre l'expérimentation, nous avons préféré reculer au maximum cette éventualité.

En outre, pour 5 grimpeurs du groupe expérimental, on procède à des relevés électromyographiques, au niveau de la loge antérieure de l'avant bras (palmaires et fléchisseur commun profond), du biceps brachial et du grand pectoral. Ces relevés concernent le membre supérieur droit, qui est le plus sollicité dans la séquence-clé des 27 tâches.

## A7.2. RESULTATS.

Le niveau d'exigence des tâches proposées étant pour certaines d'entre elles très élevé, tous les sujets n'ont pas pu réaliser l'ensemble de l'expérience. Par ailleurs, certains grimpeurs se sont blessés en cours d'expérimentation, et de ce fait ont dû interrompre prématurément leur activité. En fonction du nombre de tâches réalisées, les grimpeurs se répartissent comme suit:

27 tâches..... 6 sujets

26 tâches..... 1 sujets

25 tâches..... 3 sujets

24 tâches..... 6 sujets

23 tâches..... 3 sujets

Pour sélectionner les sujets à retenir pour la construction des échelles moyennes, on fixe la limite admissible à 24 tâches réalisées (15 sujets retenus). Il faudra en effet, pour les échelles de rapport, se livrer à une reconstitution graphique des données absentes. On se base pour cela sur le profil des données des sujets ayant réalisé toutes les tâches, et sur le profil particulier des données disponibles chez le sujet concerné. Nous avons estimé raisonnable, au vu de la distribution séquentielle des tâches, de reconstituer jusqu'à trois données par sujets.

En ce qui concerne l'évaluation du niveau global d'exigence selon l'échelle classique, les

cotations sont converties dans un premier temps en système décimal. On attribue le chiffre 1 à la cotation 1, le chiffre 2 à la cotation 1+, 3 pour 2-, etc... En ce qui concerne les cotations intermédiaires, on attribue la moyenne des valeurs attribuées aux deux cotations entières bornant l'intervalle (par exemple le 6a+ est noté 15.5, 15 correspondant au 6a et 16 au 6b). On calcule ensuite, pour chaque tâche, la moyenne des évaluations. Ces notes moyennes peuvent ensuite être reconverties selon l'échelle classique en prenant la cotation pleine ou intermédiaire la plus proche (cf. tableau A7-2). Cette méthode a été préférée à l'utilisation de la cotation médiane, à cause du nombre restreint de cotations disponibles sur les tâches les plus difficiles. En outre, cette transformation nous permettra des traitements statistiques de plus haut niveau. Ce passage, du niveau "intervalle" au niveau "rapport" n'est pas sans poser certains problèmes théoriques (cf. chap. 5.2.). Il est néanmoins soutenu par l'usage classique de cette échelle, et notamment par l'institution des cotations intermédiaires. Les données absentes ne sont pas reconstituées.

Tâche	Niveau d'exigence estimé			Niveau d'exigence perçu		
	Score Moyen	Ecart Type	Cotation	Score Moyen	Ecart Type	Cotation
1	6.87	2.09	3	6.69	1.99	3
2	8.31	1.65	3+	7.50	2.06	3+
3	9.50	2.00	4-	9.63	1.93	4
4	7.87	2.22	3+	7.75	2.05	3+
5	9.47	2.12	4-	9.19	2.48	4-
6	11.03	2.08	4+	11.09	2.27	4+
7	9.47	3.08	4-	9.37	2.80	4-
8	10.78	2.40	4+	10.75	2.63	4+
9	12.57	2.10	5a+	13.10	1.92	5b
10	10.79	1.47	4+	9.94	1.75	4
11	10.97	2.27	4+	10.63	2.17	4+
12	13.00	1.30	5b	12.53	1.97	5a+
13	12.13	2.26	5a	11.53	2.38	5a
14	12.87	1.90	5b	12.97	1.76	5b
15	14.70	1.21	5c+	14.67	1.34	5c+
16	13.77	2.23	5c	14.93	2.19	6a
17	15.77	1.40	6b	16.00	1.37	6b
18	16.75	0.94	6b+	16.64	0.91	6b+
19	13.16	1.90	5b	12.66	1.57	5a+
20	13.63	1.42	5b+	13.47	1.80	5b+
21	14.67	1.43	5c+	14.68	1.59	5c+
22	15.11	1.02	6a	15.18	1.30	6a
23	15.88	0.90	6b	15.92	0.80	6b
24	16.79	0.75	6c	16.73	0.93	6b+
25	16.79	1.05	6c	17.50	0.74	6c+
26	17.83	0.47	7a	18.00	0.65	7a
27	18.92	0.19	7b	19.10	0.37	7b

Tableau A7-2: Scores moyens, écarts-type et cotations correspondantes pour les 27 tâches, établis d'après les échelles classiques de cotation en escalade.

En ce qui concerne les échelles de rapport, on calcule pour chaque tâche la moyenne des scores obtenus (cf. tableau A7-3). Les données absentes sont reconstituées graphiquement, en fonction de la logique de répartition des données des grimpeurs ayant réalisé l'ensemble des tâches.

Tâche	Niveau d'exigence perçu	Effort Requis Perçu	Difficulté Perçue
1	10.00	10.00	10.00
2	12.27	10.73	13.93
3	15.87	13.13	18.07
4	12.53	11.08	11.67
5	14.60	13.47	15.07
6	18.20	17.07	19.67
7	15.07	13.93	13.40
8	17.43	15.93	16.26
9	23.67	20.67	22.40
10	15.53	14.87	12.80
11	17.53	16.87	16.60
12	21.20	19.06	20.80
13	18.07	17.53	14.60
14	22.03	21.47	18.53
15	27.47	28.13	24.53
16	31.07	32.13	21.87
17	39.07	40.93	31.33
18	47.20	50.53	44.87
19	20.47	20.33	16.87
20	23.73	23.73	20.80
21	29.93	29.60	24.30
22	32.60	32.27	23.80
23	38.27	37.87	31.00
24	46.67	49.88	45.07
25	58.47	58.87	46.67
26	70.13	75.40	62.40
27	92.45	102.00	90.27

Tableau A7-3: Echelles de rapport (données moyennées).

Les tracés électromyographiques sont traités en intégrant les courbes à +/- 0.5 secondes autour du pic pour chaque groupe musculaire. Si les données contenues dans l'intervalle temporel standard sont trop hétérogènes (par exemple, sur une bouffée d'activité extrêmement rapide), on réduit cet intervalle pour isoler les données pertinentes. Sur les cinq sujets soumis à l'électromyographie, un a réalisé toutes les tâches, deux en ont réalisé 25, et les deux derniers 23. Les données manquantes sont reconstituées graphiquement. On calcule ensuite la moyenne pour chaque tâche et chaque groupe musculaire (Tableau A7-4). A la suite de problèmes techniques, les relevés du pectoral pour l'un des sujet ne sont pas exploitables. Les données moyennées pour ce muscle ne concernent donc que quatre sujets.

Tâche	Fléchiss. Commun Profond	Palmaires	Biceps Bracchial	Grand Pectoral	Effort Objectif (EO)
1	8.80	8.64	23.28	19.44	8.72
2	9.95	8.76	25.13	20.47	9.35
3	11.06	8.89	24.07	25.17	9.98
4	9.62	8.96	22.05	20.60	9.29
5	11.50	9.13	23.56	23.29	10.31
6	12.95	9.30	23.49	29.91	11.11
7	10.07	9.37	27.31	21.62	9.72
8	11.93	9.54	22.43	29.87	10.73
9	14.47	9.78	25.60	33.57	12.13
10	11.43	9.84	25.05	24.43	10.64
11	12.50	9.98	24.17	19.25	11.24
12	14.10	10.09	24.07	22.65	12.10
13	12.02	10.13	25.50	21.75	11.07
14	14.93	10.27	28.70	20.25	12.60
15	17.93	10.45	23.90	28.04	14.19
16	17.20	10.71	32.80	25.60	13.95
17	19.43	10.92	33.77	25.86	15.17
18	22.35	11.15	33.12	29.61	16.75
19	13.70	11.20	28.80	20.37	12.45
20	15.80	11.33	27.80	23.17	13.56
21	16.84	11.33	26.04	23.69	14.09
22	17.07	11.44	32.00	20.09	14.26
23	19.36	11.65	29.80	28.21	15.51
24	23.15	11.83	30.79	25.29	17.49
25	24.24	12.04	33.00	31.46	18.14
26	28.00	12.38	32.67	31.24	20.19
27	33.60	12.78	33.20	33.96	23.19

Tableau A7-4: Evaluations de l'effort objectif, calculées à partir des relevés électromyographiques.

*Effort perçu et effort objectif.*

L'étude de la corrélation par les rangs entre les relevés électromyographiques et l'effort perçu fait apparaître de larges différences entre groupes musculaires. Les valeurs obtenues sont les suivantes:

- Fléchisseur commun profond  $r=.989$
- Palmaires  $r=.937$
- Biceps  $r=.834$
- Grand pectoral  $r=.558$

Le stimulus pertinent pour la construction de l'effort perçu semble clairement résider au niveau des muscles de la loge antérieure de l'avant-bras. Si l'on construit une échelle d'effort

objectif en faisant la moyenne par tâches des valeurs obtenues pour le fléchisseur commun et les palmaires (cf. Tableau A7-4, EO), cette nouvelle échelle présente une corrélation par les rangs avec l'effort perçu de  $r=.991$ . *Il va de soi que le terme "effort objectif" ne renvoie pas à la dépense globale d'énergie réellement consentie par l'organisme, mais au stimulus pris en compte par les sujets pour la construction du jugement d'effort.*

Si l'on recherche la meilleure fonction d'ajustement entre l'effort objectif et l'effort perçu, on obtient une fonction puissance, d'exposant 2.441.

$$EP = (.047) * EO^{2.441} \quad (r=.994)$$

La fonction d'ajustement est représentée en figure A7-4. Ce résultat est cohérent avec l'ensemble des travaux réalisés sur la perception de l'effort (cf. Chapitre 7.1.1.).

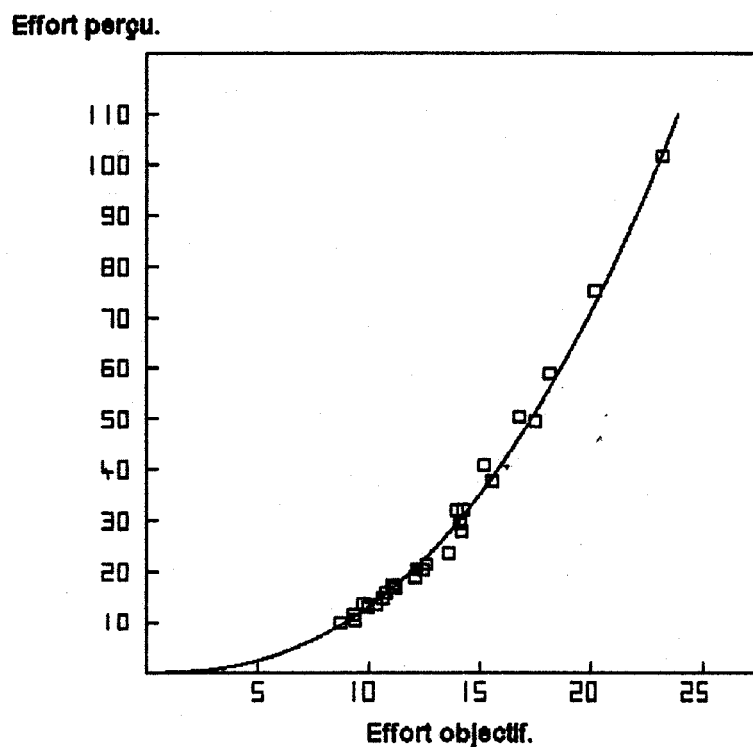


Figure A7-4: Relation effort objectif-effort perçu dans les 27 tâches de grimper.

On peut aller plus loin en se demandant s'il est possible de déterminer le niveau d'effort à partir des caractéristiques objectives des tâches, c'est à dire de proposer une équation de l'effort objectif. Si l'élément pertinent réside dans le travail de la loge antérieure de l'avant bras, on peut dire que ce dernier est déterminé par la pression exercée sur la prise de main, les muscles concernés devant y opposer une force équivalente. Dans cette logique, l'effort objectif est une fonction linéaire du rapport entre la force (F) appliquée sur la prise de main, par la surface de cette prise (PM):

$$EO = A(F/PM) + B \quad (1)$$

La force F va croître avec l'inclinaison du support. Néanmoins, cette augmentation sera

modulée par la possibilité de charger une partie du poids de corps sur la prise de pied. La relation n'est pas simplement additive, dans le sens où l'influence de la surface de prise de pied dépend de l'inclinaison du support.

D'une manière générale,  $\beta$  représentant l'inclinaison et PP la surface de la prise de pied, on aurait:

$$F = C \cos \beta + D(\cos \beta / PP) + E \quad (2)$$

En intégrant cette équation dans la précédente, on obtient:

$$EO = (A * (C \cos \beta + D(\cos \beta / PP) + E) / PM) + B$$

$$\text{ou } EO = a/PM + b(\cos \beta / PM) + c(\cos \beta / PMPP) + d \quad (3)$$

Après réduction et centration des données, on procède à un test de régression multiple. Les résultats confirment la validité globale de l'équation (3):

$$Z_{EO} = (.348)Z_{1/PM} + (.469)Z_{\cos \beta / PM} + (.388)Z_{\cos \beta / PMPP}$$

( $r = .957$ ).

Cette équation suppose néanmoins que  $\cos \beta$  est une mesure pertinente de l'influence de l'inclinaison. Il paraîtrait plus judicieux d'utiliser l'angulation de l'axe prise de pied-centre de gravité, induite par l'inclinaison. On peut alors modifier l'équation (3) en ajoutant une constante ( $e$ ) à  $\cos \beta$ :

$$EO = a/PM + b(e + \cos \beta / PM) + c(e + \cos \beta / PMPP) + d \quad (4)$$

Le meilleur ajustement est obtenu pour une valeur de  $e$  de l'ordre de .463:

$$Z_{EO} = (-.474)Z_{1/PM} + (.923)Z_{(.463 + \cos \beta / PM)} \\ + (.456)Z_{(.463 + \cos \beta / PMPP)}$$

( $r = .988$ )

Nous reviendrons plus loin sur la signification de cette valeur de  $e$ . La figure A7-5 représente la relation obtenue.

### Intensité objective.

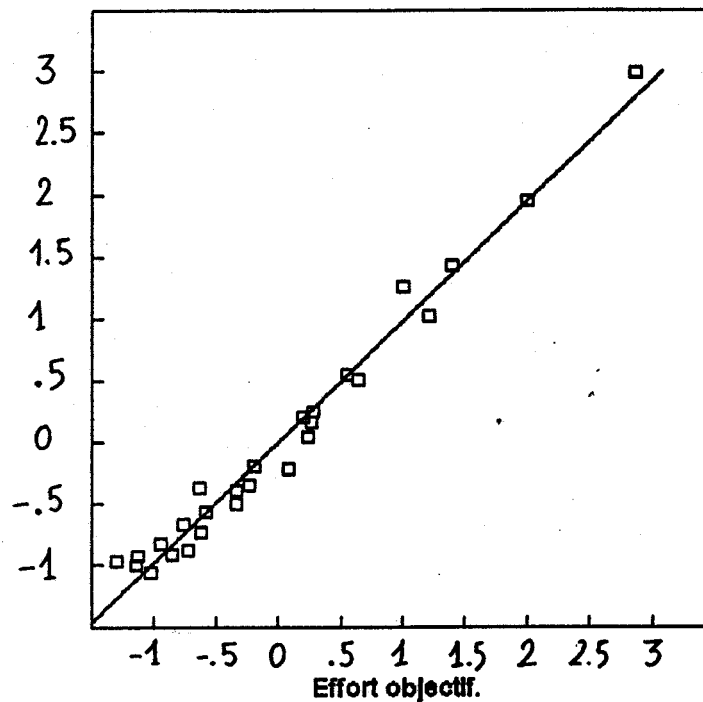


Figure A7-5: Relation entre l'intensité objective calculée à partir de la relation (4) et l'effort objectif mesuré par électromyographie au niveau de la loge antérieure de l'avant-bras.

### *Difficulté perçue et quantité d'information.*

En ce qui concerne la difficulté informationnelle, le protocole expérimental ne nous a pas permis de bâtir une échelle de difficulté objective. On peut néanmoins, à partir de nos résultats précédents (cf. Annexes 4, 5, et 6), faire l'hypothèse que le stimulus pertinent pour la construction du continuum subjectif est la quantité moyenne d'information à traiter pour le contrôle de l'action. On peut alors tenter de procéder, dans le cadre de ces tâches de grimper, à une démarche similaire à celle de Fitts (1954) concernant les tâches de pointage. Raisonnant par analogie avec les concepts fondamentaux de la théorie de l'information (cf. chap. 3.2.2. et 3.2.4.), Fitts estime que la quantité d'information à traiter pour pointer un cible est égale au logarithme de base 2 du rapport surface de la cible/surface possible d'impact. Fitts note par ailleurs que le choix du dénominateur importe peu. Dans cette logique, on peut dire que la quantité d'information apportée par une prise est égale au logarithme de base 2 de la surface de la prise, divisée par un dénominateur commun à l'ensemble de la série. Afin de simplifier les calculs, nous considérerons que la quantité d'information apportée par une prise est égale au logarithme inverse du rapport de la profondeur de la prise sur le double de la profondeur maximale de la série. Pour une prise de main:

$$I = -\log(PM/2PM_{\max})$$

Le doublage du dénominateur évite d'attribuer, dans une série, la valeur zéro à une quantité d'information.

La difficulté objective du passage va dépendre de la quantité d'information apportée d'une part par la prise de pied, et d'autre part par la prise de main. Néanmoins leur importance respective dépendra de l'inclinaison du support. On peut avancer l'hypothèse, dans le type de mouvement caractérisant les tâches que nous avons sélectionnées, que le problème posé aux grimpeurs est de réaliser un pointage le plus précis possible de la prise de pied, afin de solliciter au minimum la prise supérieure. La quantité d'information délivrée par la prise de pied contribuerait donc de façon monotone à l'accroissement de la difficulté objective. A contrario, l'importance de l'information délivrée par la prise de main dépendra de son degré de sollicitation, lié à l'inclinaison. On peut supposer que si le grimpeur parvient, dans un passage faiblement incliné, à placer le centre de gravité à la verticale haute de la prise inférieure, le rôle de la prise de main dans la détermination de la difficulté objective est négligeable. Dans la même logique que pour l'effort objectif, on peut supposer qu'il convienne d'ajouter à  $\cos\beta$  une constante. On peut donc proposer l'équation suivante:

$$DO = \log(1/PP) + b(e + \cos\beta)\log(1/PM) + c. \quad (4)$$

Après réduction et centration des données, on cherche, en posant  $a=1$  et  $c=0$ , s'il est possible de trouver une valeur de  $b$  pour que la corrélation par les rangs entre  $DO$  et l'échelle de difficulté perçue soit maximale. Cette corrélation est obtenue pour

$$b=.8 \quad \text{et} \quad e=.463$$

On a alors une corrélation par les rangs de  $r=.979$  entre les deux échelles. Le fait que les meilleurs ajustements soient obtenus, tant en ce qui concerne l'effort que la difficulté, en ajoutant une constante similaire à l'inclinaison appelle quelques remarques. Ceci suppose, si comme nous l'avons dit précédemment cette constante renvoie à la prise en compte de l'inclinaison de l'axe prise de pied-centre de gravité, que l'angle formé par cet axe et le support ne varie pas au cours des passages. Ceci est sans doute vrai dans le cadre de notre expérience, au vu de l'homogénéité des prises utilisées (réglettes) et des techniques induites. D'autre part, le niveau d'habileté des sujets participe à cette constance, ces derniers étant capables de conserver des patterns identiques sur toute l'étendue du protocole. La figure A7-6 illustre la signification de la constante  $e$ .

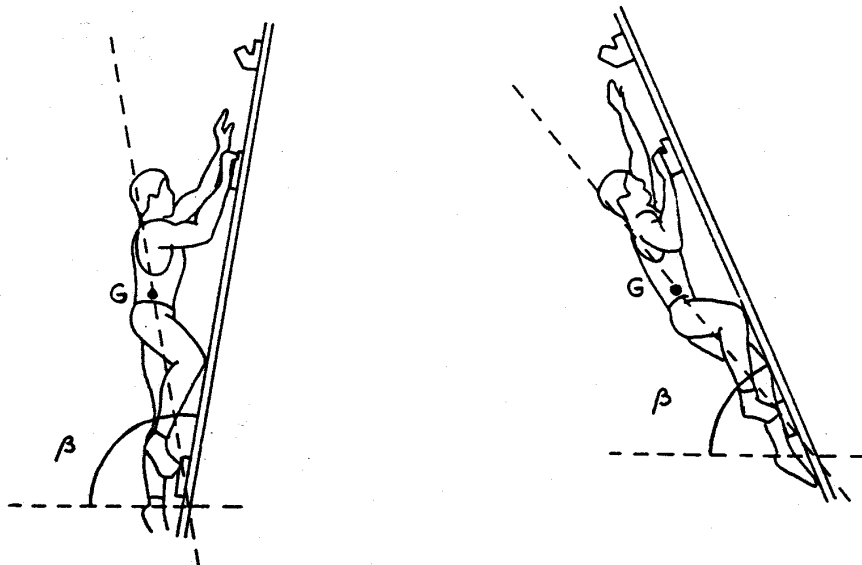


Figure A7-6: Représentation schématique des angulations du support et de l'axe prise de pied-centre de gravité.

Si l'on cherche maintenant le meilleur ajustement entre l'échelle ainsi construite de la difficulté objective et l'échelle de difficulté perçue, on trouve comme nos précédents résultats pouvaient le laisser supposer une fonction exponentielle.

$$DP = (.707) * e^{(.518)*DO} \quad (r=.955)$$

Cette fonction d'ajustement est représentée en figure A7-7.

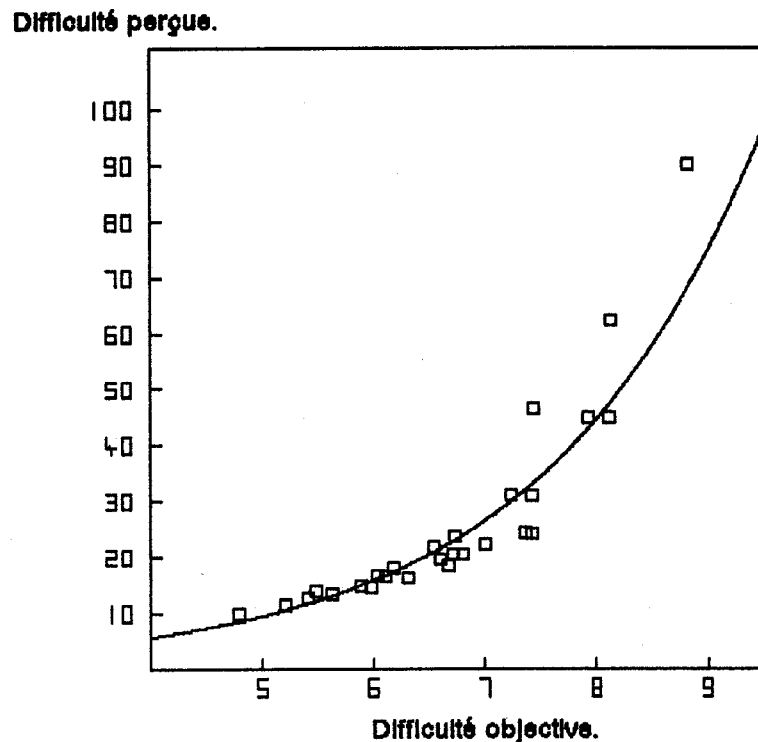


Figure A7-7: Relation entre la difficulté objective, calculée à partir de l'équation (4), et la difficulté perçue.

*Niveau global d'exigence, effort et difficulté perçus.*

Partant des trois échelles de rapport construites lors de l'expérimentation, on peut se demander quelles sont les contributions respectives de l'effort et de la difficulté dans la formation du jugement concernant le niveau global d'exigence. Une analyse de régression multiple donne les résultats suivants:

$$Z_{EGP} = (.668)*Z_{EP} - (.006)*Z_{DP} + (.013) \quad (r=.992).$$

Intuitivement, on peut supposer que l'inclinaison du support détermine des catégories de passages, les plus déversants étant caractérisés par l'effort, les plus inclinés par la difficulté. Un test de régression multiple, réalisé sur les trois sous-groupes de tâches déterminés par l'inclinaison donne les résultats suivants:

$$\beta=100 \quad Z_{EGP} = (.565)*Z_{EP} + (.500)*Z_{DP} + (.199) \quad (r=.879).$$

$$\beta=85 \quad Z_{EGP} = (.606)*Z_{EP} + (.039)*Z_{DP} - (.007) \quad (r=.998).$$

$$\beta=70 \quad Z_{EGP} = (.944)*Z_{EP} - (.281)*Z_{DP} - (.018) \quad (r=.999).$$

$$PM=2.4 \quad Z_{EGP} = (.399)*Z_{EP} + (.632)*Z_{DP} + (.140) \quad (r=.940).$$

$$PM=1.2 \quad Z_{EGP} = (.750)*Z_{EP} - (.089)*Z_{DP} + (.002) \quad (r=.998).$$

$$PM=.6 \quad Z_{EGP} = (.665)*Z_{EP} - (.025)*Z_{DP} + (.015) \quad (r=.998).$$

$$PI=1.2 \quad Z_{EGP} = (.826)*Z_{EP} - (.072)*Z_{DP} - (.025) \quad (r=.977).$$

$$PI=.6 \quad Z_{EGP} = (.726)*Z_{EP} - (.077)*Z_{DP} - (.000) \quad (r=.999).$$

$$PI=.3 \quad Z_{EGP} = (.549)*Z_{EP} + (.076)*Z_{DP} - (.003) \quad (r=.999).$$

Ces équations font apparaître que pour l'ensemble des tâches, l'effort perçu prédomine dans la construction du jugement sur les exigences globales. Ceci est confirmé également par le calcul des corrélations par les rangs, qui sont de .995 entre EGP et EP, et de .968 entre EGP et DP.

#### *Cotations estimées et perçues.*

La corrélation entre les deux échelles de cotations, estimées à l'avance et après réalisation de la tâche est égale à  $r=.994$ . Ceci met l'accent sur la fiabilité globale des estimations réalisées. Il faut néanmoins relever la simplicité et la standardisation extrême des passages proposés, ce qui suppose une facilité évidente de "lecture" pour les grimpeurs.

On remarque par ailleurs que l'écart-type est inversement corrélé à la cotation, que celle-ci soit estimée ( $r=-.802$ ) ou perçue ( $r=-.817$ ). La dispersion des évaluations diminue donc quand augmente le niveau d'exigence.

#### *Cotation et niveau d'exigence perçu.*

Les trois échelles de rapport apparaissent comme des transformations exponentielles de la cotation (Figure A7-7):

$$EGP = (3.150) * e^{(.160)COT} \quad (r=.976)$$

$$EP = (2.539) * e^{(.175)COT} \quad (r=.975)$$

$$DP = (3.505) * e^{(.144)COT} \quad (r=.926)$$

Ceci semble indiquer que l'écart subjectif entre deux cotations successives augmente avec l'accroissement des exigences. Ceci expliquerait la plus grande précision des évaluations réalisée par les grimpeurs, au fur et à mesure que le niveau d'exigence s'élève. Ceci renvoie également à la multiplication des cotations intermédiaires dans les degrés supérieurs: si dans les cotations les plus faibles (2 et 3), les grimpeurs n'utilisent en général que deux niveaux (par exemple 2 et 2+), on passe ensuite à trois niveaux pour la majorité des sujets (5-, 5 et 5+), et à partir du 6 à six niveaux pour une cotation (7a, 7a+, 7b, 7b+, 7c, 7c+).

Cette transformation antilogarithmique entre une échelle de catégories et une échelle de rapport est un résultat classique en psychophysique (cf. chap. 5.4.).

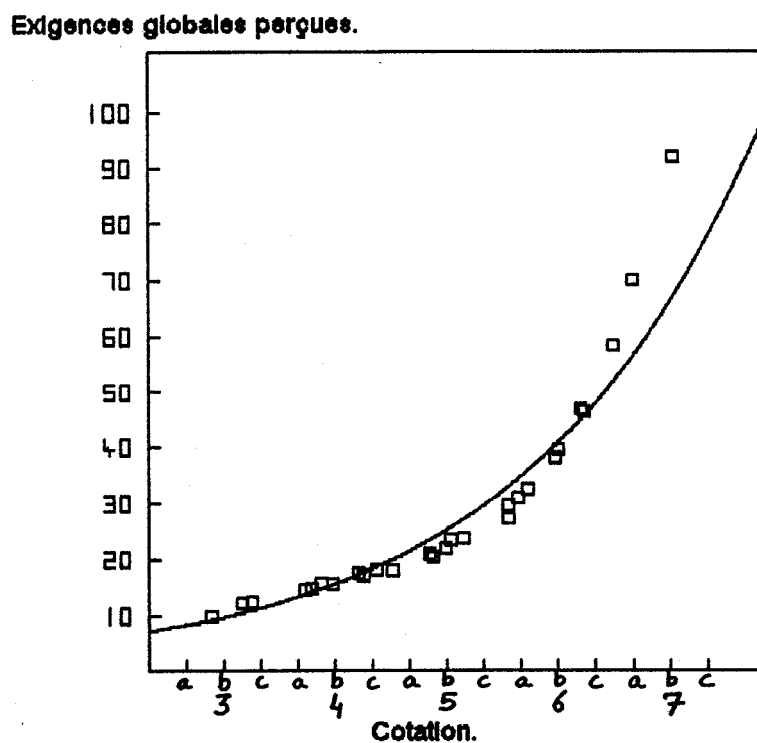


Figure A7-8: Relation entre la cotation classique des passages et l'évaluation des exigences selon une échelle de rapport.

Le calcul des corrélations par les rangs confirme l'ensemble des résultats précédents. On obtient les valeurs suivantes:

-avec EGP: .998

-avec EP: .996

-avec DP: .959

*Cotation et niveau d'exigence objectif.*

La cotation est une fonction logarithmique des échelles objectives d'effort et de difficulté (figure A7-8.):

$$COT = (13.394) * \log EO - (21.307) \quad (r = .978)$$

$$COT = (21.693) * \log DO - (28.054) \quad (r = .939)$$

Il s'agit là encore d'un résultat courant en psychophysique, les échelles de catégories décrivant des fonctions linéaires ou logarithmiques (Bonnet, 1986, cf. chap. 5.3).

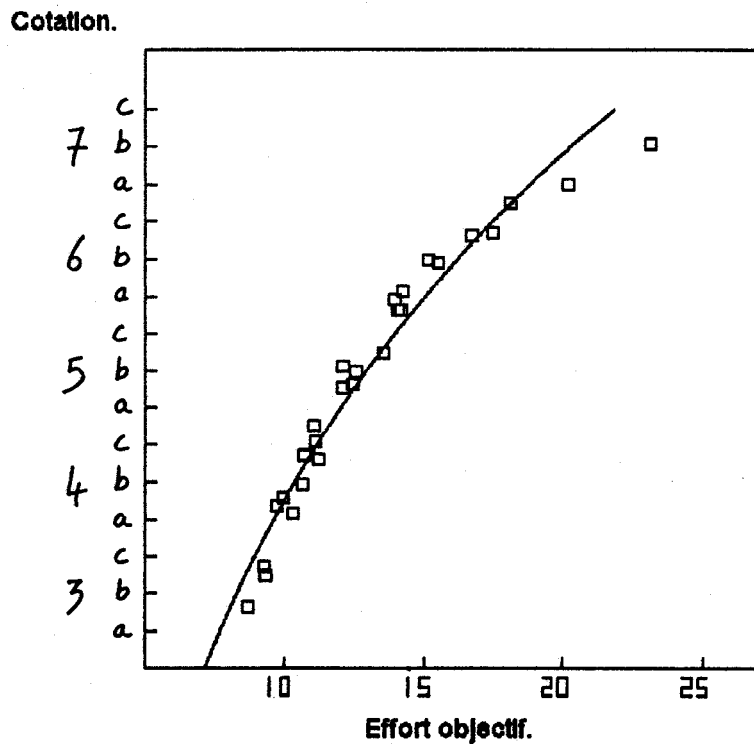


Figure A7-9: Relation entre l'effort objectif et la cotation des passages.