

THESE DE DOCTORAT

Université PARIS V

(Spécialité: Sciences de la vie et de la Santé, mention S.T.A.P.S.)

**APPROCHE PSYCHOPHYSIQUE
DE LA PERCEPTION DE LA DIFFICULTE
DANS LES TACHES PERCEPTIVO-MOTRICES.**

Présentée par

DIDIER DELIGNIERES

Soutenue le 5 février 1993 à l'INSEP

Devant le jury composé de:

Claude Bonnet, Professeur à l'Université Paris V;
Marc Durand, Professeur à l'Université Montpellier I, rapporteur;
Jean-Pierre Famose, Professeur à l'Université Paris XI, directeur de thèse;
Michel Laurent, Professeur à l'Université Aix-Marseille II, président du jury;
Guy Tiberghien, Professeur à l'Université Grenoble II, rapporteur.

Je tiens à remercier tout particulièrement:

Jean-Pierre Famose, professeur à l'Université Paris-Sud Orsay, 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.

Tous ceux qui de près ou de loin ont été présent et m'ont apporté leurs idées, leurs critiques et leur disponibilité, et notamment: **Jeanick Brisswalter, Alain Brossier, Marc Durand, Philippe Fleurance, Sylvie Gras, Patrick Legros, Anne Marcellini, Jean-Jacques Temprado, Chantalle Thépaut-Mattieu, Thierry Viens.**

Tous les sujets qui ont bien voulu se prêter de bonne grâce à mes expérimentations.

SOMMAIRE.

	page
Introduction.....	4
Première partie: Fondements théoriques	7
1. Difficulté, tâches et situations motrices.....	9
1.1. Tâche et activité.....	9
1.2. Tâche et contexte.....	10
1.3. Tâche prescrite et tâche effective.....	12
1.4. La perception de la difficulté.....	14
2. L'approche psychophysique.....	16
2.1. Les échelles de rapport.....	16
2.2. Les comparaisons interindividuelles.....	19
2.3. Difficulté, effort et psychophysique.....	23
2.3.1. L'exemple de la perception de l'effort.....	23
2.3.2. Propositions pour l'étude de la perception de la difficulté.....	26
3. La mesure de la difficulté objective.....	28
3.1. Les systèmes d'analyse des tâches motrices.....	28
3.1.1. Les classifications.....	28
3.1.2. Les systèmes cognitivistes.....	29
3.2. Difficulté objective et quantité d'information.....	33
Seconde Partie: Démarche expérimentale.....	38
4. Validation d'une échelle de catégorie pour la perception de la difficulté..	39
4.1. L'échelle DP-15.....	40
4.2. Perception de la difficulté dans des tâches d'anticipation-coïncidence	45
5. Difficulté objective, performance et difficulté perçue.....	50
5.1. Revue des travaux antérieurs.....	50
5.2. Entropie, performance et difficulté perçue.....	53
5.3. Difficulté perçue et charge mentale.....	65
6. Pression temporelle, charge mentale et difficulté perçue.....	77
7. Difficulté perçue et allocation de ressources.....	85
7.1. Charge actuelle et charge moyenne.....	85
7.2. Difficulté perçue, allocation de ressources et performance.....	90
8. Echelles de rapport: signification des exposants obtenus.....	101
8.1. Difficulté perçue et comportement numérique.....	101
8.2. Difficulté perçue et spécificité de la tâche.....	106
8.3. Exposant et différences interindividuelles.....	118
8.3.1. Difficulté perçue et personnalité.....	119
8.3.2. Exposant et étendue dynamique du stimulus.....	122
9. Les contaminations secondaires.....	126
Conclusion.....	130
Bibliographie.....	132

INTRODUCTION

C'est au début du XIX^{ème} siècle qu'apparaît dans le domaine des pratiques physiques un discours organisé sur la difficulté. Cette émergence s'intègre dans un processus de *technicisation* et de *didactisation* des pratiques, lié à leur intégration dans une démarche d'enseignement (Arnaud, 1986; Delignières, 1990): c'est parce que l'on envisage à un moment donné une transmission rationnelle et à grande échelle des savoir-faire, que l'on commence à réfléchir sur la difficulté des exercices et sur la manière de l'adapter aux possibilités des apprenants. Cette préoccupation apparaît avec les premières gymnastiques systématisées: ainsi 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*" (pages 29-30). Deux principes didactiques sont ici avancés: il convient tout d'abord de classer, de hiérarchiser les exercices en fonction de leur difficulté. Cette exigence est évoquée plus tard par Demeny (1903): "*Le choix des exercices, leur classement et leur gradation, voilà ce qui importe*" (p. 153). Mais si ce projet structure la plupart des systèmes gymnastiques, les auteurs ne pourront le plus souvent dépasser une approche intuitive, limitant la finesse et l'opérationnalité de leurs classifications.

Le second problème est d'assurer la progressivité de l'enseignement en adaptant constamment les contraintes des exercices aux possibilités des élèves. Hébert (1941) insiste 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*" (p. 103). Mais à ce niveau également les auteurs ont dû se cantonner dans une approche empirique, basée sur les performances des élèves et fondant sa démarche dans une logique de réduction d'écart.

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 a permis d'engager une démarche plus rationnelle. S'appuyant sur les travaux de la psychologie ergonomique, Famose (1983a) et Durand (1983) proposent des outils d'évaluation de la difficulté des tâches motrices, et avancent les principes de sa manipulation dans un processus d'enseignement (Famose, 1985, 1987).

L'analyse des situations ne peut néanmoins se limiter à ces aspects objectifs. L'activité du sujet ne dérive pas directement, mécaniquement de la tâche qui a été prescrite: c'est en fonction d'une évaluation de la difficulté de la tâche assignée et de son importance, mais également de ses capacités de réponse, que le sujet va décider de la nature des buts qu'il va poursuivre et de l'application qu'il y consentira (Famose, 1983b, 1990; Kukla, 1972; Leplat et Hoc, 1983). La difficulté perçue est également une variable importante à considérer après que la tâche a été réalisée. C'est elle qui permet au sujet de juger de la signification de sa réussite

ou de son échec: ainsi la réussite dans une tâche jugée difficile a des retentissements positifs sur le plan émotionnel, l'estime de soi ou la motivation (Durand, 1987; Famose 1990).

Ainsi, à côté ou plutôt en complémentarité avec les recherches sur la difficulté, il est indispensable de se demander comment cette difficulté est perçue par le sujet, et quelles en sont les incidences. Cette perspective est depuis quelques années explorée en ergonomie, où l'on a commencé à s'intéresser, au-delà de l'analyse des conditions objectives de travail, à la manière dont ces dernières étaient ressenties, vécues par le travailleur (Borg, 1977; Hancock et Meshkati, 1988; Moray, 1982). Cette préoccupation déborde par ailleurs largement le secteur du travail pour s'étendre à l'ensemble des situations de la vie courante, sociales, domestiques, ou de loisirs (Hogan & Fleishman, 1979). L'étude des agressions liées à l'évolution des styles de vie et de production, et du stress chronique qu'elles tendent à générer s'avère une voie de recherche prioritaire, au vu du coût social qu'elles finissent par représenter (Rivolier, 1989).

On peut distinguer deux grandes approches de cette problématique. La première s'intéresse à la manière dont l'individu se représente *a priori* la tâche et sa difficulté. De nombreux travaux ont été réalisés dans ce sens, selon des perspectives diverses: historique (Guillaume, 1980, 1981), sociologique (Pociello, 1981), ou psychologique (Nicholls, 1984; Nicholls & Miller, 1983). On a également envisagé l'influence de ces représentations sur les états émotionnels (Berlyne, 1960; Martens, Vealey & Burton, 1990; McGrath, 1970; Spielberger, 1972), ou la motivation (Atkinson, 1957; Harter, 1978; Kukla, 1972).

Une seconde approche envisage la perception de la difficulté d'une tâche effectivement réalisée: c'est-à-dire le sentiment de difficulté ressenti par le sujet lors de l'action, et/ou l'évaluation qu'il peut en faire *a posteriori*. C'est à cette perspective, beaucoup moins développée que la précédente, que nous nous sommes attaché.

Ce document fait le point de nos travaux dans le champ restreint de la perception de la difficulté dans les tâches perceptivo-motrices simples. D'aucuns pourront trouver ce thème par trop fondamental, et éloigné des perspectives appliquées, notamment sportives. Il nous semble cependant que face à un champ de recherche à peine défriché, il aurait été imprudent de négliger l'étape des recherches fondamentales. Nous pensons que la recherche appliquée doit y puiser ses hypothèses, sinon ses problématiques. Faute de disposer d'un *corpus* de connaissances fondamentales dûment validées, il nous semble que la recherche appliquée ne peut espérer d'autres perspectives que des démarches d'exploration, fondées sur l'empirisme. C'est à l'élaboration de ce *corpus* de connaissances que nous nous sommes attaché, afin d'ouvrir un champ à des recherches futures, plus proches de la réalité de terrain, mais assises sur un savoir constitué.

Notre objectif est d'élucider les mécanismes de la perception de la difficulté, c'est-à-dire d'identifier les éléments de la situation qui sont pris en compte, et les facteurs qui peuvent influencer ce processus. Il s'agit également de déterminer la nature de la difficulté perçue: peut-on la considérer comme une sensation, où s'agit-t-il d'un jugement porté sur la tâche ou la performance? Ceci nécessite une analyse rigoureuse des relations que la difficulté perçue entretient avec la difficulté objective, la performance, et d'autres descripteurs de la situation. Il nous a semblé qu'une démarche de type psychophysique était la mieux adaptée à ce projet.

Ce choix n'était *a priori* pas évident, la psychophysique s'étant avant tout illustrée dans l'étude de dimensions sensorielles simples et clairement identifiées. Néanmoins Borg,

Bratfisch et Dornic (1971a) ont avancé les principes de son utilisation dans le cadre de la difficulté dans des tâches mentales, et Tiberghien (1984) en envisage l'application pour l'étude de la perception de la difficulté en escalade, dans le but 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?*" (page 130). En outre, les travaux de Borg (1962, 1970a, 1982a), sur la perception de l'effort, montrent que la psychophysique ouvre des perspectives riches pour l'étude de dimensions aussi complexes que l'effort ou la difficulté.

Ce document est organisé de la façon suivante: La première partie est consacré à l'exposé des fondements théoriques de notre démarche. Dans un premier temps, nous précisons le cadre qui organise notre réflexion. Nous présentons les concepts-clés de notre propos: la situation, la tâche, le contexte, la performance, la difficulté objective, la difficulté perçue, concepts issus notamment des modèles développés par Famose (1990) dans le champ de la psychologie du sport.

Un second chapitre est consacré à la discipline qui structure l'ensemble de notre approche: la psychophysique. Nous en proposons une présentation succincte, parce que sélective, centrée sur les problématiques théoriques et méthodologiques que nous mobilisons par la suite. Cette présentation est rendue nécessaire par la faible diffusion actuelle de la psychophysique dans le domaine de la recherche concernant les activités physiques et sportives. Nous envisageons alors les possibilités qu'offre cette approche dans l'étude de la perception de la difficulté.

Un troisième chapitre nous permet une analyse critique des diverses propositions théoriques actuelles, en ce qui concerne l'évaluation ou la mesure de la difficulté objective des tâches motrices. Nous tentons alors de justifier un recours à la théorie quantitative de l'information, pour mener à bien la mesure nécessaire à notre projet.

La seconde partie est consacrée à la présentation d'une série d'expériences, au cours desquelles nous tentons d'élucider les mécanismes de la perception de la difficulté. Nous avons été guidé dans cette démarche par trois questions principales:

- Selon quelles modalités s'effectue la perception de la difficulté? Il s'agit à ce niveau d'identifier le ou les stimuli pris en compte par le sujet, ainsi que la nature des relations entre ce ou ces stimuli et la difficulté perçue.

- La perception de la difficulté est-elle régie par un processus invariant, transversal, ou au contraire se réalise-t-elle selon des modalités différentes pour chaque tâche?

- Il y a-t-il des différences interindividuelles dans la perception de la difficulté? Quelles en sont la nature et les causes?

PREMIERE PARTIE
FONDEMENTS THEORIQUES

DIFFICULTE, TACHES ET SITUATIONS MOTRICES
--

Une revue de la littérature consacrée à la performance motrice et à l'apprentissage ne peut manquer de surprendre le lecteur non averti par l'anarchie lexicale qui y règne. D'un article à l'autre, un même terme peut recouvrir des significations largement différentes. Cette ambiguïté a d'ailleurs été à la base de quelques errances théoriques, qu'une vigilance épistémologique minimale aurait pu éviter (Delignières, 1992). La difficulté et les divers concepts qui s'y rattachent semblent particulièrement enclins à la polysémie, sans doute parce que la plupart du temps, il s'agit de termes usuels, mais dont le sens scientifique tend à se démarquer de l'acception courante. Une mise à plat conceptuelle nous semble particulièrement nécessaire à ce niveau.

Il ne s'agit pas de créer *ex-nihilo* un cadre notionnel inédit. Nous nous attacherons au contraire à situer notre travail dans le cadre plus vaste de l'analyse de la tâche, particulièrement développé en psychologie du travail (De Montmollin, 1984; Leplat, 1980; Leplat et Hoc, 1983) et repris récemment dans le domaine des activités physiques et sportives (Famose, 1983a, 1990). Cette approche 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.

1.1. TACHE, ACTIVITE, PERFORMANCE.

La distinction tâche-activité est fondamentale. 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*" (p. 50-51). Dans la logique de cette définition, la tâche préexiste à tout investissement réel du sujet: on lui attribue une existence objective, indépendante des processus que le sujet met en jeu pour la réaliser.

L'activité doit elle-même être distinguée de la performance, qui est définie comme le comportement observable du sujet. L'activité renvoie à un ensemble de processus internes, inobservables et hypothétiques, dont la nature ne peut qu'être inférée à partir de l'étude des relations caractéristiques tâche-performance.

L'idée centrale de cette approche est celle d'une 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. Contraintes et ressources sollicitées constituent de la sorte deux ensembles

bijectifs, et également deux niveaux de description de la tâche. Nous utiliserons respectivement les termes d'*exigences* et de *demandes* pour caractériser ces deux niveaux. Les exigences de la tâche renvoient aux caractéristiques objectives, à l'architecture de la tâche (Famose, 1983a). Les demandes correspondent au type et au niveau des ressources sollicitées. Par exemple, une tâche de course sur tapis roulant peut être décrite en termes d'exigences par la vitesse de défilement du tapis, ou en termes de demandes par la consommation d'oxygène requise. Cette liaison fonctionnelle entre exigences et demandes revêt un intérêt majeur, tant pour le chercheur que pour le praticien. Pour le premier, elle constitue le fondement théorique de l'élaboration des protocoles expérimentaux. Quant au second, s'il est amené à définir ses objectifs didactiques en termes de sollicitation des ressources, et donc de demandes, c'est en définitive les exigences de la tâche qu'il manipule.

De cette correspondance bijective des exigences et des demandes est née l'idée d'une possible dimensionnalisation des exigences, renvoyant aux classifications réalisées au niveau des ressources requises. Nous analyserons dans un chapitre ultérieur diverses propositions avancées dans cette logique. Nous nous contenterons ici de proposer une distinction macroscopique, fonction de la nature bioénergétique ou bioinformationnelle des ressources requises (Durand, 1983; Delignières, Legros et Famose, 1991). Nous appellerons *difficulté* le niveau des exigences renvoyant à la sollicitation des ressources bio-informationnelles, et *intensité* le niveau des exigences renvoyant à la sollicitation des ressources bio-énergétiques.

Comme nous l'avons précisé dans l'introduction, notre travail porte essentiellement sur le concept de difficulté. Ceci ne nous empêchera pas de revenir fréquemment sur la problématique de l'intensité, et notamment sur les travaux concernant la perception de l'effort.

Plusieurs niveaux d'analyse de la difficulté peuvent être distingués. Nous parlerons tout d'abord de *difficulté objective*, en tant que descripteur de la tâche et de son niveau d'exigence. 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/ou 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 rapportant ce niveau absolu d'exigence aux ressources disponibles chez le sujet, on peut introduire la notion de *difficulté relative*. Une tâche de difficulté objective donnée peut être par exemple facile pour un premier sujet, et très difficile pour un second. La difficulté relative dans ce sens est un descripteur du système tâche-sujet: on peut la définir comme le rapport demandes de la tâche/ressources disponibles. On pourrait également parler de difficulté réelle, par opposition à l'aspect formel de la difficulté objective.

En tant que concepts, difficulté objective et tâche sont intimement liées. La première dépend de la nature et du niveau des exigences de la seconde. Il nous semble nécessaire à ce niveau de revenir sur le concept de tâche motrice, toute ambiguïté à son sujet se répercutant automatiquement sur celui de difficulté.

1.2. TACHE ET CONTEXTE.

La tâche est généralement définie comme un but à atteindre dans certaines conditions (Léontiev, 1976; Leplat, 1980). De manière générale, les auteurs s'accordent sur la notion de but: explicite, il spécifie le résultat qui doit être atteint au terme de la réalisation motrice. Il renvoie à l'état final du système, après accomplissement de la tâche (Leplat et Hoc, 1983; Famose, 1990). La réalisation d'un but quelconque suppose généralement la réalisation, simultanée ou successive, d'un certain nombre de sous-buts.

La définition des conditions d'atteinte de ce but est plus ambiguë. 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 en pédagogie "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. Comme nous l'avons évoqué précédemment, 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 nécessitent un traitement bio-informationnel, les secondes la mise en oeuvre des ressources bio-énergétiques.

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*.

On peut néanmoins trouver dans la littérature des définitions beaucoup plus souples. Ainsi 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*" (Leplat, 1980, p. 30). 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: la définition retenue par Famose ne prend en compte que ce que Leplat appelle les conditions techniques. Il ne s'agit pas ici d'opposer les deux approches, mais d'en envisager les intérêts respectifs. La définition large revêt une validité écologique incontestable. Elle permet de rendre compte de l'ensemble des facteurs susceptibles d'influencer l'activité du sujet, dans un contexte réel. La définition étroite représente avant tout un outil expérimental. Elle 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*. 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 et de l'enseignement des habiletés motrices (Durand et Barna, 1987; Durand, Famose et Bertsch, 1986; Famose, Bertsch et Durand, 1987; Famose, Durand et Bertsch, 1985; Famose et Kosnikowski, 1987). C'est cette définition étroite que nous adopterons dans notre travail. Dans ce cadre, ce que nous appellerons difficulté objective ne rendra compte que des conditions essentielles, environnementales et procédurales.

Néanmoins la tâche telle que nous la définissons demeure une abstraction. Dire qu'un sujet est confronté à une tâche n'a guère de sens, y compris dans le cadre du laboratoire. Une tâche est nécessairement noyée dans un environnement matériel, humain, institutionnel, qui l'actualise et lui donne du sens. Alors l'analyse doit distinguer d'une part la tâche, au sens étroit du terme, et d'autre part ce que nous appellerons les *facteurs contextuels*, qui peuvent influencer l'activité du sujet, mais qui demeurent étrangers à la tâche *stricto sensu* (Delignières, 1990, 1991). Parmi ces facteurs 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,...)

Cette distinction peut paraître délicate à opérationnaliser. Elle ne saurait reposer notamment sur la nature des conditions prises en compte. Certaines, telles que la luminosité, l'altitude, pourront être classées dans la tâche ou dans les facteurs contextuels, en fonction des caractéristiques du buts et des ressources sollicitées. La distinction est avant tout fonctionnelle. Elle signifie que les sujets qui auront atteint le but assigné auront nécessairement pris en compte les conditions liées à la tâche.

1.3. TACHE PRESCRITE ET TACHE EFFECTIVE.

Le sujet va donc être confronté à une tâche contextualisée. Se constitue alors un nouveau système 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*¹. Analyser une situation ce sera analyser ce

¹- 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.

ystème, 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" (p. 58).

Dans l'analyse des situations, la tâche prescrite ne conserve qu'un caractère de référent. Les auteurs s'accordent à pointer l'importance de la tâche que se fixe lui-même le sujet, à partir de la tâche qui lui a été proposée et du contexte dans lequel elle se situe. 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" (p. 55).* 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, p. 56).*

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 donné, la tâche revêt des significations diverses suivant qu'il s'agit d'un saut d'entraînement, d'un 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 certificatives, sont autant d'éléments susceptibles d'influencer la redéfinition de la tâche et la nature de l'activité du pratiquant.

Divers modèles rendent compte de l'influence croisée de la tâche et des facteurs contextuels dans la régulation des émotions et de la motivation (Atkinson, 1957; Humphreys et Revelle, 1984; Martens, Vealey et Burton, 1990; McGrath, 1970). Néanmoins le contexte n'intervient pas uniquement comme modulateur, de la motivation ou du niveau d'anxiété 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 effectue, son organisation motrice même sont 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 est évidemment de marquer. Mais dans une épreuve de tirs au but, dans une finale importante, ce peut être de "surtout ne pas rater".

Un aspect fréquent de la redéfinition des tâches est l'adjonction de buts personnels au but prescrit (par exemple, se faire plaisir, réaliser un beau mouvement). Cette adjonction peut dériver sur une sur-finalisation de la tâche: le but prescrit devient le moyen d'une autre finalité, par exemple réaliser une meilleure performance qu'un adversaire. Ce phénomène a fait l'objet de travaux récents (Nicholls, 1984; Roberts, 1991; Famose, 1990, 1991). On a pu montrer que cette sur-finalisation était liée à des facteurs stables de personnalité (l'orientation compétitive), mais également à des facteurs contextuels (le climat motivationnel).

Dans tous les 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 qu'il est envisageable que le sujet fasse 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, mais certainement primordiales pour comprendre l'activité du débutant en situation significative d'apprentissage.

1.4. DIFFICULTE ESTIMEE ET DIFFICULTE PERÇUE.

Nous n'avons jusqu'à présent envisagé que la difficulté objective, c'est-à-dire une description du niveau d'exigence de la tâche. Nous allons maintenant considérer la difficulté subjective, qui correspond aux représentations du sujet, à l'évaluation qu'il réalise des demandes ou exigences de la tâche. Une distinction doit ici être réalisée: si l'évaluation précède la performance, on parlera de *difficulté estimée* (Famose (1990) utilise à ce sujet le terme de difficulté perçue estimée à l'avance). Si l'évaluation accompagne ou suit la performance, on parlera de *difficulté perçue*. Cette distinction est importante, par rapport aux informations dont peut disposer le sujet. Dans le premier cas, il ne pourra s'appuyer *a priori* que sur la structure manifeste de la tâche, son expérience antérieure ou les performances réalisées en sa présence par d'autres sujets. Dans le second, il disposera d'une expérience personnelle et directe de la difficulté.

La plupart des auteurs qui font référence à la perception de la difficulté se situent en fait sur le versant de la difficulté estimée. Cette variable apparaît dans plusieurs théories des émotions, de la motivation, ou de la performance. McGrath (1970) et Martens, Vealey et Burton (1990) la considèrent comme un des déterminants principaux de l'anxiété. Divers auteurs mettent en avant son rôle dans la régulation de l'activation (Bandura, 1977; Berlyne, 1960). Elle constitue une des principales variables de la théorie de la motivation d'accomplissement d'Atkinson (1957), et de la théorie de la performance de Kukla (1972). Enfin divers auteurs montrent le rôle de l'estimation de la difficulté dans le choix des stratégies de traitement (Dornic, 1986; Spérando, 1977; Vermersch, 1978).

Certaines divergences apparaissent entre ces auteurs quant à la nature de la difficulté estimée. Atkinson (1957) ou Martens, Vealey et Burton (1990) l'identifient à la probabilité subjective de succès: une tâche est estimée difficile si l'on pense avoir peu de chances d'atteindre le but assigné. Kukla (1972) affirme à l'inverse que ces deux estimations doivent être distinguées, du moins dans les situations mettant en oeuvre l'habileté, dans lesquels les concepts probabilistes ne sont pas applicables. Durand (1987) observe en effet 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.

Nicholls (1984) dépasse cette opposition en montrant que diverses conceptions de la difficulté peuvent être utilisées par les sujets. L'estimation des exigences peut se baser sur les caractéristiques manifestes des tâches (conception objective), sur les performances obtenues

par autrui (conception normative), ou sur les probabilités subjectives de succès (conception égocentrique). L'adoption d'une de ces conceptions dépend de facteurs liés à l'âge, au contexte (climat motivationnel), et à la personnalité des sujets (Nicholls, 1984; Nicholls & Miller, 1983; Roberts, 1991).

Les références à la difficulté perçue sont moins nombreuses. D'une manière générale, on insiste sur son rôle dans l'évaluation du résultat (Roberts & Duda, 1984; Weiner, 1972, 1979), et dans la satisfaction que le sujet tire de son activité (Borg, Bratfish & Dornic, 1971a; Harter, 1978). Un nombre conséquent de travaux ont été également réalisés en psychologie ergonomique sur la charge subjective de travail, comme facteur de stress (Borg, 1977; Hancock et Meshkati, 1988; Moray, 1982).

Le rôle de la difficulté perçue ne se limite sans doute pas à ces aspects émotionnels. La plupart des théories dont nous avons parlé précédemment, relatives au rôle de la difficulté estimée sur l'anxiété, la motivation, l'investissement, ou le choix des stratégies de traitement, ont été élaborées dans le cadre de tâches discrètes. Dans le cas, fréquent dans les activités sportives, de tâches continues ou répétitives, on peut supposer que perception et estimation se confondent dans le déroulement de l'action. On retrouve cette idée dans le travail de Spérandio (1977), qui montre que la perception de la charge de travail participe en ligne à la régulation des stratégies de traitement, chez les contrôleurs aériens.

Notre travail est donc centré sur la perception de la difficulté, c'est-à-dire l'évaluation, au cours ou au terme de l'action, du niveau d'exigences informationnelles de la tâche. Il s'agit de comprendre les modalités de cette perception, par l'analyse systématique des relations entre difficulté perçue, difficulté objective, et performance. Pour mener à bien ce projet, dans une optique expérimentaliste, nous devons résoudre le problème de la mesure de la difficulté perçue. Le chapitre qui suit, consacré à l'approche psychophysique de la mesure des sensations, va nous permettre d'évoquer cet aspect.

L'APPROCHE PSYCHOPHYSIQUE

En première analyse, l'objet de la psychophysique peut être défini comme l'étude des relations entre les stimuli et les sensations. Relation est compris ici dans l'acception mathématique du terme: ceci suppose que l'on dispose de mesures, du stimulus d'une part, et de la sensation d'autre part. Mais s'il est généralement possible d'élaborer un modèle du stimulus, permettant de lui appliquer une métrique objective, on ne peut approcher la sensation qu'au travers des réponses, verbales ou comportementales, fournies par le sujet. Ceci impose de s'assurer, au niveau de la procédure de recueil des données, que ces réponses peuvent constituer une mesure des sensations ou participer à son élaboration.

De ce fait, *"la psychophysique étudie les relations quantitatives démontrées entre des événements physiques identifiés et mesurables et des réponses évoquées selon une règle expérimentale avérée"* (Bonnet, 1986, p. 9). Diverses méthodes ont été proposées pour construire des échelles de sensation. Chacune possède des propriétés métriques originales, liées à la nature des réponses qu'elle requiert. Le type de relation décrite entre stimulus et réponse dépend de la méthode selon laquelle a été élaborée l'échelle de sensation.

Nous allons dans ce chapitre décrire les deux méthodes que nous avons retenues dans le cadre de ce travail: d'une part la construction d'échelles de rapport, et d'autre part l'utilisation d'échelles de catégories. Nous analyserons les propriétés des échelles de sensation obtenues, et la nature des hypothèses dont elles permettent l'examen. Enfin, nous examinerons les problèmes particulier que pose l'étude de la perception de la difficulté, et les perspectives qu'offrent dans ce domaine les méthodes psychophysiques.

2.1. LES ECHELLES DE RAPPORT

Les échelles de rapport, dans la théorie classique de la mesure, constituent le niveau de mesure le plus élaboré (Stevens, 1946): les nombres peuvent y servir à représenter les rapports entre les grandeurs mesurées, et la détermination de l'égalité des rapports est possible. Stevens (1969) met l'accent sur l'intérêt de l'élaboration d'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, 1969, p. 700).

L'obtention d'une échelle de ce niveau requiert que les rapports entre réponses numériques correspondent aux rapports entre les sensations correspondantes. C'est-à-dire que si la sensation A est deux fois plus importante que la sensation B, le nombre qu'on lui attribue

doit être deux fois plus élevé. Stevens (1957, 1969) a proposé diverses méthodes permettant de répondre à cette exigence.

La plus fréquemment utilisée est la méthode d'estimation des grandeurs: on désigne dans la série de stimuli à évaluer un stimulus étalon (ou *modulus*), 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 attribue la cotation 20. Pour la construction de l'échelle, la valeur scalaire attribuée à un niveau du stimulus est la moyenne des cotations attribuées à ce niveau par les différents sujets. On peut également laisser à chaque sujet le libre choix de la valeur attribuée au *modulus*. Il faut alors ramener les échelles individuelles à une même origine par une transformation linéaire.

D'autres méthodes permettant l'élaboration d'échelles de rapport ont été proposées (Borg, 1974, 1982a; Comrey, 1950; Ekman, 1956; Stevens, 1959). Ces différentes méthodes donnent des résultats convergents, débouchant sur la mise en évidence d'une fonction puissance entre l'échelle des stimuli et celle des sensations. Si s représente le stimulus et R la réponse correspondante, on a:

$$R = a.s^b$$

Cette fonction est caractérisée par son exposant (b) et sa constante multiplicative (a). Cette relation peut aussi être exprimée sous forme linéaire, après transformation logarithmique des deux échelles:

$$\log R = \log a + b \log s$$

La précision de l'ajustement est appréciée par le calcul du coefficient de corrélation entre $\log R$ et $\log s$. Dans les expériences portant sur un stimulus bien identifié, présenté selon un nombre réduit de niveaux clairement différenciés, ce coefficient de corrélation est généralement proche de l'unité. Bonnet (1986) donne ainsi l'exemple d'une expérience portant sur l'évaluation de la vitesse de mouvement. On obtient la fonction psychophysique suivante:

$$R = (15.84)s^{0.93} \quad (r = .999)$$

Certains auteurs (Ekman, 1956; Galanter et Messick, 1961; Borg, 1962) suggèrent l'application d'une seconde constante, ajoutée à la variable indépendante:

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

Ce type de fonction permet un ajustement plus précis que la fonction originale de Stevens. Cette constante c pourrait être reliée au seuil absolu, c'est-à-dire la plus petite grandeur du stimulus provoquant une réponse de détection (Bonnet, 1969).

Selon Stevens (1969), l'exposant obtenu est une caractéristique de la dimension étudiée, et donc du système sensoriel mis en oeuvre: la répétition des expériences indique une relative stabilité de l'exposant. On a par exemple mis en évidence un exposant de 3.5 pour les chocs électriques, 1.45 pour le soupèsement de poids, ou 1.7 pour la force de serrage d'une poignée dynamométrique.

Cette stabilité des exposants n'est cependant pas absolue: on a montré l'existence d'effets systématiques liés aux variations des procédures expérimentales. Par exemple, la position du modulus sur le continuum des stimuli affecte la valeur de l'exposant: 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 le plus bas niveau du continuum, les sujets maîtrisant mieux les rapports multiplicatifs que les fractions. L'exposant est également sensible au nombre de stimuli, à l'écart entre deux stimuli successifs, ainsi qu'à l'étendue des stimuli présentés, c'est-à-dire la différence entre le niveau le plus élevé et le niveau le plus bas (Bonnet, 1969; Teghtsoonian, 1971). Dans ce sens, il n'est possible de comparer deux exposants que s'ils ont été obtenus dans des conditions expérimentales similaires.

On a fait l'objection que les méthodes précédentes sont trop dépendantes du comportement numérique des sujets, c'est-à-dire de la façon dont ils utilisent le calcul algébrique. Selon Gescheider (1988), la relation $R=f(s)$ décrite est la composition de deux transformations successives, la première reliant le stimulus à la sensation ($S=f(s)$), la seconde la sensation à la réponse numérique ($R=f(S)$). L'exposant obtenu peut dans ce cadre rendre autant compte du comportement numérique des sujets que des relations stimulus-sensation. On relève d'ailleurs une nette corrélation entre les exposants individuels obtenus sur des dimensions sensorielles différentes (Bonnet, 1969).

Stevens (1959) propose une méthode éliminant le problème des estimations numériques, la méthode d'égalisation inter-modalités. Il s'agit, par rapport à un stimulus quelconque s de demander au sujet de produire une grandeur sensorielle équivalente, par exemple en force apparente, en serrant un dynamomètre à main.

Soit $R= a.s^b$ la fonction psychophysique de la modalité étudiée, et $R'= a'.s'^{b'}$ la fonction de la modalité de comparaison. Réaliser des égalisations intermodales revient à poser:

$$R= R'$$

donc $a.s^b= a'.s'^{b'}$

d'où $s= (a'/a)^{1/b}.s'^{(b/b')}$

ou $s= c.s'^{(b/b')}$

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

C'est-à-dire que sur des coordonnées bi-logarithmiques, les deux échelles de stimuli 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). Stevens (1969), utilisant cette méthode pour neuf continua perceptifs, confirme les exposants mis en évidence par les méthodes numériques. Ce résultat tend à minorer l'influence du comportement numérique des sujets.

On a également reproché à ces méthodes l'importante variabilité des valeurs individuelles de l'exposant (Bonnet, 1969; Tiberghien, 1984). On peut citer l'exemple d'une expérience rapportée par Gamberale (1985), portant sur l'estimation de l'effort dans une tâche de manutention de caisses. 5 sujets participent à cette expérience. On met en évidence, au niveau des données moyennées, une fonction puissance d'exposant 1.86 entre le poids des

caisses et l'effort perçu. Les exposants individuels sont les suivants: 1.44, 1.63, 1.70, 2.06 et 2.45.

Il est difficile de considérer l'exposant moyen comme une caractéristique de la dimension sensorielle étudiée si les valeurs individuelles sont trop disparates. Cette variabilité doit cependant être analysée en tenant compte de l'aspect composite des réponses des sujets: ces dernières rendent compte pour une part du fonctionnement du système sensoriel, mais également des processus mis en jeu pour accomplir la tâche d'évaluation (et notamment le comportement numérique).

Par ailleurs, la variabilité des exposants individuels peut être traitée dans une perspective différentielle. Dans cette optique, l'exposant ne rendrait donc pas compte de manière absolue de la dimension sensorielle, mais des caractéristiques individuelles du système sensoriel, ou pour reprendre les termes de Tiberghien (1984), de "*la sensibilité relative du sujet dans la dimension du stimulus et de la réponse*" (p. 92). Selon Borg (1972b), l'exposant individuel pourrait être inversement lié à l'*étendue dynamique du stimulus* (c'est-à-dire, pour un sujet donné, le rapport entre le seuil maximal et le seuil absolu). Cette proposition n'a néanmoins pas reçu de confirmation expérimentale définitive (Borg & Karlsson, 1976; Teghtsoonian, Teghtsoonian, & Karlsson, 1981).

Certains ont vu dans la fonction puissance la fonction psychophysique décrivant de manière générale la relation entre stimulus et sensation. Cette proposition tend à assimiler sensation et réponse, ou à postuler une relation linéaire entre les deux. Par ailleurs divers auteurs ont montré, par des voies diverses, que la fonction puissance découlait de la conception même des méthodes directes (Baird & Noma, 1978; Ekman, 1964). Cette remarque n'en épuise cependant pas l'intérêt: en demeurant sur un plan méthodologique, nous considérerons l'élaboration d'échelles de rapport comme un outil permettant de *construire* une relation puissance entre l'échelle des stimuli et l'échelle des réponses.

2.2. LES COMPARAISONS INTERINDIVIDUELLES.

Malgré la perspective différentielle que nous avons précédemment évoquée, la construction d'échelles de rapport se révèle peu propice à l'étude des différences interindividuelles. Si un stimulus donné est coté 20 par un sujet et 40 par un autre, on ne peut néanmoins conclure que le premier l'a trouvé plus intense que le second, ces cotations étant liées à l'usage que chacun sujet fait du système numérique. Borg (1962, 1970a, 1970b, 1974, 1982a, 1986) développe un modèle permettant de telles comparaisons. Ce modèle postule que la marge perceptive, de la sensation minimale à la sensation maximale, est identique pour tous les sujets, même si l'étendue correspondante du stimulus peut varier largement d'un sujet à l'autre. Cette équivalence des continua perceptifs doit permettre des comparaisons interindividuelles, à condition que les sujets soient capables de situer de manière précise leurs sensations sur ce continuum commun. Ceci suppose qu'ils puissent se fonder sur un étalonnage de ce continuum. Borg propose de baser cet étalonnage sur des expressions verbales, c'est-à-dire de diviser le continuum perceptif en un certain nombre de catégories, identifiées par un label. Borg propose plusieurs versions d'échelles de ce type. La plus connue est celle qu'il formalise pour la perception de l'effort sous le nom de "*RPE scale*" (*scale of ratings of perceived exertion*), constituée de 15 échelons et 7 labels (Borg, 1970a, Figure 2.1.).

6	
7	Très, très léger
8	
9	Très léger
10	
11	Plutôt léger
12	
13	Assez intense
14	
15	Intense
16	
17	Très intense
18	
19	Très, très intense
20	

Figure 2.1.: L'échelle de catégories "RPE scale", pour la perception de l'effort (d'après Borg, 1970a).

Borg (1972a) montre que le recours aux expressions verbales permet une évaluation plus précise que l'utilisation d'un étalonnage strictement numérique. Hallsten et Borg (1975) montrent par ailleurs que le nombre de catégories ne doit être ni trop faible, ni trop élevé: l'effectif optimal se situe entre 5 et 7, ce qui n'empêche pas l'utilisation d'échelons intermédiaires, destinés à affiner l'évaluation (c'est par exemple le cas pour la *RPE scale*).

Les catégories définies ne sont pas *a priori* subjectivement équivalentes. Ces échelles proposent un modèle du continuum perceptif, dont la structure dépend de la répartition et des "propriétés métriques" des expressions utilisées (Borg, 1970a; Borg & Hosman, 1970). De ce fait, la relation stimulus-réponse est modélée par l'expérimentateur, et dépend de ses objectifs: La *RPE scale* 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 l'intensité objective de la tâche (Figure 2.2.). 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 pour produire une relation linéaire.

Sachant que la fréquence cardiaque varie linéairement avec l'intensité objective, on observe également une relation linéaire entre fréquence cardiaque et *RPE scale* (Borg, 1970a; Borg et Noble, 1974; Gamberale, 1972; Morgan et Borg, 1977; Kilbom *et al.*, 1983; Borg *et al.*, 1987). L'étalonnage numérique de l'échelle a été conçu de manière à ce que le score *RPE* soit approximativement égal au dixième de la fréquence cardiaque.

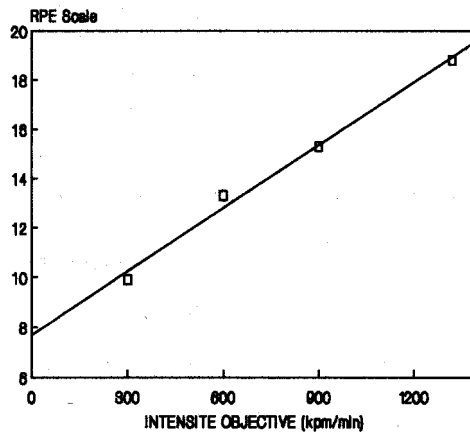


Figure 2.2.: Relation entre l'intensité objective de la tâche et la "RPE scale", lors d'une épreuve de pédalage sur bicyclette ergométrique (d'après Gamberale, 1972).

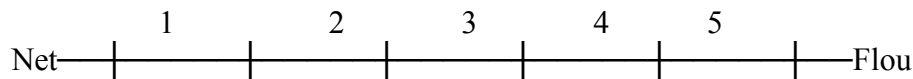
Une autre répartition des labels permet à Borg (1982a) d'élaborer une échelle en 10 points (la *CR-scale* ou *category-ratio scale*), reproduisant les fonctions puissance caractéristiques des échelles de rapport (Figure 2.2.). Marks, Borg et Ljunggren (1983) proposent une échelle du même type pour la perception du bruit.

0	Rien du tout
0.5	Extrêmement léger (à peine perceptible)
1	Très léger
2	Léger
3	Modéré
4	Assez intense
5	Intense
6	
7	Très intense
8	
9	
10	Extrêmement intense (presque maximal)
*	Maximal

Figure 2.2.: L'échelle de catégories *CR-scale*, pour la perception de l'effort (d'après Borg, 1982a).

Ce problème de la détermination par l'expérimentateur de la relation stimulus-réponse mérite d'être approfondi. Gamberale (1985) estime qu'il faut distinguer les échelles de catégories (*category scales*) et les échelles de cotation (*rating scales*). Selon lui, les premières reposent sur l'équivalence subjective des classes définies. Par exemple, on demande aux sujets

d'apprécier la netteté d'une photographie, selon une échelle de cinq intervalles subjectivement égaux (Bonnet, 1986):



L'échelle obtenue est par définition une échelle d'intervalles. Selon Bonnet (1986), les fonctions stimulus-sensation décrites avec ces échelles de catégories tendent à être logarithmiques pour les continuums prothétiques, et linéaires pour les continuums métathétiques.

Les échelles de cotation sont caractérisées selon Gamberale par l'utilisation de labels de classes, d'"ancrages verbaux", définissant de manière qualitative la signification des différentes catégories. Ces échelles 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.

Les échelles élaborées par Borg s'apparentent plutôt à ce type d'échelle. Il n'est pas expressément demandé aux sujets de considérer les intervalles comme égaux, mais de se baser sur les libellés pour réaliser leurs évaluations. Gamberale (1985) estime qu'une telle échelle n'est que de niveau ordinal. Borg (1982b) affirme néanmoins que si la *RPE scale* varie linéairement avec l'intensité objective ou la fréquence cardiaque, qui représentent au moins des échelles d'intervalles, alors elle se comporte elle-même comme une échelle d'intervalles. La démonstration peut convaincre, vu l'accumulation de résultats expérimentaux allant dans ce sens. Elle semble néanmoins biaisée, puisqu'elle utilise des procédures statistiques dont elle a pour but de valider l'usage. On peut suivre le même raisonnement avec l'échelle CR-10, qui est selon son auteur "douée de propriétés de rapport" (Borg, 1982a).

La distinction opérée par Gamberale ne tient cependant pas compte de l'utilisation réelle des échelles par les sujets. Nous avons comparé (Delignières, 1990), dans une recherche portant sur la perception de la difficulté, une échelle en 7 labels, organisés selon le principe de symétrie retenu par Borg pour la *RPE scale* (extrêmement facile, très facile, facile, un peu difficile, difficile, très difficile, extrêmement difficile), et une échelle en 6 labels dissymétriques (facile, peu difficile, assez difficile, difficile, très difficile, extrêmement difficile). Nous obtenons dans les deux cas des relations linéaires entre difficulté objective et difficulté perçue, ce qui montre que les sujets se basent davantage sur l'échelle numérique, selon le principe de l'équivalence des intervalles, que sur l'échelle des labels. Les résultats obtenus par Borg avec la CR-10 montrent néanmoins qu'au-delà d'un certain point, la dissymétrie des labels a une influence réelle sur les réponses des sujets.

Nous retiendrons que la relation stimulus-réponse dépend de la structure des échelles de catégories, et que ces dernières doivent donc être construites en fonction du type de relation que l'on veut obtenir. Ces échelles permettent des comparaisons interindividuelles, sur les niveaux de sensation.

2.3. DIFFICULTE, EFFORT ET PSYCHOPHYSIQUE.

Bovet (1969), décrivant les stimuli étudiés 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..)*" (p. 632), et note 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*" (p. 632). 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. Il envisage également l'application dans le domaine de la difficulté, et une série d'expériences a été réalisée dans ce sens au cours des années soixante-dix par le Département de Psychologie de l'Université de Stockholm (pour une revue, voir Borg, Bratfish et Dornic, 1971a).

Les recherches sur la perception de l'effort ou de la difficulté soulèvent des problématiques rarement évoquées en psychophysique. Cette dernière s'applique classiquement à décrire la relation entre une échelle connue des stimuli et une échelle construite des sensations. Mais dans le cas de l'effort et de la difficulté, la question première est celle de l'identification du stimulus. La démarche va en quelque sorte à l'inverse des protocoles classiques, puisqu'il s'agit de "remonter" de la sensation au stimulus qui l'a engendrée. Afin d'illustrer cette démarche, nous allons rapidement évoquer les travaux réalisés dans le cadre de la perception de l'effort.

2.3.1. L'EXEMPLE DE LA PERCEPTION DE L'EFFORT.

Les premiers travaux ont cherché à décrire la relation entre intensité objective et effort perçu. L'ambition des auteurs était avant tout de montrer que les méthodes psychophysiques étaient applicables pour l'étude de la perception de l'effort.

La première étude réalisée par Borg et Dahlström (1960) 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 classiques, comme l'estimation de grandeurs, a confirmé la nature de cette relation (Borg, 1962). Une étude similaire réalisée par Stevens et Mack (1959), sur la force subjective de serrage d'une poignée ergométrique met également en évidence une fonction puissance, d'exposant 1.7.

Borg (1962) a également étudié 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'intensité objective (IO) et l'effort perçu (EP), et suggère l'introduction de diverses variables, permettant un ajustement plus précis. La relation prendrait la forme suivante (cf. Figure 2.3.):

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

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.

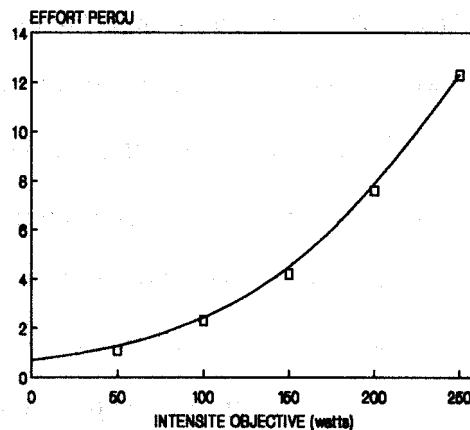


Figure 2.3.: Relation effort objectif-effort perçu, lors d'un travail sur bicyclette ergométrique (d'après Borg et al., 1987).

La dimension temporelle a également été prise en compte: 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:

$$EP = k.F^{1.7}.t^{.7}$$

L'effort subjectif augmente donc plus rapidement avec l'intensité objective qu'avec la durée de contraction. Les travaux basés sur la construction d'échelles de rapport ont donc débouché sur des résultats consistants, légitimant une approche psychophysique de la perception de l'effort.

La description des relations entre intensité objective et effort perçu ne constitue qu'une première étape, qui revêt surtout un intérêt méthodologique. Il faut ensuite essayer de comprendre le fonctionnement de la perception de l'effort, et notamment identifier la ou les variables déterminantes.

Des recherches ont montré que l'exposant de la relation intensité objective-effort perçu dépendait en fait de la nature de la tâche utilisée: pour une tâche de pédalage sur bicyclette ergométrique ou une tâche de marche, on trouve un exposant de 1.6, mais pour la marche l'exposant est plus élevé, de l'ordre de 3 (Borg, 1973; Borg et al. 1987; Ljunggren & Hassmén, 1991). Ces exposants doivent être mis en rapport avec l'évolution des réponses physiologiques à l'exercice. Borg et al. (1987) décrivent des relations puissance entre intensité objective et fréquence cardiaque, d'exposant 1.3 pour le pédalage, 1.1 pour la course,

et 2.9 pour la marche. Un traitement secondaire non réalisé par les auteurs montre que quel que soit le type d'effort réalisé, l'effort perçu est une transformation puissance de la fréquence cardiaque, d'exposant proche de 3.3:

Pédalage:	3.333	($r=.998$)
Course:	3.344	($r=.998$)
Marche:	3.285	($r=.981$)

Ce résultat suggère qu'il est plus pertinent de rechercher au niveau des variables physiologiques qu'à celui de l'intensité objective les déterminants de la perception de l'effort.

L'interprétation de tels résultats doit être prudente. Les corrélations obtenues n'impliquent pas de nécessaires liens de causalité entre les variables corrélées. Par exemple Pandolf *et al.* (1972) montrent que l'élévation de la température environnementale augmente la fréquence cardiaque, mais pas l'effort perçu. Feltz, Crouse et Brunetz (1988) montrent que lors d'un effort prolongé (25-30 minutes), l'effort perçu tend à croître de manière monotone, même lorsque la fréquence cardiaque atteint le plateau correspondant à la vitesse imposée.

On ne peut donc conclure que la fréquence cardiaque est le déterminant de la perception de l'effort, ni surtout qu'elle en constitue le seul. Diverses variables physiologiques ont été mises en relation avec l'effort perçu: on a montré des corrélations hautement significatives avec la lactatémie (Borg *et al.*, 1987; Gamberale, 1972; Ljunggren et Hassmén, 1991), la consommation d'oxygène (Gamberale, 1972; Hetzler *et al.*, 1991), le débit ventilatoire (Seip *et al.*, 1991), ou la viscosité sanguine (Brun, Elbouhmedi et Orsetti, 1990). L'ensemble de ces variables évoluant de manière monotone avec l'intensité de l'exercice, il est logique qu'elles présentent toutes des corrélations élevées avec l'effort perçu.

Des travaux récents montrent l'importance de la lactatémie dans la perception de l'effort en course et sur bicyclette: Seip *et al.* (1991) comparent dans des tâches de course sur tapis roulant les performances (vitesse), les réponses physiologiques (consommation d'oxygène, fréquence cardiaque, ventilation) et les niveaux d'effort perçu (*RPE scale*) de deux groupes de sujets, athlètes et non-athlètes, à différents niveaux de lactatémie (seuil lactique, 2, 2.5 et 4 millimoles). En dépit de différences significatives entre les deux groupes au niveau des performances et des réponses physiologiques, aucune différence n'est mise en évidence en ce qui concerne les scores *RPE*. Hetzler *et al.* (1991) obtiennent un résultat similaire, en comparant cette fois des données recueillies lors de deux épreuves, sur tapis roulant ou sur cycloergomètre: à concentration lactique équivalente, les modalités d'exercice n'ont pas d'influence sur l'effort perçu. Dans une logique similaire, Ekblom et Goldberg (1971) montrent qu'à consommation d'oxygène équivalente, un travail sollicitant les bras entraîne un effort perçu (*RPE scale*) plus élevé qu'un travail sollicitant les membres inférieurs. Mais si l'on compare les résultats à partir des concentrations lactiques, il n'y a plus de différence.

Cette présentation rapide est loin d'épuiser l'ensemble des travaux réalisés dans le cadre de la perception de l'effort. Son objectif est uniquement d'illustrer comment, par une analyse systématique des relations entre l'effort perçu et les variables susceptibles de le déterminer, on a pu progresser dans la compréhension des mécanismes de la perception de l'effort. Nous allons maintenant envisager la manière dont ce type de démarche peut être utilisée pour la perception de la difficulté.

2.3.2. PROPOSITIONS POUR L'ETUDE DE LA PERCEPTION DE LA DIFFICULTE.

Dans le cas de la perception de la difficulté, plusieurs hypothèses peuvent être avancées quant à la nature du stimulus. On peut évoquer, de manière non exhaustive, la difficulté objective des tâches, les performances réalisées, ou encore la charge de travail. Notre objectif sera de déterminer, parmi ces stimuli potentiels, la variable qui est réellement à la base de la perception de la difficulté.

Nous pensons pouvoir fonder cette démarche sur les propriétés reconnues des échelles de sensation. Nous partons du postulat selon lequel la forme de la fonction psychophysique est liée à la méthode de construction de l'échelle. On peut donc déduire de la méthode utilisée la forme de la relation stimulus-réponse. Il doit de ce fait être possible de déterminer la nature du stimulus par l'examen systématique des relations entre les différentes variables que nous avons évoquées et l'échelle de difficulté perçue. Nous fondons notre démarche sur les principes suivant, que nous pensons pouvoir déduire des développements qui précèdent.

1- La construction d'échelles de rapport débouche de manière systématique sur la mise en évidence de fonctions de type puissance entre stimulus et réponse. Si dans une expérience, on trouve un autre type de relation entre une variable "objective" et l'échelle de difficulté perçue (par exemple, une fonction exponentielle ou logarithmique), alors on peut considérer que cette variable ne constitue pas un modèle valide du stimulus. La nature de la fonction obtenue peut néanmoins permettre d'émettre des hypothèses sur les relations entre cette variable et le stimulus.

2- La fonction d'ajustement est affectée d'un coefficient de corrélation, qui indique la précision avec laquelle la fonction rend compte de la relation entre les deux échelles. Les coefficients de corrélation obtenus entre stimuli et sensations sont généralement très élevés (entre .97 et .99). L'obtention d'un coefficient plus faible, surtout s'il s'agit de données moyennées, doit amener à douter de la variable choisie comme échelle des stimuli, même si la relation obtenue est de type puissance. Ce principe peut également permettre, par la comparaison des coefficients de corrélation, de trancher entre deux stimuli potentiels ne se différenciant pas par le type de relation qu'il entretiennent avec la difficulté perçue.

3- Le principe précédent peut être également envisagé dans certains cas au niveau de la corrélation par les rangs.

4- On doit retrouver une fonction puissance entre stimulus et réponse, tant au niveau des données moyennées qu'au niveau individuel. L'examen des fonctions individuelles peut dans ce sens permettre de trancher entre plusieurs modèles en concurrence.

5- Chaque dimension sensorielle est caractérisée par un exposant. Cette propriété permet de comparer deux stimuli différents, afin de voir s'il relèvent d'une même modalité sensorielle, ou de processus différenciés.

Il s'agit là d'une démarche avant tout exploratoire, qui amène davantage de vraisemblance que de certitude. Elle nécessite le croisement de plusieurs protocoles expérimentaux, variant les procédures de construction des échelles et la nature des tâches assignées. En tout état de cause, cette méthode d'investigation repose sur la constitution d'échelles objectives valides. Au vu des traitements statistiques envisagés, ces échelles

doivent être au moins du niveau des échelles d'intervalles. Nous traitons dans le chapitre suivant des problèmes posés par ce type de mesure.

LA MESURE DE LA DIFFICULTE OBJECTIVE

Nous examinons dans ce chapitre les procédures de mesure de la difficulté objective de la tâche. Divers descripteurs, directs ou indirects, ont été envisagés: une telle mesure peut porter sur les caractéristiques objectives des tâches, sur la performance, ou encore sur des variables intermédiaires telles que la charge de travail. Dans le cadre des travaux sur la perception de l'effort, les chercheurs n'ont guère rencontré de problèmes: les tâches assignées et les performances réalisées peuvent aisément être décrites en terme de vitesse, de travail ou de puissance. La charge de travail peut être objectivée au moyen des investigations physiologiques classiques (consommation d'oxygène, fréquence cardiaque, lactatémie, électromyographie, etc.). En ce qui concerne la difficulté et la mobilisation des ressources informationnelles, la mesure est plus délicate, surtout si on l'envisage du niveau des échelles d'intervalles ou de rapport.

Notre objectif est de proposer un système de mesure centré sur la tâche et ses caractéristiques objectives. Nous allons dans un premier temps examiner les diverses propositions qui ont été avancées dans le cadre de l'analyse des tâches motrices. Nous tenterons d'en montrer l'intérêt, mais également les limites par rapport à la démarche que nous envisageons. Dans un second temps, nous montrerons que la théorie de l'information peut constituer un outil efficace.

3.1. LES SYSTEMES D'ANALYSE DES TACHES MOTRICES.

Depuis une vingtaine d'années, de nombreux systèmes d'analyse des tâches motrices ont été proposés. Ces systèmes sont divers et leur logique dépend des objectifs de leurs auteurs respectifs. Néanmoins il est possible de classer ces propositions en trois générations successives. Dans un premier temps on a vu apparaître des systèmes de classification basés sur les caractéristiques objective des tâches. Une seconde vague de propositions sont basées à l'inverse sur une modélisation des ressources de traitement, tentant d'opérationnaliser cette correspondance bijective entre contraintes et ressources dont nous avons parlé plus haut. Enfin, les propositions les plus récentes ont tenté d'ébaucher une approche quantitative de la difficulté, par la mise au point d'échelles d'évaluation.

3.1.1. LES CLASSIFICATIONS.

Ces systèmes sont basés sur la définition de dimensions descriptives, sur lesquelles les tâches sont classées de manière dichotomique ou sous forme de *continuum*. Dans les systèmes

les plus simples, une dimension unique est utilisée: c'est le cas pour Poulton (1957) ou Knapp (1963), avec la dimension habileté fermée-habileté ouverte. D'autres systèmes plus complexes associent plusieurs dimensions de ce type. Suivant la nature dichotomique ou continue des descripteurs retenus, on obtient un ensemble de catégories, ou un système d'axes orthogonaux. Gentile (1972) propose une classification à partir de trois dimensions: le caractère ouvert ou fermé de l'habileté, la stabilité de la posture ou le déplacement corporel, la manipulation ou non d'objets. Elle obtient de la sorte huit catégories. Parlebas (1971) propose un système de classification organisé par le croisement de trois critères: présence/absence d'adversaires, présence/absence de partenaires, présence/absence d'incertitude. Évalués de manière binaire, ces critères définissent 9 catégories.

D'autres systèmes, suivant une logique similaire, ont été proposés (Fitts, 1962; Singer et Gerson, 1981; Holding, 1981). Ces systèmes débouchent comme les précédents sur un classement qualitatif des tâches motrices (Famose, 1990). Si l'on veut en caractériser le produit en terme de mesure, ce sont des données nominales qui sont obtenues, un simple étiquetage des tâches.

3.1.2. LES SYSTEMES COGNITIVISTES.

Billing (1980) renverse la problématique en partant des fonctions cognitives requises. Cet auteur organise son approche par rapport au modèle classique du traitement de l'information, distinguant les processus perceptifs, les processus de prise de décision ou de sélection de la réponse, et les processus de programmation. Il associe à ce modèle la disponibilité des feedbacks. Sa démarche consiste à mettre en relation ces étapes du traitement de l'information avec le type de contraintes sensées les solliciter sélectivement. Ceci débouche sur la définition de quatre dimensions de difficulté¹:

-*Difficulté 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*.

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

-*Difficulté 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.

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

Ce modèle se démarque nettement des propositions précédentes. Il ne se contente pas d'étiqueter les tâches, mais permet d'en définir de manière empirique le profil, en fonction de l'importance relative de la sollicitation de chaque stade de traitement. Établissant une correspondance stricte entre la nature des exigences et les ressources requises, il ouvre la voie à un aménagement sélectif des tâches, en fonction de telle visée expérimentale ou

¹ - Billing utilise le terme de complexité. Si nous traduisons par difficulté, c'est qu'il nous semble que le concept avancé par l'auteur recouvre parfaitement celui que nous avons défini sous le vocable difficulté.

pédagogique. Néanmoins, il ne permet pas encore une mesure autre que nominale de la difficulté.

Conscients des limites des propositions précédentes pour l'obtention d'une mesure de la difficulté, certains auteurs ont tenté de mettre au point des systèmes d'évaluation quantitative. Les modèles les plus élaborés sont ceux de Landers et Boutcher (1986) et de Famose (1983a, 1990). Ces auteurs, respectant la logique du travail de Billing, mettent en regard des différents stades du traitement de l'information les dimensions de la tâche susceptibles de les solliciter de manière spécifique. Landers et Boutcher (1986) proposent un outil d'analyse constitué de treize dimensions, regroupées en trois blocs principaux correspondant aux trois stades perceptif, décisionnel et effecteur, classiquement identifiés dans les modélisations du système de traitement de l'information (Figure 3.1.).

A. Caractéristiques perceptives de l'habileté.
1. Nombre de stimuli nécessaires.
2. Nombre de stimuli présents.
3. Durée des stimuli.
4. Intensité des stimuli.
5. Rapport signal/bruit.

B. Caractéristiques décisionnelles de l'habileté.
1. Nombre de décisions nécessaires.
2. Nombre d'alternatives par décision.
3. Vitesse des décisions.
4. Séquence des décisions.

C. Caractéristiques effectrices de l'habileté.
1. Nombre d'actions musculaires nécessaires.
2. Coordination des actions.
3. Précision et stabilité requise.
4. Habileté motrice fine requise.

Figure 3.1.: Grille d'analyse de la difficulté des tâches motrices (d'après Landers et Boutcher, 1986).

Chacune de ces dimensions est assortie d'une échelle d'évaluation en 5 points (de 0 à 4). La plupart de ces échelles restent purement qualitatives, même si dans certains cas quelques standards numériques sont proposés. Par exemple:

- Nombre de *stimuli* présents:

0	1	2	3	4
Très peu	Peu	Quelques-uns	Plusieurs	Beaucoup

- Durée des *stimuli*:

	0	1	2	3	4
Plus de 20 sec.	Plus de 10 sec.	Plus de 5 sec.	Plus de 2 sec.	Moins de 2 sec.	

La définition des échelons demeure exclusivement empirique. On conçoit que ce type d'échelle ne permet guère qu'une évaluation ordinale de chaque dimension identifiée.

Famose (1990) propose un modèle d'analyse des caractéristiques objectives des tâches motrices, issu d'une première version proposée en 1983. Cette grille se compose de treize dimensions (figure 3.2.). Chaque dimension est assortie d'une échelle d'évaluation en 5 points (de 0 à 4), similaire à celles proposées par Landers et Butcher.

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 de la difficulté des tâches motrices (d'après Famose, 1990).

On peut faire à l'encontre de ce modèle la même remarque que celle formulée précédemment. Chaque échelle représente un outil qui ne saurait dépasser le niveau ordinal. Par exemple Famose (1983a) propose l'échelle suivante pour l'évaluation de l'incertitude spatiale (Figure 3.3.):

Cette échelle a été testée dans le cadre d'une tâche d'anticipation-coïncidence, consistant à renvoyer vers une cible une balle de tennis, au moyen d'une crosse de hockey (Famose, Durand et Bertsch, 1985; Famose, 1990). L'étude de la relation niveau d'incertitude-performance indique clairement que les intervalles successivement définis ne sont pas de la même grandeur (Figure 3.4.).

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

Figure 3.3.: Echelle d'évaluation de l'incertitude spatiale (d'après Famose, 1983a)

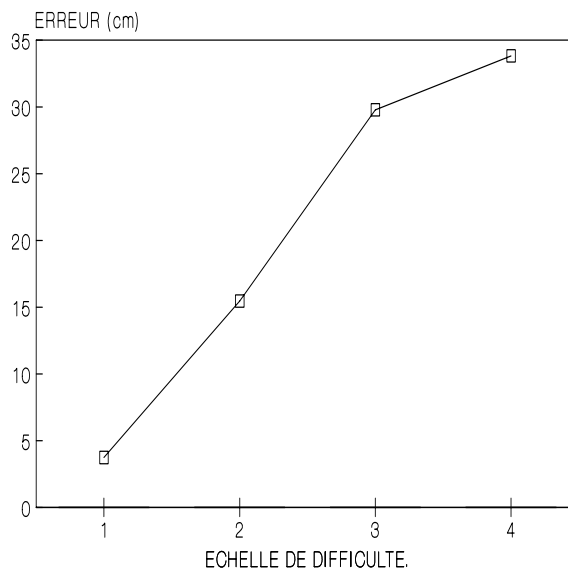


Figure 3.4.: Relation entre l'échelle d'évaluation de l'incertitude spatiale et l'erreur moyenne dans une tâche d'anticipation-coïncidence (d'après Famose, 1990).

Malgré ces limitations, Landers et Boutcher (1986) se proposent de calculer un score global de difficulté des tâches, par la simple addition des scores obtenus sur les échelles constitutives. Cette dernière proposition nous semble irrecevable. Elle suppose que les diverses évaluations réalisées revêtent un poids identique dans la détermination du niveau global de difficulté. Ceci est difficilement soutenable. On peut à cet égard citer un travail de

Famose et Genty (1989, cités par Famose, 1990) qui cherchent à prédire la performance dans une tâche de lancer de fléchette sur cible mobile, à partir de quatre descripteurs de la tâche:

D1: L'incertitude spatiale, liée au nombre de dimensions caractérisant le déplacement de la cible;

D2: L'incertitude temporelle, liée à l'accélération de la cible;

D3: La précision spatiale, liée à la distance de lancer;

D4: La précision temporelle, liée à la vitesse de la cible.

Des tâches expérimentales sont construites par le croisement, pour chacune des dimensions retenues, de quatre niveaux de difficulté, définis selon des échelles ordinales du type de celles présentées précédemment. Une analyse en régression multiple débouche sur l'équation suivante:

$$\text{Performance} = 43.2 - (.7)D1 - (3.2)D2 - (5.3)D3 - (1.0)D4$$

Les contributions respectives des différentes dimensions à la difficulté globale apparaissent donc largement inégales. De plus ce résultat n'a de validité qu'en fonction de l'échantillon des tâches expérimentales, et des échelles qui ont présidé à son élaboration. D'un point de vue strictement métrique, rien ne permet de comparer l'étendue objective des échelles proposées. Les différences enregistrées dans les poids respectifs des quatre dimensions proviennent sans doute largement d'inégalités dans ces étendues objectives. Ainsi on peut supposer que si les distances de lancer avaient été plus réduites, ou plus rapprochées les unes des autres, la contribution de ce facteur à la difficulté globale aurait été diminuée.

Enfin on peut se demander quel sens revêt la mise en *ratio*, dans l'absolu, de deux processus (par exemple affirmer qu'*en soi* l'incertitude spatiale est aussi importante, ou deux fois moins importante, que la précision temporelle). Ceci est peut-être pertinent pour une tâche particulière, mais ne peut être envisagé de manière globale.

En conclusion, ces grilles d'analyse constituent des outils appréciables pour analyser le profil d'exigence de tâches motrices et en faire varier sélectivement la difficulté, mais se révèlent incapables de fournir une mesure de la difficulté objective apte à s'inscrire dans la logique de notre travail.

3.2. DIFFICULTE OBJECTIVE ET QUANTITE D'INFORMATION.

On considère, dans les approches cognitivistes récentes de l'apprentissage et du contrôle moteur (Schmidt, 1982), qu'un sujet réalisant une tâche traite de l'information. Plus le sujet doit traiter d'information, plus la tâche est difficile. Une approche quantitative de la difficulté devrait donc pouvoir passer par la mesure de l'information que le sujet doit traiter pour satisfaire aux exigences de la tâche. La théorie de l'information permet une telle mesure (Alain, 1976; Hayes et Marteniuk, 1976).

Une information désigne un ou plusieurs événements parmi un ensemble fini d'événements possibles (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:

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

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 un sous-ensemble 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:

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

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,

$$H = \log_2 N.$$

La réalisation d'une tâche motrice peut être considérée comme l'identification, la sélection, l'exécution d'un sous-ensemble d'événements pertinents, parmi un ensemble d'événements possibles. Dans cette logique, on définira la difficulté objective comme l'entropie, ou la quantité moyenne d'information véhiculée par la tâche. Certains travaux expérimentaux se sont attachés à valider cette proposition, en montrant que la performance variait linéairement avec l'entropie.

Dès 1885, Merkel a montré l'influence du nombre d'alternatives équiprobables sur le temps de réaction. Hick (1952) propose une modélisation quantitative de cet effet: il 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) propose une formule légèrement différente:

$$TR = a + b \log_2 N$$

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

$$TR = a + bH.$$

Le temps de réaction moyen est une fonction linéaire de la quantité d'information moyenne véhiculée par la tâche. Le facteur b représente la pente de la droite de régression du TR en fonction de l'entropie, et correspond au 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 peut 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.

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).

Fitts (1954) propose dans une logique similaire d'étudier les effets de la difficulté sur le temps d'exécution, dans une tâche de double pointage. Les sujets doivent pointer alternativement et le plus vite possible deux cibles de largeur W et séparées par une distance A (Figure 3.5.). Chaque essai dure 15 secondes. A représente l'amplitude du mouvement requis et W la marge d'erreur permise.

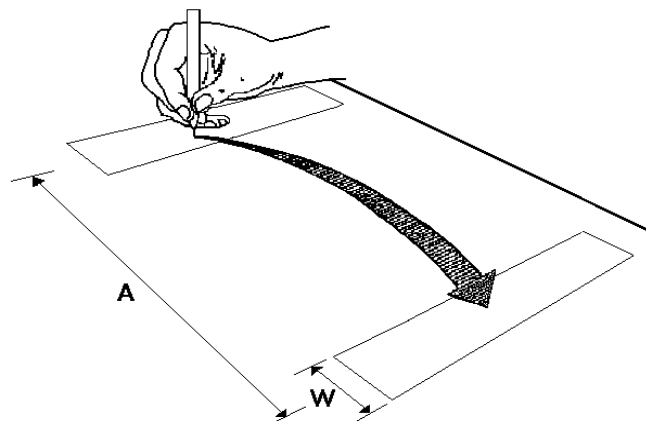


Figure 3.5.: Dispositif expérimental de Fitts (1954).

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; McKenzie et coll., 1987). Langolf, Chaffin et Foulke (1976) montrent que la linéarité entre l'indice de difficulté et le temps moteur demeure, que la tâche soit réalisée avec l'ensemble du bras, le poignet ou le doigt.

Ces travaux tendent à valider l'utilisation de l'entropie comme mesure de la difficulté des tâches. D'une manière générale, cette mesure consisterait donc à rapporter l'étendue des événements pertinents à celle des événements possibles, et à transposer ce rapport en échelle logarithmique. Cette construction appelle quelques remarques.

Au-delà des paradigmes de temps de réaction, qui offrent un cadre particulièrement favorable à l'application directe de la théorie de l'information, il faut se contenter pour les autres types de tâche d'une démarche analogique, reconstruisant une théorie locale de la difficulté à partir des principes de la théorie de l'information. Par la logique logarithmique du calcul de l'entropie, la détermination du zéro de l'échelle dépend de la définition de l'ensemble des événements possibles. Toute modification de cette définition revient à décaler l'ensemble de l'échelle de difficulté par addition d'une constante. Le choix, par exemple, de considérer dans les tâches de pointage que la gamme des mouvements possibles correspond à deux fois l'éloignement de la cible est totalement arbitraire (Fitts, 1954). Il n'obéit qu'à une exigence pragmatique, permettant que l'ensemble des indices calculés soient supérieurs à zéro.

La détermination du zéro est donc un choix arbitraire de l'expérimentateur. D'une manière générale, on peut considérer que la difficulté nulle correspond aux tâches pour lesquelles le rapport événements possibles/pertinents est égal à un. Ceci est aisément applicable pour les tâches de temps de réaction simple, qui représentent un zéro absolu de difficulté. Dans les autres types de tâches, la détermination du zéro ne peut qu'être empirique. Si l'on étudie une série finie de tâches, une solution simple consiste à considérer comme origine de l'échelle la tâche la plus facile de la série, et à utiliser comme ensemble des événements possibles le double des événements pertinents de cette première tâche. *La mesure ainsi réalisée ne permet la construction que d'une échelle d'intervalles.* De ce fait, et en l'absence d'une origine absolue, il est impossible de comparer deux échelles de difficulté établies pour deux séries de tâches de nature différentes (par exemple des tâches de pointage et des tâches de temps de réaction). En dehors de certains cas particuliers, la théorie de l'information ne permet pas une mesure absolue de la difficulté, mais une mesure relative des intervalles séparant une série de tâches de même nature.

Enfin la quantité d'information à traiter par le sujet ne renseigne que peu sur la difficulté de la tâche à réaliser s'il n'est pas fait référence au temps disponible pour ce traitement. La difficulté est moins une affaire de quantité d'information que de débit informationnel (Paillard, 1990). Ceci pose le problème de la pression temporelle caractérisant la tâche. Les tâches que nous avons évoquées jusqu'à présent sont des tâches à allure libre, dans le sens où le sujet ne subit pas de pression temporelle autre que celle qu'il s'impose lui-même en suivant la consigne d'aller le plus vite possible. La quantité moyenne d'information représente dans ce cas une mesure valide des exigences de la tâche. L'évaluation du temps requis, par le moyennage des données de performance, constitue une mesure indirecte de la difficulté.

Par contre dans les tâches à allure imposée (par exemple une tâche de temps de réaction, avec apparition des *stimuli* à intervalles réguliers), la détermination de la difficulté objective doit tenir compte du rapport entre temps requis et temps disponible (Alain & Proteau, 1980).

La mesure de la difficulté réalisée selon cette méthode est essentiellement unidimensionnelle. C'est dire qu'elle n'a de pertinence que si la dimension investiguée est la seule à varier dans la série de tâches étudiée. Ceci limite l'investigation à des tâches extrêmement simples.

La théorie de l'information semble à même de nous fournir une modélisation quantitative de la difficulté objective. Ceci ne veut pas dire, pour en revenir à nos perspectives psychophysiques, que nous détenons une métrique du *stimulus*. Rien en effet ne permet *a priori* de soutenir que l'entropie ainsi calculée soit le *stimulus* pris en compte par les sujets dans la perception de la difficulté. L'entropie est un *stimulus* possible, mais il s'agit là d'une hypothèse, non d'un postulat. Ce que nous recherchons dans cette mesure de l'entropie, c'est une *échelle de référence*, absolue dans le sens où son calcul porte sur les caractéristiques objectives de la tâche, et transversale car elle peut s'appliquer à des tâches différentes, tout en conservant les mêmes propriétés mathématiques.

Au terme de cette première partie, nous avons tracé le cadre théorique de notre problématique, la méthodologie psychophysique et les principes de mesure de la difficulté objective que nous allons employer. La seconde partie de ce document rend compte de notre démarche expérimentale.

SECONDE PARTIE

DEMARCHE EXPERIMENTALE.

VALIDATION D'UNE ECHELLE DE CATEGORIES
POUR LA PERCEPTION DE LA DIFFICULTE.

L'étude de la perception de la difficulté nécessite l'élaboration d'outils spécifiques. L'adoption d'une méthode de mesure de la difficulté objective constitue une première étape indispensable. Nous avons évoqué précédemment en quoi le recours à la théorie de l'information nous paraissait nécessaire à ce niveau.

La mesure de la difficulté perçue peut être envisagée à partir des deux méthodes que nous avons exposées dans le chapitre 2, d'une part la construction d'échelles de rapport, et d'autre part l'utilisation d'échelles de catégories.

Si la première peut être directement mise en oeuvre, la seconde nécessite au préalable un travail d'élaboration et de validation d'un outil de mesure. Il serait notamment utile de disposer d'une échelle analogue à la *RPE scale* de Borg, afin de pouvoir procéder à des comparaisons interindividuelles dans les niveaux de difficulté perçue. Nous avons donc tenté de construire une échelle de catégorie, variant linéairement avec la difficulté objective, c'est-à-dire avec la quantité moyenne d'information véhiculée par les tâches.

Quelques auteurs ont approché ce problème en ce qui concerne les tâches cognitives (Bratfisch, Borg & Dornic, 1972; Hallsten & Borg, 1975; Herbert, 1974). Hallsten et Borg (1975) utilisent une épreuve du "SRB test", destiné à mesurer le niveau général d'intelligence. On présente aux sujets des séries de cinq icônes, représentant chacune une forme géométrique (Figure 4.1.). La construction des icônes de la série obéit à une logique commune 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, cette icône représente un angle obtus). La tâche du sujet est de localiser l'intruse dans chaque série.

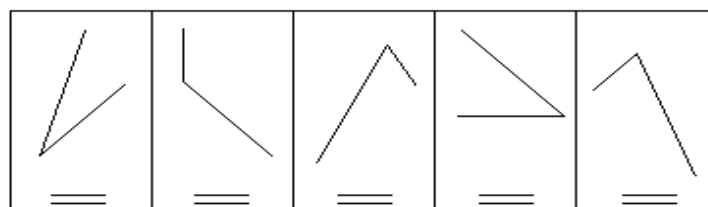


Figure 4.1.: Deuxième série d'icônes du SBR test (d'après Borg et Forsling, 1964).

Les auteurs comparent les évaluations réalisées au moyen de diverses échelles, dont 4 échelles 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. Bratfisch, 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 résultat défini à l'avance; le troisième est une recherche de synonymes dans une liste de cinq mots. Dans les trois situations les auteurs observent une relation linéaire entre la fréquence des réponses correctes et la difficulté perçue. Les corrélations linéaires sont respectivement de .94, .80, .82.

Ces résultats suggèrent que les principes fondant la *RPE scale* (notamment la symétrie des labels) permettent de construire des échelles valides en ce qui concerne la difficulté. Nous avons réalisé une série d'expérience afin de vérifier cette hypothèse.

4.1. L'ECHELLE DP-15.

Nous utilisons une échelle de catégories en 15 échelons et 7 labels (Figure 4.2.), construite selon les principes fondant la *RPE scale* de Borg. Les échelons sont numérotés de 1 à 15. La cotation centrale correspond au label "un peu difficile". Les autres labels sont répartis symétriquement, toutes les deux cotations. Nous appellerons cette échelle DP-15 (échelle de difficulté perçue à 15 échelons).

1	
2	EXTREMEMENT FACILE
3	
4	TRES FACILE
5	
6	FACILE
7	
8	UN PEU DIFFICILE
9	
10	DIFFICILE
11	
12	TRES DIFFICILE
13	
14	EXTREMEMENT DIFFICILE
15	

Figure 4.2.: Echelle de catégories DP-15 pour la perception de la difficulté.

Notre objectif est d'étudier la relation entre cette échelle de catégories et la quantité moyenne d'information à traiter. Nous avons dans ce but utilisé les tâches de pointage de Fitts (1954), pour lesquelles nous disposons d'une méthode de calcul validée de l'entropie. Compte-tenu des travaux antérieurs réalisés avec ce type d'échelle, nous faisons l'hypothèse d'une relation linéaire entre difficulté objective et difficulté perçue.

METHODE.

Sujets. 14 sujets (âge moyen 34.4, écart-type 6.9) participent à l'expérience. Tous sont droitiers.

Dispositif expérimental. Les sujets sont confrontés à une série de 16 tâches de pointage dont les caractéristiques sont décrites dans le tableau 4.1. Les cibles sont rectangulaires, et font 12 centimètres de haut. La tâche consiste à pointer alternativement avec un stylet 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.

Tâche	W(cm)	A(cm)	ID
1	.5	5	4.32
2	.5	10	5.32
3	.5	20	6.32
4	.5	40	7.32
5	1	5	3.32
6	1	10	4.32
7	1	20	5.32
8	1	40	6.32
9	2	5	2.32
10	2	10	3.32
11	2	20	4.32
12	2	40	5.32
13	4	5	1.32
14	4	10	2.32
15	4	20	3.32
16	4	40	4.32

Tableau 4.1.: Description des 16 tâches expérimentales (W: largeur des cibles, A: espacement des cibles, ID: indice de difficulté). L'indice de difficulté est calculé selon la formule de Fitts (1954):

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

Protocole. Les sujets réalisent successivement l'ensemble des 16 tâches. L'ordre de passation est systématiquement varié entre les sujets. Néanmoins, les deux premières sont toujours la plus facile et la plus difficile, et sont présentées comme telles aux sujets. Après

réalisation de chaque tâche, il est demandé aux sujets d'en évaluer la difficulté en utilisant l'échelle de catégories. On leur précise que le niveau 1 correspond à une difficulté nulle, et le niveau 15 à une difficulté maximale. On leur demande de baser leur évaluation dans un premier temps sur les labels, puis de l'affiner grâce à l'échelle numérique. Afin de tester la fiabilité de cette échelle, on procède à une seconde passation entre 6 et 8 mois après la première, selon les sujets.

RESULTATS.

On calcule les scores moyens de difficulté perçue pour chacune des tâches et chacune des passations (Tableau 4.2.).

Tâche	ID	DP (passation 1)		DP (passation 2)	
		Moyenne	E.T.	Moyenne	E.T.
1	4.32	9.07	1.48	7.85	1.91
2	5.32	10.93	1.28	10.54	1.57
3	6.32	12.13	1.25	12.00	1.25
4	7.32	13.53	.91	13.54	.62
5	3.32	5.73	2.17	4.77	1.59
6	4.32	8.00	1.45	7.31	1.97
7	5.32	9.40	1.53	8.54	1.49
8	6.32	11.67	1.12	10.77	1.69
9	2.32	2.27	.90	2.00	.83
10	3.32	4.60	1.83	3.53	.88
11	4.32	6.53	2.04	5.84	1.67
12	5.32	8.53	2.36	8.92	2.28
13	1.32	1.40	.73	1.23	.34
14	2.32	1.80	.59	1.92	.86
15	3.32	4.20	1.50	3.31	1.44
16	4.32	6.93	2.02	6.04	1.79

Tableau 4.2.: Indice de difficulté (ID), et difficulté perçue (DP, moyenne et écart-type), pour chacune des 16 tâches expérimentales et pour les deux passations.

La corrélation par les rangs entre la difficulté objective et l'échelle de catégories est égale à .972 pour la première passation, et .983 pour la seconde. L'échelle permet donc de discriminer et d'ordonner les tâches avec précision. On recherche par la méthode des moindres carrés la fonction d'ajustement de la relation indice de difficulté-difficulté perçue. Pour les deux passations, le meilleur ajustement est de type linéaire (Figure 4.3.).

Passation 1: $DP = (2.255 * ID) - 2.450$ ($r = .974$)

Passation 2: $DP = (2.275 * ID) - 3.075$ ($r = .976$)

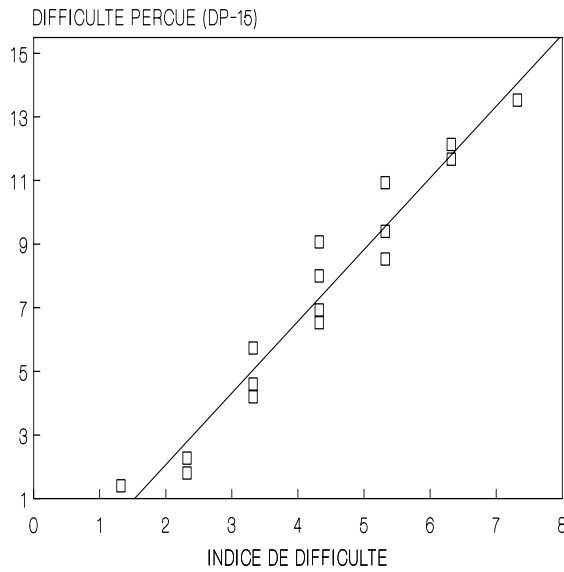


Figure 4.3.: Tâches de pointage de Fitts. Relation entre l'indice de difficulté et la difficulté perçue, évaluée selon l'échelle de catégories DP-15 (première passation). Ajustement linéaire: $DP = (2.255 * ID) - 2.450$, $r = .974$.

On peut également travailler à partir des données moyennées pour chaque niveau d'indice de difficulté. L'ajustement linéaire obtenu est alors beaucoup plus précis (Figure 4.4.).

Passation 1: $DP = (2.175 * ID) - 2.121$ ($r = .994$)

Passation 2: $DP = (2.187 * ID) - 2.583$ ($r = .993$)

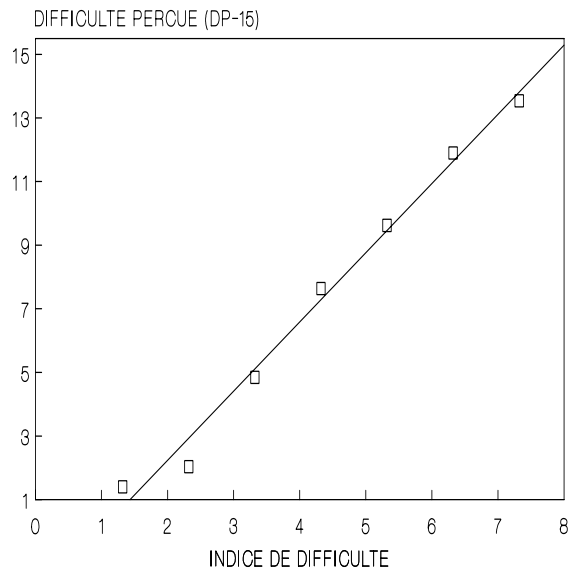


Figure 4.4.: Relation Indice de difficulté-difficulté perçue, en fonction des données moyennées pour chaque valeur d'indice de difficulté (passation 1). Ajustement linéaire: $DP = (2.175 * ID) - 2.121$, $r = .994$.

Cette échelle de catégories varie linéairement avec la difficulté objective, en ce qui concerne les données moyennées. L'analyse, au niveau individuel, des corrélations linéaires entre indice de difficulté et difficulté perçue, montre qu'à ce niveau également la validité de l'échelle est satisfaisante: ces corrélations sont comprises entre .871 et .972 pour la première passation, et entre .867 et .969 pour la seconde (Tableau 4.3.). Enfin le calcul des corrélations, individuelles et collective, entre les distributions de difficulté perçue obtenues lors des deux passations met en évidence la fiabilité de l'échelle (de .859 à .964, .992 pour le groupe; Tableau 4.3.).

Sujets	Corrélation ID/DP (passation 1)	Corrélation ID/DP (passation 2)	Corrélation passation 1/ passation 2
1	.972	.968	.924
2	.939	.948	.910
3	.957	.923	.961
4	.871	.949	.859
5	.874	.969	.880
6	.967	.952	.961
7	.963	.932	.964
8	.933	.867	.930
9	.912	.893	.940
10	.927	.954	.943
11	.945	.892	.933
12	.937	.968	.957
13	.924	.917	.893
14	.970	.908	.939
Groupe	.974	.976	.992

Tableau 4.3.: Analyse de la validité et de la fiabilité individuelle et collective de l'échelle de catégories DP-15 pour la perception de la difficulté.

Cette expérience montre l'étroite corrélation entre l'échelle DP-15 et la difficulté objective des tâches. Nous avons répliqué ce résultat avec une tâche de recherche visuelle (voir Chapitre 7). A nouveau, nous obtenons une relation linéaire entre difficulté objective et difficulté perçue, avec un coefficient de corrélation de .994.

Cette échelle semble bien varier linéairement avec la difficulté objective. Dans la logique des arguments avancés par Borg (1982b, voir chapitre 2), nous pensons pouvoir considérer qu'elle se comporte comme une échelle d'intervalles. Ce postulat est fondamental, car il permet l'utilisation de certains traitements statistiques inutilisables au niveau ordinal. Nous devons néanmoins rappeler les réserves que nous formulions précédemment: peut-on fonder un postulat sur la base des procédures statistiques dont il valide l'usage?

Une issue empiriquement satisfaisante consisterait à répliquer l'expérience, en utilisant d'autres types de tâches, plus complexes, à la structure moins lisible, et offrant une plus grande variabilité de performance inter-essai. Il s'agira moins d'une démonstration formelle que de l'accumulation d'un réseau de vraisemblances. Mais il nous semble que la validation de la *RPE scale* n'a pas utilisé d'autre voie. Nous avons réalisé une expérience supplémentaire dans cet objectif.

4.2. PERCEPTION DE LA DIFFICULTE DANS DES TACHES D'ANTICIPATION-COÏNCIDENCE.

Cette expérience a consisté à étudier la perception de la difficulté dans des tâches de lancers de fléchettes sur cible mobile (Famose, Delignières et Genty, 1991). Il n'est pas possible de réaliser sur ce type de tâche une mesure de la difficulté objective du type de celle utilisée pour les tâches de Fitts. Afin de disposer néanmoins d'une échelle objective, nous considérons que les scores moyens de performance représentent une estimation correcte de la difficulté objective des tâches. Nous nous intéressons donc aux relations entretenues par l'échelle DP-15 avec la performance moyenne.

METHODE.

Sujets. Neuf sujets (âge moyen 10.8, écart-type .40), tous droitiers, participent à l'expérience. Aucun d'entre eux n'a d'expertise particulière dans le jeu de fléchettes.

Dispositif. Le dispositif (Figure 4.5.) est constitué d'une cible mobile pilotée par ordinateur. Deux montants, espacés de 80 cm, délimitent la fenêtre dans laquelle les lancers sont réalisés. Les sujets doivent attendre que la cible passe dans cette fenêtre pour lancer leur fléchette. Lors de ses déplacements, la cible reste visible à gauche et à droite de cette fenêtre.

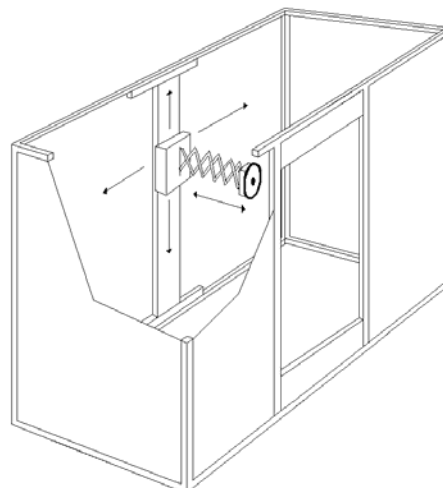


Figure 4.5.: Dispositif expérimental utilisé dans la tâche de lancer de fléchettes. La cible, pilotée par ordinateur, peut se déplacer dans les trois dimensions, suivant des vitesses et des accélérations variées.

Ce dispositif permet de faire varier la difficulté de la tâche selon quatre dimensions:

- L'incertitude spatiale (prévisibilité de la trajectoire de la cible);
- L'incertitude temporelle (prévisibilité de la vitesse de la cible);
- La précision spatiale (distance de lancer);
- La précision temporelle (vitesse de la cible).

Pour chacune de ces variables, quatre niveaux hiérarchisés sont utilisés (cf. Tableau 4.4.). Certaines combinaisons sont évidemment impossibles (par exemple, cible immobile et vitesse de 55cm/s). Néanmoins, sur 256 tâches potentielles, 136 sont envisageables.

Variable	Niveau 1	Niveau 2	Niveau 3	Niveau 4
Incertitude Spatiale	Cible immobile	Déplacement 1 dimension	Déplacement 2 dimensions	Déplacement 3 dimensions
Incertitude Temporelle	Cible immobile	Déplacement uniforme	Déplacement uniformément accéléré	Déplacement aléatoire
Précision Spatiale	150cm	180cm	210cm	240cm
Précision Temporelle	0cm/s	55cm/s	110cm/s	165cm/s

Tableau 4.4.: Variables manipulées lors de l'expérience. Chaque variable présente quatre niveaux de variation.

La cible est circulaire, son diamètre est de 28 centimètres. Elle est subdivisée en 7 cercles concentriques créant des bandes circulaires de 2 cm de large . Le centre a un diamètre de 4 cm. Les valeurs attribuées à chacune des bandes, en partant de l'extérieur, sont de 10, 20, 30, 40, 50, 60, et 70 points pour le centre. On ne comptabilise que les fléchettes piquées dans la cible. Les lancers hors cible ne sont pas pris en compte, quelle que soit par ailleurs leur précision relative.

Protocole. On utilise 20 tâches, dont les caractéristiques sont indiquées dans le tableau 4.5. Les sujets effectuent 8 lancers sur chacune des tâches retenues. Après chaque essai la fléchette est retirée de la cible et le sujet reçoit une information verbale sur son score. L'ordre de passation est systématiquement varié entre les sujets.

Tâche	Incertitude Spatiale	Incertitude Temporelle	Précision Spatiale	Précision Temporelle
1	1	1	1	1
2	2	2	1	2
3	3	2	1	2
4	4	2	1	2
5	2	3	1	2
6	2	4	1	2
7	2	2	2	2
8	2	2	3	2
9	2	2	4	2
10	2	2	1	3
11	2	2	1	4
12	3	4	1	2
13	4	3	1	2
14	2	2	4	3
15	2	2	3	4
16	2	2	4	4
17	4	4	2	2
18	3	3	4	4
19	3	2	4	3
20	3	2	3	2

Tableau 4.5.: Description des 20 tâches expérimentales, en fonction du niveau retenu pour chacune des quatre variables.

Au terme de chaque série de huit lancers, on demande aux sujets d'évaluer la difficulté de la tâche, selon l'échelle DP-15 présentée précédemment (cf. Figure 4.2.).

RESULTATS.

Pour chaque tâche, on calcule la performance moyenne du groupe, et le score moyen de difficulté perçue (Tableau 4.6.). La relation performance-difficulté perçue s'ajuste linéairement (figure 4.6.):

$$DP = (-.254)PERF + 11.700 \quad (r = -.945)$$

Tâche	Performance		Difficulté perçue	
	Moyenne	Ecart-type	Moyenne	Ecart-type
1	30.14	10.78	3.00	2.35
2	31.61	9.91	3.56	2.79
3	30.55	7.47	4.89	3.18
4	29.31	7.76	4.67	2.65
5	26.67	8.24	4.56	2.19
6	25.83	7.55	4.67	2.83
7	20.00	6.93	6.11	1.76
8	16.94	6.38	6.56	2.51
9	8.75	5.34	8.67	3.00
10	22.77	5.40	5.33	2.24
11	26.25	6.61	5.44	2.07
12	18.19	5.90	8.22	2.54
13	21.25	8.77	7.67	1.87
14	10.69	9.19	9.22	3.31
15	14.53	5.21	7.11	4.26
16	8.33	7.50	10.11	2.93
17	11.53	8.26	8.44	3.57
18	8.72	5.26	9.78	2.11
19	11.11	6.51	9.56	3.84
20	14.44	9.29	7.89	3.26

Tableau 4.6.: Performance moyenne et difficulté perçue pour les 20 tâches expérimentales.

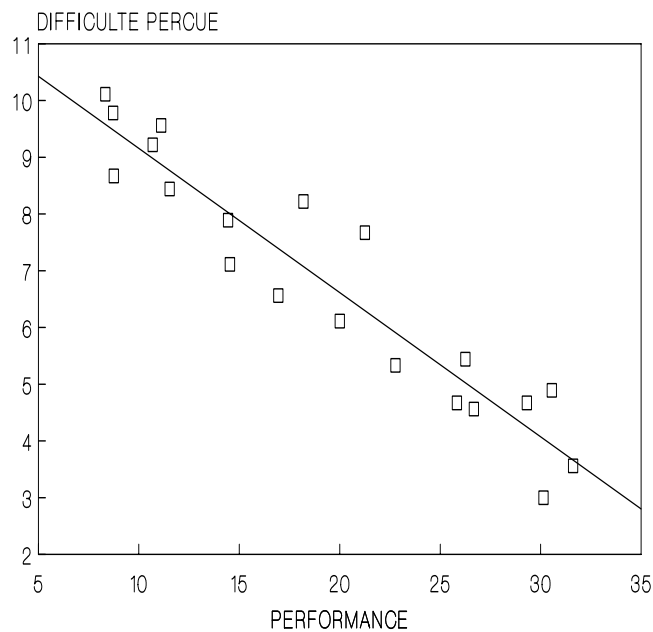


Figure 4.6.: Relation performance-difficulté perçue, pour les 20 tâches expérimentales. Ajustement linéaire: $DP = (-.254)PERF + 11.700$, $r = -.945$.

Si l'on met en relation les échelles individuelles de difficulté perçue et l'échelle des performances moyennes, les coefficients de corrélation sont compris entre -.632 et -.834, pour une moyenne de -.715 (écart-type .067).

Cette expérience montre l'intérêt expérimental de la DP-15, pour les tâches motrices complexes: l'échelle varie linéairement, au niveau du groupe, avec l'échelle des performances moyennes. On peut noter néanmoins la faiblesse relative des corrélations obtenues au niveau des données individuelles. Ce résultat peut en partie être attribué à la forte variabilité de la performance, d'un essai à l'autre. On peut également invoquer la jeunesse de nos sujets. Une inconsistance de cette nature a été par exemple relevée par Ueda et Kurokawa (1991), dans l'utilisation de la *RPE scale* avec des enfants de 10 à 12 ans. On peut faire l'hypothèse, d'une manière générale, que les échelles de ce type produisent des résultats plus consistants avec des adultes. Par exemple Viens (1992) a utilisé l'échelle DP-15 dans une étude sur la perception des exigences dans 12 tâches de grimper sur une structure artificielle d'escalade. Les sujets étaient des adultes (N=9, âge moyen 27.4, écart-type 4.1). Cette expérience ne peut être considérée comme une validation de l'échelle, les demandes des tâches servant de support à l'expérience étant essentiellement de nature énergétiques (Delignières, 1990), et l'auteur utilisant comme échelle objective une mesure prédictive de l'activité musculaire. Néanmoins il est intéressant de noter qu'au niveau individuel, la corrélation linéaire entre l'échelle DP-15 et l'échelle d'exigence objective est comprise entre .956 et .988 (moyenne .978, écart-type .010).

Ces expériences valident la relation linéaire entre l'échelle DP-15 et la difficulté objective. Nous devons ici bien rappeler que cette linéarité entre difficulté objective et difficulté perçue ne signifie rien, au-delà de la description des propriétés de l'échelle. A l'instar de la *RPE scale* de Borg, la DP-15 ne peut fournir *a priori* aucune indication sur les relations entre la difficulté perçue et son *stimulus*. Il s'agit d'un outil construit pour varier linéairement avec la difficulté objective. Ce chapitre ne représente qu'un préambule méthodologique.

L'étude des relations *stimulus*-sensation, dans le cadre de la difficulté perçue, doit recourir à d'autres méthodes, et notamment la construction d'échelles de rapport (Borg, 1978; Gescheider, 1988). Cette approche est développée dans les chapitres suivants.

DIFFICULTE OBJECTIVE, PERFORMANCE
ET DIFFICULTE PERÇUE.

Si l'étude psychophysique de l'effort a donné lieu à de multiples travaux, les préoccupations relatives aux exigences informationnelles sont restées plus confidentielles. A part quelques recherches menées dans les années 1970 par Borg et ses collaborateurs sur la perception de la difficulté dans des tâches mentales, et dans un champ plus latéral, les travaux réalisés dans le cadre de la psychologie du travail sur la charge subjective de travail (par exemple Hancock et Meshkati, 1988), le champ de la perception de la difficulté dans les tâches perceptivo-motrices demeure à peu près vierge.

5.1. REVUE DES TRAVAUX ANTERIEURS.

C'est Borg (1962) qui le premier envisage d'appliquer à la difficulté les méthodes de la psychophysique, et notamment la construction d'échelles de rapport. Mais si les travaux réalisés dans le domaine de l'effort ont débouché sur des résultats convergents, les données issues des recherches concernant la perception de la difficulté sont beaucoup moins consistantes.

Borg et Forsling (1964) utilisent une épreuve du "SRB test", dont nous avons déjà présenté la nature (voir chapitre 4, l'expérience de Hallsten et Borg, 1975). 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. Reprenant le même protocole, Bratfisch, Dornic et Borg (1972) montrent néanmoins qu'un ajustement exponentiel permet une description plus précise des résultats (cf. Figure 5.1.).

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 un couple de lettres qui lui est annoncé 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 5.2.). Ce résultat est interprété dans le sens d'une "contamination" possible par la structure visuelle de la tâche. On a montré (Dornic, 1970, cité par Borg, Bratfisch et Dornic, 1971c) 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, selon les auteurs, que la difficulté perçue soit contaminée par la perception de la surface des matrices ou du nombre de *stimuli*, ce qui expliquerait la forme logarithmique de la fonction.

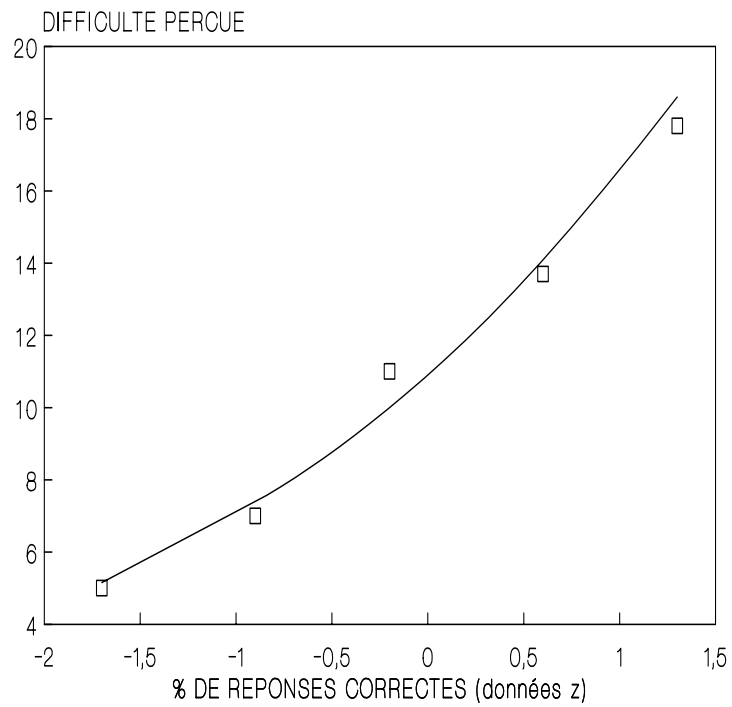


Figure 5.1.: Relation entre le pourcentage de réponses correctes (en données centrées et réduites) et la difficulté perçue (d'après Bratfisch, Dornic et Borg, 1972).

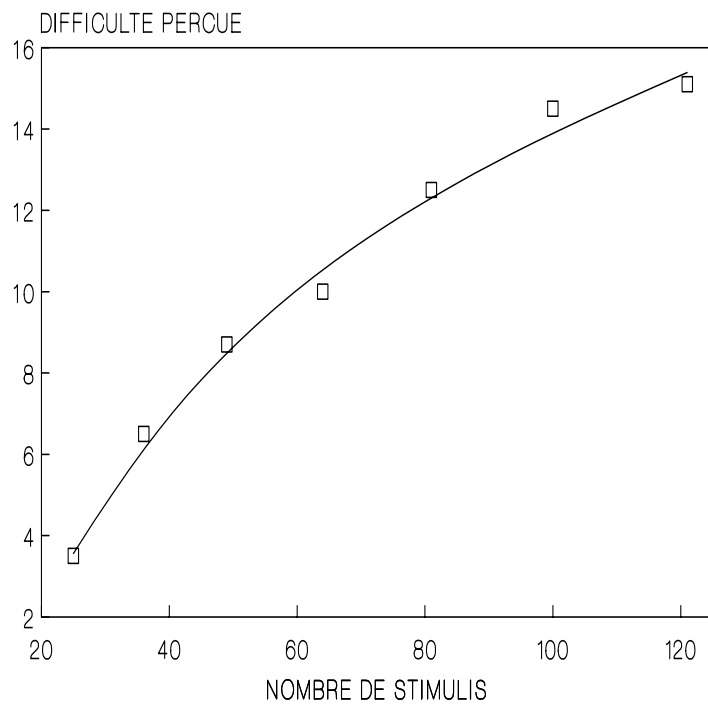


Figure 5.2.: Relation nombre de stimuli-difficulté perçue dans l'expérience de Borg, Bratfisch et Dornic (1971c).

Borg, Bratfisch et Dornic (1971b) étudient une tâche de mémorisation à court terme, consistant à répéter immédiatement après audition 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 une seconde expérience, les auteurs 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 5.3.). 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 restait 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.

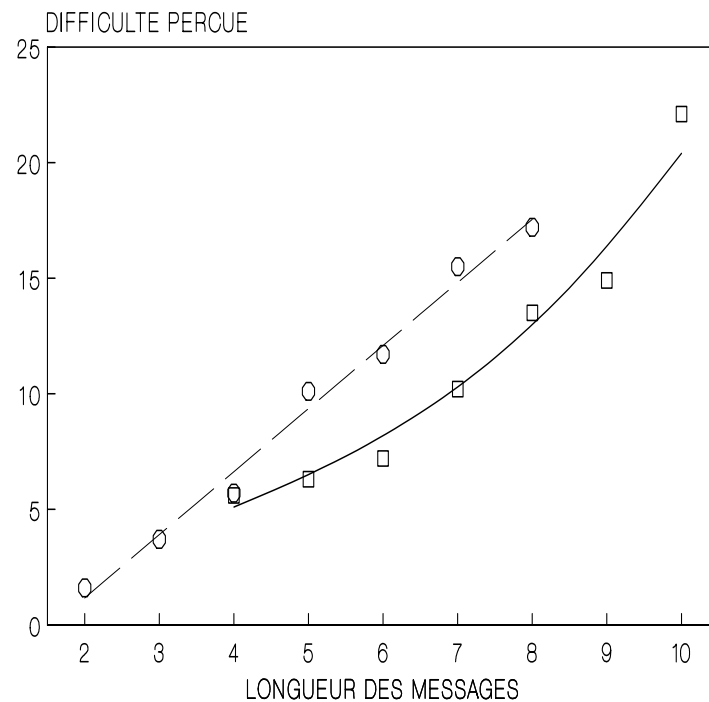


Figure 5.3.: Relation longueur des messages-difficulté perçue dans l'expérience de Borg, Bratfisch et Dornic (1971b). En continu: messages de 4 à 10 chiffres, en pointillé, messages de 2 à 8 chiffres.

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 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 perception de la difficulté.

Au cours de ces expériences, les auteurs mettent donc en évidence différents types de "contaminations", par des facteurs secondaires. Dornic, Sarnecki et Svensson (1973) concluent d'ailleurs que le terme "contamination" est inadéquat car il 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 médiante, 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 certaines critiques. Tout d'abord, la logique qui préside au choix de la variable qui 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 qu'un 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*. Bonnet (1986) met clairement l'accent sur ce problème: "*l'élaboration de modèles du stimulus est fondamentale, puisqu'en effet tout l'effort d'une démarche psychophysique est réduit à néant si l'un des termes de la relation est erroné* (p. 10)".

Une autre critique renvoie aux schémas explicatifs retenus par les auteurs. L'existence 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).

Il nous paraît nécessaire de disposer d'une échelle de référence fiable, si possible centrée sur ce qui préexiste à l'activité du sujet, c'est-à-dire la tâche et ses exigences objectives. Ceci ne signifie pas, nous le rappelons, poser *a priori* la difficulté objective comme *stimulus*. Notre objectif est de pouvoir baser des inférences liées aux propriétés reconnues des échelles psychophysiques de rapport, sur un modèle valide de la difficulté objective. Nous estimons que la quantité moyenne d'information véhiculée par la tâche peut constituer un critère pertinent. Nous avons donc mis au point une série d'expériences dans le but de vérifier cette proposition.

5.2. ENTROPIE, PERFORMANCE ET DIFFICULTE PERÇUE.

Afin de disposer d'une échelle validée de difficulté objective, nous avons décidé d'utiliser à nouveau les tâches de pointage de Fitts (1954). On a vu précédemment (cf. chapitre 3) 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):

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

Cet indice correspond 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).

L'objectif de cette expérience est de décrire les relations entre la difficulté objective, la performance et la difficulté perçue.

METHODE

Sujets.

27 sujets (âge moyen 33.5, écart-type 6.1) participent à l'expérience. Ils sont tous droitiers.

Dispositif expérimental.

On utilise cinq niveaux de difficulté objective, correspondant à des ID de 1.32 à 5.32, avec un pas de une unité. Les caractéristiques des tâches retenues (espacement des cibles, largeur des cibles, et indice de difficulté) sont précisées dans le tableau 5.1.

La tâche consiste à pointer alternativement les deux cibles, à l'aide d'un stylet. Les sujets, pour chaque niveau de difficulté, réalisent 10 séries de 5 allers et retours. Les consignes mettent l'accent sur la double exigence de précision et de vitesse. Le dispositif est relié à un chronomètre modèle CTCs (EAP), qui permet d'enregistrer la somme cumulée des durées des trajets intercibles, et de comptabiliser le nombre d'erreurs. Une série présentant plus de deux erreurs n'est pas prise en compte dans la mesure de la performance moyenne. On complète le cas échéant la passation jusqu'à obtenir dix séries valides.

Tâche	Espacement des cibles (A, cms)	Largeur des cibles (W, cms)	Difficulté objective (ID, bits)
A	5	4	1.32
B	5	2	2.32
C	10	2	3.32
D	20	2	4.32
E	20	1	5.32

Tableau 5.1.: Caractéristiques des 5 tâches expérimentales.

Les sujets n'ont pas connaissance de leurs performances. Au terme des 10 séries, on leur demande d'évaluer la difficulté de la tâche qu'ils viennent de réaliser, selon la méthode d'estimation des grandeurs: la tâche la plus facile (tâche A) étant affectée arbitrairement de la cotation 10, ils doivent attribuer une cotation à chacune des autres tâches, dans une logique de rapport. On précise que l'évaluation doit porter sur l'ensemble des séries réalisées à ce niveau de difficulté.

La tâche A est réalisée en premier. L'ordre de passation des autres tâches est systématiquement varié entre les sujets.

RESULTATS.

On calcule, pour chaque tâche, la performance moyenne et le score moyen de difficulté perçue. Ces données moyennées sont présentées dans le tableau 5.2.

Tâche	Performance		Difficulté perçue	
	Moyenne	Ecart-type	Moyenne	Ecart-type
A	1.414	.214	10.000	0.00
B	1.652	.212	13.963	2.39
C	2.128	.324	20.963	7.74
D	2.735	.533	31.519	13.68
E	3.694	.741	49.667	24.60

Tableau 5.2.: Performance moyenne (en secondes) et score moyen de difficulté perçue, pour les cinq tâches expérimentales.

- Relation difficulté objective-difficulté perçue.

On calcule, par la méthode des moindres carrés, les fonctions d'ajustement de la relation entre difficulté objective et difficulté perçue. Le meilleur ajustement est de forme exponentielle (Figure 5.4.):

$$DP = (5.653) * e^{(.402)DO} \quad (r=.999)$$

Les ajustements puissance et linéaire permettent également une description acceptable de la relation:

$$DP = (6.325) * DO^{(1.120)} \quad (r=.968)$$

$$DP = (-6.964) + (9.689)DO \quad (r=.962)$$

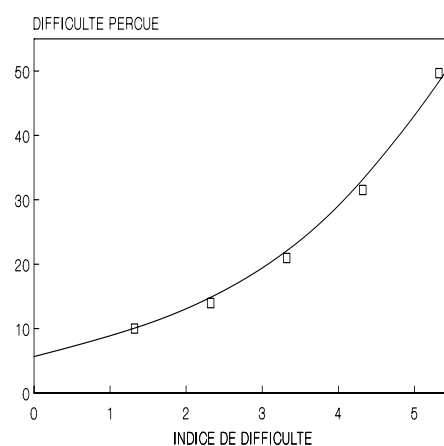


Figure 5.4.: Relation difficulté objective-difficulté perçue, dans les tâches de pointage. On a représenté l'ajustement exponentiel: $DP = (5.653) * e^{(.402)DO}$, $r=.999$.

L'étude des fonctions individuelles d'ajustement valide clairement la relation exponentielle: pour 23 sujets sur 27, le meilleur ajustement est de type exponentiel. Pour les 4

autres, l'ajustement puissance ou linéaire s'avère plus précis. Néanmoins, à chaque fois qu'il se trouve concurrencé, l'ajustement exponentiel conserve un coefficient de corrélation compris entre .974 et .993 (Tableau 5.3.).

Sujet	Ajustement			
	linéaire	exponentiel	logarithmique	puissance
1	.990	.995*	.947	.973
2	.887	.957*	.795	.890
3	.940	.991*	.856	.945
4	.972	.995*	.907	.954
5	.985	.991*	.932	.956
6	.986	.998*	.937	.980
7	.950	.996*	.877	.964
8	.992*	.982	.967	.991
9	.961	.974*	.902	.932
10	.985	.998*	.933	.984
11	.981	.981*	.931	.953
12	.985	.993	.933	.995*
13	.897	.967*	.803	.906
14	.984	.999*	.929	.979
15	.926	.987*	.838	.941
16	.940	.984*	.857	.929
17	.940	.957*	.890	.929
18	.810	.908*	.716	.851
19	.938	.992*	.863	.959
20	.940	.984*	.857	.929
21	.999*	.981	.975	.999*
22	.972	.994*	.910	.993
23	.950	.996*	.877	.964
24	.984*	.974	.939	.973
25	.927	.996*	.838	.957
26	.976	.999*	.915	.979
27	.914	.946*	.821	.868

Tableau 5.3.: Coefficients de corrélation des fonctions individuelles d'ajustement de la relation difficulté objective-difficulté perçue. L'ajustement le plus précis est marqué d'un astérisque.

- Relation difficulté objective-performance.

On calcule, par la méthode des moindres carrés, les fonctions d'ajustement de la relation entre difficulté objective et performance. Le meilleur ajustement est de forme exponentielle (Figure 5.5.):

$$\text{PERF} = (.978) * e^{(.242)\text{DO}} \quad (r=.995)$$

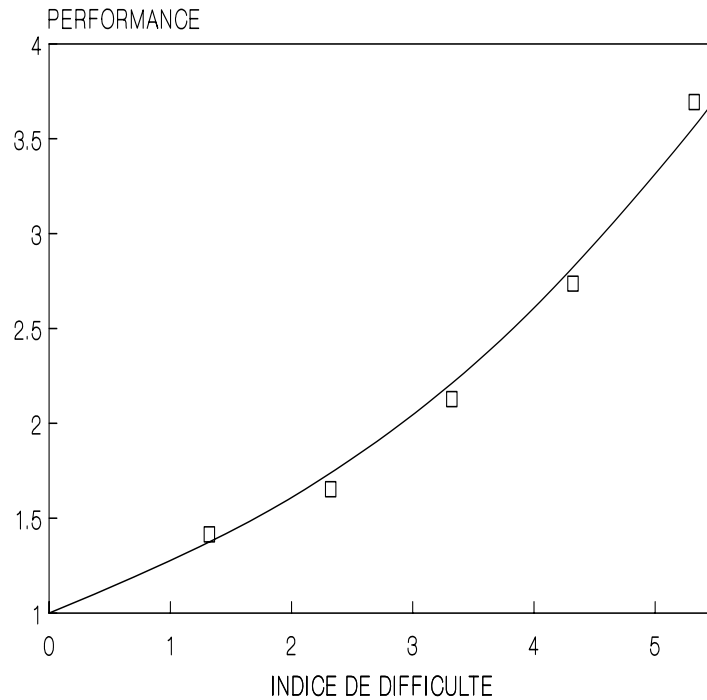


Figure 5.5.: Relation difficulté objective-performance, dans les tâches de pointage. On a représenté l'ajustement exponentiel: $\text{PERF} = (.978) * e^{(.242)\text{DO}}$, $r=.995$.

Les ajustements linéaire et puissance permettent également une description acceptable de la relation:

$$\text{PERF} = (.450) + (.564)\text{DO} \quad (r=.973)$$

$$\text{PERF} = (1.055) * \text{DO}^{(.669)} \quad (r=.954)$$

L'étude des fonctions individuelles d'ajustement valide à nouveau clairement la relation exponentielle: pour 23 sujets sur 27, le meilleur ajustement est de type exponentiel. Pour les 4 autres, l'ajustement linéaire s'avère plus précis. Néanmoins, à chaque fois qu'il se trouve concurrencé, l'ajustement exponentiel conserve un coefficient de corrélation compris entre .984 et .994 (Tableau 5.4.).

Sujet	Ajustement			
	linéaire	exponentiel	logarithmique	puissance
1	.990*	.984	.974	.984
2	.975	.993*	.915	.959
3	.974	.995*	.910	.957
4	.995	.998*	.954	.982
5	.987	.998*	.933	.974
6	.984	.999*	.930	.974
7	.996*	.993	.964	.984
8	.969	.983*	.908	.938
9	.994*	.992	.963	.976
10	.999*	.994	.978	.995
11	.993	.999*	.951	.978
12	.959	.994*	.887	.954
13	.968	.997*	.905	.964
14	.975	.995*	.920	.964
15	.990	.998*	.946	.980
16	.925	.963*	.837	.893
17	.911	.951*	.822	.877
18	.954	.987*	.877	.934
19	.931	.981*	.854	.933
20	.926	.961*	.838	.888
21	.980	.990*	.928	.960
22	.939	.980*	.859	.924
23	.965	.989*	.893	.941
24	.960	.983*	.886	.929
25	.885	.903*	.782	.806
26	.954	.986*	.885	.941
27	.959	.985*	.888	.933

Tableau 5.4.: Coefficients de corrélation des fonctions individuelles d'ajustement de la relation difficulté objective-performance. L'ajustement le plus précis est marqué d'un astérisque.

- Relation performance-difficulté perçue.

On calcule, par la méthode des moindres carrés, les fonctions d'ajustement de la relation entre performance et difficulté perçue. Les ajustements linéaire et puissance permettent une description très précise de la relation, avec un coefficient de corrélation proche de l'unité (Figure 5.6.):

$$DP = (-15.095) + (17.343)PERF \quad (r=.999)$$

$$DP = (5.904) * PERF^{(1.649)} \quad (r=.999)$$

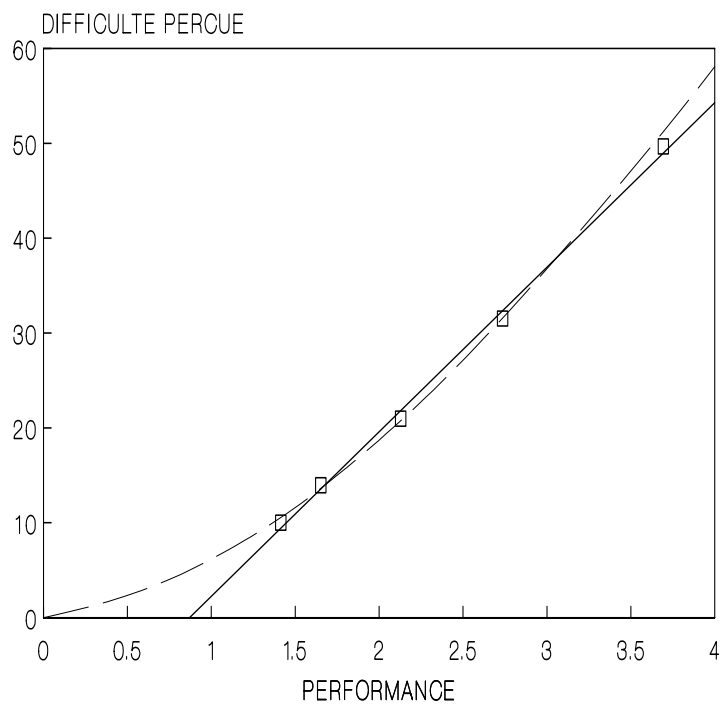


Figure 5.6.: Relation performance moyenne-difficulté perçue. En pointillé, ajustement linéaire ($DP = (-15.095) + (17.343)PERF$, $r=.999$), en plein, ajustement puissance ($DP = (5.904) * PERF^{(1.649)}$, $r=.999$).

Les ajustements exponentiel et logarithmique, bien que relativement corrects, n'atteignent pas ce degré de précision:

$$DP = (4.396) * e^{(.683)PERF} \quad (r=.983)$$

$$DP = (-6.592) + (40.614)\log(PERF) \quad (r=.983)$$

L'étude des fonctions individuelles d'ajustement ne permet guère de trancher (tableau 5.5.): l'ajustement linéaire se révèle le plus précis pour 8 sujets, l'ajustement puissance pour trois sujets uniquement, l'ajustement exponentiel pour 10 sujets et l'ajustement logarithmique pour 7.

Le premier résultat à présenter une certaine vraisemblance est cette relation exponentielle entre difficulté objective et difficulté perçue. Ceci entraîne un corollaire fondamental: s'il semble bien établi dans la littérature psychophysique que l'utilisation des méthodes subjectives dérivées des propositions de Stevens débouchent sur la mise en évidence de relations de type puissance entre le *stimulus* et la sensation (Laming, 1973; Stevens, 1969), alors la difficulté objective, définie comme la quantité moyenne d'information à traiter pour réaliser la tâche, ne constitue pas le *stimulus* à l'origine de la perception de la difficulté. Nous reviendrons à la fin de ce chapitre sur la pertinence de cette proposition, qui ne peut encore être avancée qu'avec précaution.

Sujet	Ajustement			
	linéaire	exponentiel	logarithmique	puissance
1	.983	.994*	.966	.986
2	.960	.993*	.910	.969
3	.990	.995	.958	.999*
4	.988	.999*	.962	.990
5	.998*	.988	.990	.997
6	.998	.981	.988	.998*
7	.950	.989*	.914	.978
8	.958	.919	.978*	.952
9	.957	.967*	.940	.956
10	.987	.998*	.963	.996
11	.989*	.975	.982	.981
12	.991	.924	.997*	.977
13	.976	.991*	.925	.978
14	.989	.967	.986	.990*
15	.961	.986*	.923	.976
16	.998*	.971	.997	.993
17	.987	.964	.993*	.982
18	.917	.948*	.855	.921
19	.999*	.966	.987	.997
20	.998*	.973	.997	.993
21	.985	.933	.994*	.964
22	.993	.907	.998*	.960
23	.994*	.977	.973	.990
24	.983	.916	.997*	.958
25	.987*	.916	.978	.935
26	.988	.948	.991*	.982
27	.979*	.977	.955	.968

Tableau 5.5.: Coefficients de corrélation des fonctions individuelles d'ajustement de la relation performance-difficulté perçue. L'ajustement le plus précis est marqué d'un astérisque.

La relation difficulté objective-difficulté perçue est néanmoins très nette, puisqu'assortie d'un coefficient de corrélation proche de l'unité. Ceci semble indiquer que la difficulté objective entretient un rapport fonctionnel avec le *stimulus* réellement pris en compte par les sujets dans la perception de la difficulté. On peut tenter de prédire la forme de cette relation.

Soit S ce *stimulus*. On considère que ce *stimulus* entretient une relation de type puissance avec la difficulté perçue.

Si $DP = a * e^{bDO}$

et $DP = \alpha * S^\beta$

alors $S = (a/\alpha)^{1/\beta} * e^{(b/\beta)DO}$

Le *stimulus* pris en compte par les sujets devrait entretenir une relation exponentielle avec la difficulté objective.

Un second résultat est justement la relation exponentielle obtenue entre difficulté objective et performance moyenne. La précision de l'ajustement réalisé, comparé aux autres solutions, et la constance de l'ajustement au niveau individuel, valident nettement le résultat. Ceci est surprenant, puisque tous les travaux que nous avons pu citer précédemment à propos des tâches de pointage mettaient en évidence une relation linéaire entre indice de difficulté et performance (Fitts, 1954; Fitts et Peterson, 1964; Langolf, Chaffin et Foulke, 1976; McKenzie et coll., 1987).

Néanmoins, en appliquant la méthode des moindres carrés aux données expérimentales de Fitts (1954), obtenues avec un dispositif expérimental similaire à celui que nous avons utilisé, on met en évidence les ajustements suivants:

- ajustement linéaire:

$$PERF = (.095 * ID) - .013 \quad r = .983 \quad (1)$$

- ajustement exponentiel:

$$PERF = (.133) * e^{(.251)*ID} \quad r = .993 \quad (2)$$

L'analyse des données obtenues par Fitts dans ses autres expériences (pointage réciproque avec stylet pesant, transfert de jetons et transfert de goupilles) donne des résultats similaires. Ces ajustements indiquent la possibilité d'une liaison exponentielle entre ID et PERF, de la forme:

$$PERF = a * e^{(b*ID)}$$

Les différences entre coefficients de corrélation sont minimales, et la figure 5.7. montre que si une légère curvilinéarité apparaît, l'ajustement linéaire demeure une description acceptable de la relation.

Un traitement secondaire nous permet 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 ($IP = ID/PERF$), confirme la validité de l'hypothèse exponentielle. Le tableau 5.6. indique les valeurs théoriques des indices de performance $IP(exp)$ et $IP(lin)$, calculés dans le premier cas selon l'hypothèse de la fonction exponentielle (équation 2), et dans le second selon l'hypothèse linéaire (équation 1). On a indiqué également les valeurs expérimentales moyennes obtenues par Fitts (IP).

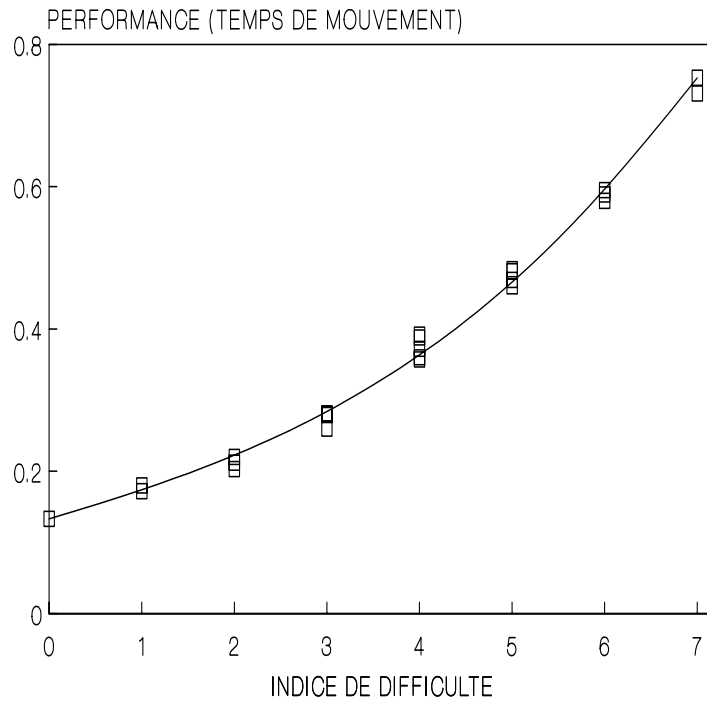


Figure 5.7.: Relation indice de difficulté/temps de mouvement dans la première expérience de Fitts (Ia, 1954). La fonction d'ajustement est de type exponentiel: $PERF = (.133) * e^{(.251)*ID}$, $r = .993$.

ID	IP(exp)	IP(lin)	IP
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 5.6.: Valeurs théoriques de l'indice de performance, selon les équations:
 $IP(exp) = ID/a * e^{(b * id)}$ ($a = .133$, $b = .251$)
 $IP(lin) = ID/cID + d$ ($c = .095$, $d = .013$),
 et valeurs expérimentales moyennes (IP), selon les résultats de la première expérience de Fitts (1954).

On retrouve au niveau de IP(exp) la distribution caractéristique en U-inversé des valeurs de IP calculées par Fitts. La distribution de IP(lin) ne rend pas compte de cette évolution pour les valeurs extrêmes de ID (Figure 5.8.).

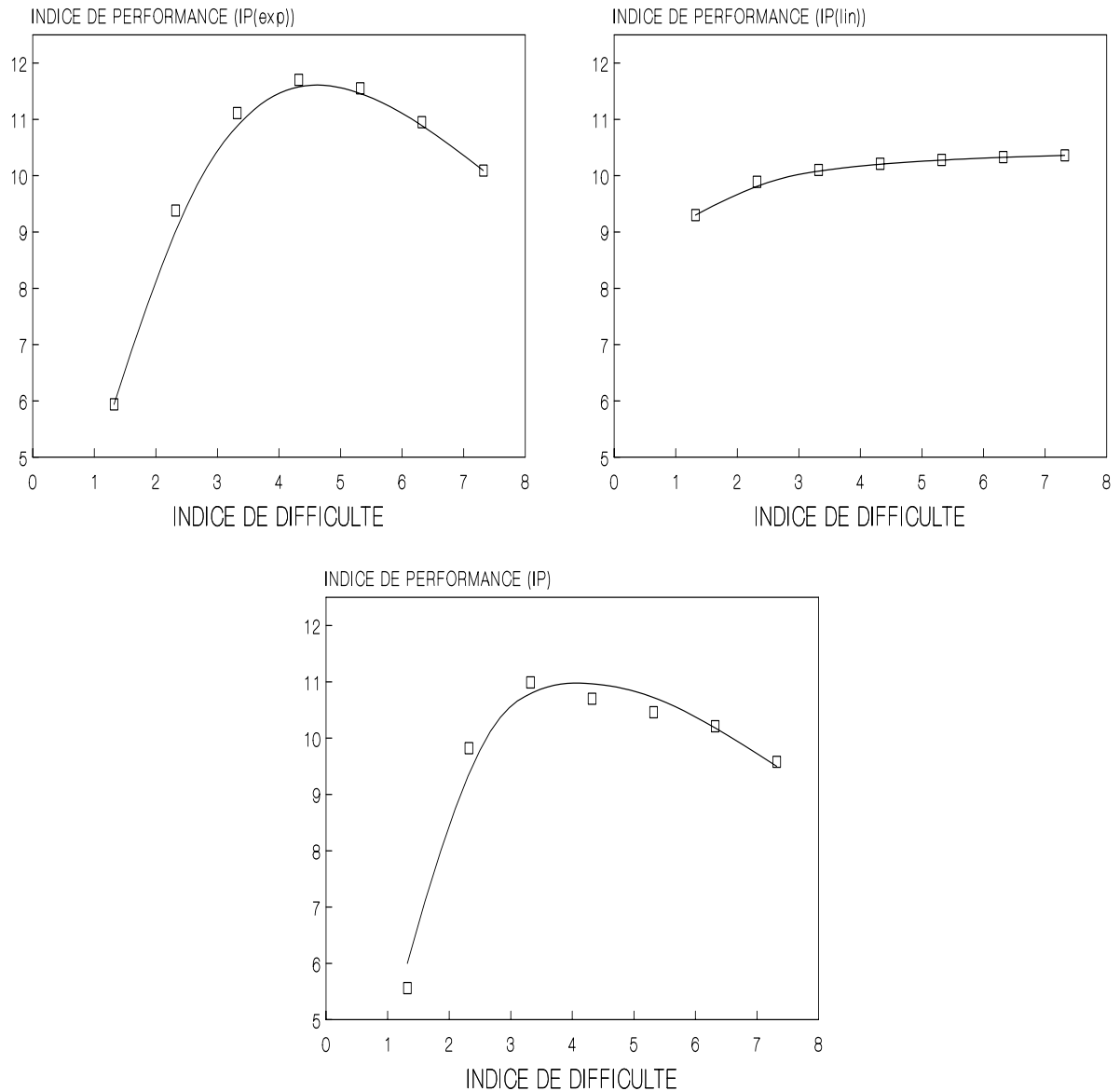


Figure 5.8.: Relation indice de difficulté-indice de performance, dans l'expérience de Fitts (1954). A gauche, l'indice de performance est calculé théoriquement selon l'hypothèse exponentielle, et à droite, selon l'hypothèse linéaire. En bas, on a reproduit les valeurs expérimentales obtenues par Fitts (1954).

L'ajustement ne préjuge en rien de la signification psychologique de la fonction mathématique mise en évidence. La forme exponentielle de la relation indice de difficulté-performance pourrait surtout provenir d'un "effet plancher", au niveau de la performance, dans les tâches les plus faciles. Cet effet a d'ailleurs été noté par Schmidt (1982) à propos des résultats de Fitts. Kantowitz et Knight (1976) l'évoquent également, en montrant que la performance dans une tâche de pointage facile n'est pas affectée par une tâche ajoutée. Ils parlent de *processus limités par l'expérimentateur* (experimenter-limited processes), par analogie aux processus limités par les données théorisés par Norman et Bobrow (1975). Mais si la limitation par les données provient de données trop pauvres (par exemple un rapport signal/bruit particulièrement faible), dans ce cas la limitation vient de données trop riches: la tâche est si facile que la performance ne peut pas décroître.

Tout comme Norman et Bobrow (1975) délimitent dans les courbes ressources-performance des "régions" de limitation par les ressources ou par les données, la relation difficulté objective- performance peut être lue comme la succession de segments, obéissant à des logiques différentes. Dans ce sens, la relation linéaire avancée par Fitts constitue sans doute un ajustement tout à fait correct pour une large frange moyenne des niveaux de difficulté. Sa pertinence est plus limitée pour rendre compte de l'ensemble du *continuum*, notamment pour les tâches extrêmement facile, mais sans doute également pour les tâches extrêmement difficiles.

Cette relation exponentielle entre difficulté objective et performance, associée à l'éventualité d'une relation puissance entre performance et difficulté perçue, peut étayer l'hypothèse selon laquelle la perception de la difficulté se baserait sur le niveau de performance réalisé. Ceci rejoindrait les conclusions précédemment évoquées de Bratfish, Dornic et Borg (1970). Même si les sujets n'ont pas connaissance de leurs performances, ces dernières sont suffisamment stables d'un essai à l'autre (voir tableau 5.7. les valeurs des coefficients de variation de la performance pour chaque niveau de difficulté) pour que les sujets puissent se livrer à des mises en rapport de durées ou d'indices rythmiques. L'exposant de l'ajustement puissance (1.6) est d'ailleurs proche de l'exposant mis en évidence par Ekman et Frankenhaeuser (1957), en ce qui concerne la perception de la durée (1.4).

Tâche	A	B	C	D	E
Coefficient de variation moyen (%)	3.65	3.62	5.45	3.82	5.71

Tableau 5.7.: Coefficient de variation des scores de performance, pour chaque niveau de difficulté. A titre de comparaison, les coefficients de variations obtenus pour une série de tâches discrètes de recherche visuelle se répartissent entre 11.7% et 41.2% (cf. Tableau 5.10.).

Néanmoins certains éléments vont à l'encontre de cette hypothèse. Si la performance actuelle représentait la base de la perception de la difficulté, alors on devrait retrouver une fonction puissance non seulement au niveau des données moyennées, mais également à celui des données individuelles. Ce n'est pas le cas, puisque seuls les résultats de trois sujets s'ajustent sur ce type de fonction. Dans ce sens la performance actuelle ne représenterait qu'une variable latérale, corrélée mais inessentielle dans la perception de la difficulté.

Afin de confirmer ces résultats, nous avons mis au point un second protocole expérimental.

5.3. DIFFICULTE PERÇUE ET CHARGE DE TRAVAIL.

Notre but était de proposer aux sujets des tâches entraînant une forte variabilité des performances, pour un même niveau de difficulté. Ceci aurait pour conséquence de rendre impossible aux sujets une quelconque inférence du niveau de difficulté à partir de leurs performances manifestes. Nous avons opté pour une tâche de recherche visuelle.

METHODE.

Sujets.

28 sujets (âge moyen 33.3, écart-type 6.1) participent à l'expérience. Les sujets sont tous droitiers.

Dispositif expérimental.

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 ces 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 artefacts dus 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 5.9.).

Les lettres apparaissent une par une, au centre de l'écran. Chaque lettre est précédée de l'affichage d'un signal préparatoire ("attention") pendant une durée de 1 seconde. Les sujets doivent répondre en appuyant la touche correspondante sur le clavier.

Il leur est demandé de n'utiliser que le majeur de la main droite, durant toute l'expérience. Avant chaque essai, le sujet doit reposer la main sur la table, devant le clavier, dans une position spécifiée. La durée séparant deux essais successifs est systématiquement variée.

Le dispositif permet de recueillir à chaque essai le temps de réponse, c'est-à-dire le temps séparant l'apparition de la lettre de la frappe de la touche correspondante.

A chaque essai, les n lettres caractérisant la tâche sont équiprobables. La quantité moyenne d'information véhiculée par une tâche est donc égale à

$$I_n = \log_2 n.$$

Le tableau 5.8. résume les caractéristiques des cinq tâches expérimentales.

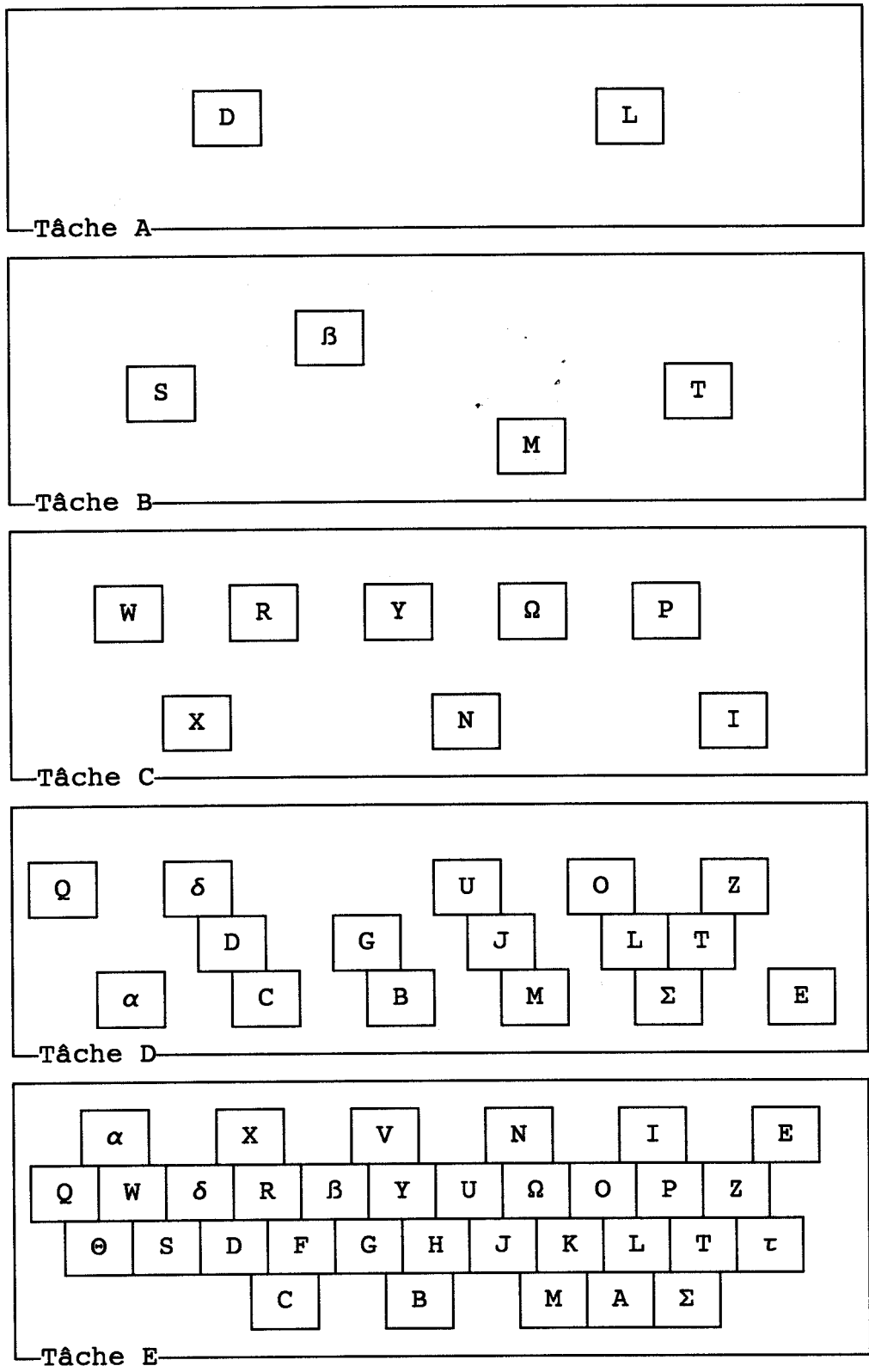


Figure 5.9.: Aménagement du clavier dans les cinq tâches expérimentales.

Tâche	n	I_n
A	2	1
B	4	2
C	8	3
D	16	4
E	32	5

Tableau 5.8.: Nombre de lettres (n) et quantité moyenne d'information (I_n) pour les cinq tâches expérimentales.

Protocole. Les sujets réalisent 20 essais successifs à chaque niveau de difficulté. On précise qu'il doivent aller le plus vite possible, mais sans commettre d'erreur. En cas d'erreur, l'essai n'est pas pris en compte et l'on complète la série jusqu'à obtenir 20 essais valides. Les sujets sont tenus au courant des essais non pris en compte, mais n'ont pas connaissance de leurs performances.

Au terme des 20 essais, on leur demande d'évaluer la difficulté de la tâche qu'il viennent de réaliser. On utilise la méthode d'estimation des grandeurs. La tâche A sert de *modulus* et est cotée 10. Il est précisé aux sujets que l'évaluation doit porter sur l'ensemble des essais réalisés.

La tâche A est réalisée en premier. L'ordre de passation des autres tâches est systématiquement varié entre les sujets.

RESULTATS.

On calcule, pour chaque tâche, la performance moyenne et le score moyen de difficulté perçue. Ces données moyennées sont présentées dans le tableau 5.9.

Tâche	Performance (sec.)		Difficulté perçue	
	Moyenne	Ecart-type	Moyenne	Ecart-type
A	.624	.113	10.000	0.00
B	.724	.149	14.589	2.45
C	.914	.257	21.911	6.32
D	1.160	.501	38.000	16.53
E	1.548	.783	62.321	30.69

Tableau 5.9.: Performance moyenne et score moyen de difficulté perçue, pour les cinq tâches expérimentales.

Le calcul des coefficients de variation, pour chaque tâche, confirme les prédictions qui ont présidé à l'élaboration de l'expérience (tableau 5.10.): la variabilité des performances successives est beaucoup plus importante que dans les tâches de pointage, et ce d'autant plus que la tâche est difficile.

Coefficients de variation moyens (%)					
Tâche	A	B	C	D	E
Pointage	3.65	3.62	5.45	3.82	5.71
Recherche	11.70	14.28	22.26	30.40	41.16

Tableau 5.10.: Coefficients de variation moyens de la performance, pour les tâches de pointage et pour les tâches de recherche visuelle.

- Relation difficulté objective-difficulté perçue.

On calcule, par la méthode des moindres carrés, les fonctions d'ajustement de la relation entre difficulté objective et difficulté perçue. Le meilleur ajustement est de forme exponentielle (Figure 5.10.):

$$DP = (5.947) * e^{(.462)DO} \quad (r=.997)$$

Les ajustements puissance et linéaire permettent également une description acceptable de la relation:

$$DP = (8.291) * DO^{(1.099)} \quad (r=.954)$$

$$DP = (-9.052) + (12.805 * DO) \quad (r=.952)$$

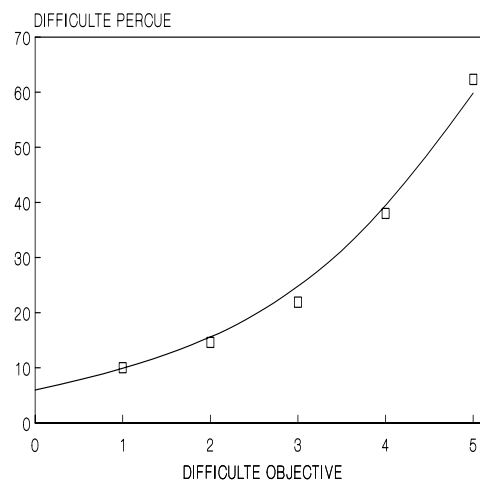


Figure 5.10.: Relation difficulté objective-difficulté perçue, dans les tâches de recherche visuelle. On a représenté l'ajustement exponentiel: $DP = (5.947) * e^{(.462)DO}$, $r=.997$.

L'étude des fonctions individuelles d'ajustement valide clairement la relation exponentielle: pour 24 sujets sur 28, le meilleur ajustement est de type exponentiel. L'ajustement linéaire s'avère plus précis pour 3 sujets, et l'ajustement puissance pour 1 sujet. Néanmoins, à chaque fois qu'il se trouve concurrencé, l'ajustement exponentiel conserve un coefficient de corrélation compris entre .952 et .990 (Tableau 5.11.).

Sujet	Ajustement			
	linéaire	exponentiel	logarithmique	puissance
1	.969	.998*	.893	.968
2	.902	.993*	.795	.943
3	.921	.977*	.813	.907
4	.936	.998*	.844	.971
5	.987	.990*	.934	.971
6	.947	.991*	.857	.937
7	.885	.955*	.781	.881
8	.943	.949*	.915	.947
9	.979	.952	.977	.987*
10	.956	.991*	.867	.938
11	.982	.997*	.915	.963
12	.968	.999*	.887	.978
13	.990*	.985	.936	.979
14	.861	.944*	.741	.860
15	.965	.993*	.895	.974
16	.953	.996*	.862	.956
17	.961	.993*	.876	.942
18	.979	.989*	.917	.948
19	.947	.984*	.859	.953
20	.974	.998*	.904	.971
21	.972	.998*	.867	.959
22	.997*	.990	.958	.993
23	.953	.983*	.862	.920
24	.888	.986*	.780	.930
25	.966	.985*	.892	.961
26	.889	.982*	.782	.930
27	.855	.911*	.737	.807
28	.979*	.974	.927	.962

Tableau 5.11.: Coefficients de corrélation des fonctions individuelles d'ajustement de la relation difficulté objective-difficulté perçue. L'ajustement le plus précis est marqué d'un astérisque.

- Relation difficulté objective-performance.

On calcule, par la méthode des moindres carrés, les fonctions d'ajustement de la relation entre difficulté objective et performance. Le meilleur ajustement est de forme exponentielle (Figure 5.11.):

$$\text{PERF} = (.474) * e^{(.229)\text{DO}} \quad (r=.994)$$

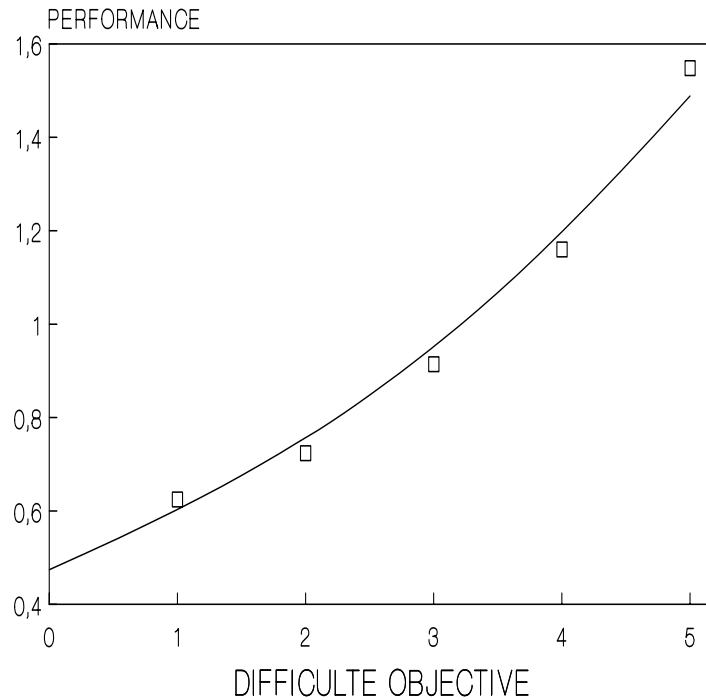


Figure 5.11.: Relation difficulté objective-performance, dans les tâches de recherche visuelle. On a représenté l'ajustement exponentiel: $\text{PERF} = (.474) * e^{(.229)\text{DO}}$, $r=.994$.

Les ajustements linéaire et puissance permettent également une description acceptable de la relation:

$$\text{PERF} = (.309) + (.228 * \text{DO}) \quad (r=.973)$$

$$\text{PERF} = (.562) * \text{DO}^{(.540)} \quad (r=.943)$$

L'étude des fonctions individuelles d'ajustement valide à nouveau clairement la relation exponentielle: pour 24 sujets sur 28, le meilleur ajustement est de type exponentiel. Pour les 4 autres, l'ajustement linéaire s'avère plus précis. Néanmoins, à chaque fois qu'il se trouve concurrencé, l'ajustement exponentiel conserve un coefficient de corrélation compris entre .978 et .992 (Tableau 5.12).

Sujet	Ajustement			
	linéaire	exponentiel	logarithmique	puissance
1	.985*	.978	.969	.977
2	.976	.991*	.907	.945
3	.976	.993*	.901	.943
4	.996	.998*	.951	.976
5	.989	.998*	.929	.965
6	.987	.999*	.926	.966
7	.995*	.991	.961	.978
8	.965	.977*	.891	.918
9	.991*	.987	.956	.966
10	.999*	.992	.980	.994
11	.994	.999*	.947	.971
12	.962	.996*	.878	.952
13	.971	.996*	.898	.952
14	.975	.993*	.911	.952
15	.989	.989*	.954	.980
16	.981	.990*	.918	.949
17	.973	.990*	.897	.932
18	.964	.971*	.878	.897
19	.957	.982*	.869	.915
20	.989	.997*	.927	.957
21	.990	.993*	.938	.961
22	.987	.991*	.931	.964
23	.939	.972*	.859	.914
24	.979	.993*	.910	.951
25	.982	.985*	.948	.977
26	.992	.998*	.943	.980
27	.834	.885*	.718	.779
28	.879	.947*	.771	.864

Tableau 5.12.: Coefficients de corrélation des fonctions individuelles d'ajustement de la relation difficulté objective-performance. L'ajustement le plus précis est marqué d'un astérisque.

- Relation performance-difficulté perçue.

On calcule, par la méthode des moindres carrés, les fonctions d'ajustement de la relation entre performance et difficulté perçue. Les ajustements puissance et linéaire permettent une description précise de la relation (Figure 5.12.):

$$DP = (26.792) * PERF^{(2.009)} \quad (r=.998)$$

$$DP = (-27.411) + (57.119 * PERF) \quad (r=.996)$$

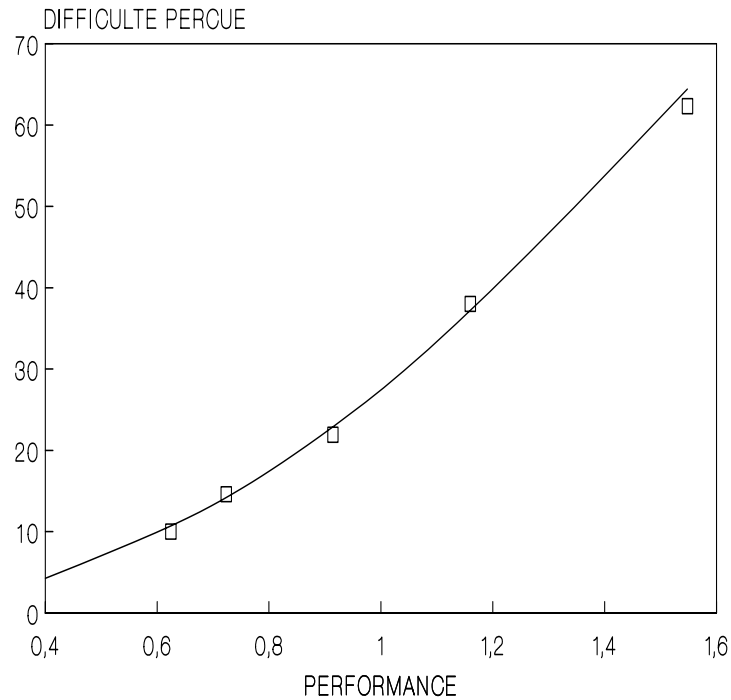


Figure 5.12.: Relation performance moyenne-difficulté perçue. On a représenté l'ajustement puissance: $DP = (26.792) * PERF^{(2.009)}$, $r=.998$.

Les ajustements exponentiel et logarithmique, bien que relativement corrects, n'atteignent pas ce degré de précision:

$$DP = (3.439) * e^{(1.945)PERF} \quad (r=.985)$$

$$DP = (32.781) + (57.136) * \log PERF \quad (r=.977)$$

L'étude des fonctions individuelles d'ajustement ne permet pas de trancher (tableau 5.13.): l'ajustement puissance se révèle le plus précis pour 7 sujets, l'ajustement linéaire pour 8 sujets, l'ajustement exponentiel pour 9 sujets et l'ajustement logarithmique pour 4.

Ce manque de consistance des relations individuelles performance-difficulté perçue pourrait être attribué au fait que les sujets, par un effet de récence, basent leur jugement sur les dernières performances de chaque série. Nous avons calculé à nouveau les fonctions d'ajustement, en ne prenant cette fois en compte que les 5 dernières performances de chaque série. En données moyennées, le meilleur ajustement est de type puissance:

$$DP = (28.761) * PERF^{1.987} \quad (r=.997)$$

Ajustement				
Sujet	linéaire	exponentiel	logarithmique	puissance
1	.924	.974*	.902	.965
2	.967	.995	.927	.998*
3	.981	.997*	.927	.995
4	.953	.995	.919	.995*
5	.993	.977	.993	.995*
6	.984	.999*	.953	.993
7	.865	.937*	.825	.910
8	.860	.847	.873*	.866
9	.957	.921	.958*	.931
10	.949	.987*	.915	.970
11	.996	.997	.984	.999*
12	.999*	.953	.990	.989
13	.982	.929	.994*	.973
14	.940	.965*	.895	.947
15	.935	.965	.917	.972*
16	.976	.981	.953	.986*
17	.997*	.987	.988	.995
18	.983*	.971	.976	.970
19	.995*	.957	.990	.982
20	.991*	.985	.978	.991
21	.986	.995*	.966	.994
22	.995*	.966	.991	.987
23	.967*	.948	.968	.967
24	.955	.997*	.906	.990
25	.983	.990	.958	.992*
26	.935	.993*	.879	.977
27	.998*	.982	.997	.996
28	.912	.818	.968*	.904

Tableau 5.13.: Coefficients de corrélation des fonctions individuelles d'ajustement de la relation performance-difficulté perçue. L'ajustement le plus précis est marqué d'un astérisque.

Cet ajustement n'apporte pas davantage de précision que le précédent. L'ajustement exponentiel se révèle également pertinent ($r=.994$). Quant aux ajustements individuels, le fait de ne prendre en considération que les derniers scores de performance ne leur donne pas davantage de consistance: l'ajustement puissance se révèle le plus précis pour 10 sujets, l'ajustement linéaire pour 5 sujets, l'ajustement exponentiel pour 7 sujets et l'ajustement logarithmique pour 6.

Cette seconde expérience confirme les résultats obtenus dans la précédente. On décrit une relation de type exponentiel entre la difficulté objective et la difficulté perçue. Cette relation extrêmement étroite (les coefficients de corrélations sont respectivement .999 et .997) suggère l'existence d'une liaison fonctionnelle entre ces deux variables. Mais la forme exponentielle de la relation nous amène à rejeter l'hypothèse selon laquelle la difficulté objective constituerait le *stimulus* pris en compte par les sujets. 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.

Ces hypothèses reposent sur le postulat selon lequel la construction d'échelles de rapport, selon les méthodes avancées par Stevens, débouchent nécessairement sur des relations de type puissance entre *stimulus* et sensation. Ce postulat est étayé par suffisamment de résultats expérimentaux pour être considéré comme valide. Le relation exponentielle que nous avons mis en évidence entre quantité moyenne d'information et difficulté perçue représente-t-elle néanmoins un argument suffisant pour refuser à la première le statut de *stimulus* pour la seconde? Certains points sont ici à considérer. Tout d'abord les fonctions puissance mises en évidence dans la littérature l'ont été à partir de dimensions sensorielles clairement identifiées, c'est-à-dire renvoyant à un type de *stimulus* et un type de récepteur bien spécifiés. Qu'en est-il de la difficulté? Représente-t-elle un *continuum* prothétique ou métathétique? Cette distinction a-t-elle encore un sens en ce qui concerne ce type de dimension? Dans cette logique, les postulats qui sont à la base des lois psychophysiques (loi de Weber, postulats de Fechner ou de Stevens) s'appliquent-ils à la difficulté? Tiberghien (1984) a montré que l'association du postulat de Stevens et d'une loi selon laquelle le seuil sensoriel demeurerait constant d'un bout à l'autre du *continuum* débouche sur une nouvelle loi psychophysique, de type exponentiel.

D'un autre côté, la relation mise en évidence peut être liée aux conditions expérimentales que nous avons utilisées. Le choix du *modulus* et de sa cotation standard a pu ainsi induire un type de comportement numérique particulier.

Par ailleurs, nous avons précédemment évoqué le fait que la métrique retenue pour mesurer la difficulté, notamment dans les tâches de Fitts, ne nous semblait relever que du niveau des échelles d'intervalles. Le choix arbitraire de l'origine n'est-il pas lié au type d'ajustement obtenu? On pourrait objecter également que la mesure de l'information, par convention purement arbitraire, est une transformation logarithmique d'un rapport caractéristique de la tâche.

Or, si $I = \log_2(N/n)$

et $DP = a * e^{bI}$

alors $DP = a * (N/n)^{b/\log 2}$

Théoriquement, on pourrait donc décrire une relation de type puissance entre le rapport événements possibles/pertinents et la difficulté perçue. Cette proposition semble néanmoins difficilement recevable. Tout d'abord, la mesure de la difficulté objective par l'entropie nous semble clairement validée par l'ensemble des travaux déjà anciens de chronométrie mentale

(Fitts, 1954; Hick, 1952, Hyman, 1953, cf Chapitre 3.2.). Par ailleurs, la relation puissance décrite par la dernière équation présenterait un exposant inférieur à 1, d'une valeur approximative de .6. La relation "difficulté objective"-difficulté perçue serait donc négativement accélérée, ce qui serait surprenant au vu des résultats obtenus dans l'étude de la perception de l'effort.

Enfin on peut toujours s'interroger sur la valeur des ajustements retenus, le choix s'effectuant le plus souvent à la deuxième ou troisième décimale des coefficients de corrélation. D'un autre côté, la constance du type d'ajustement au niveau individuel nous semble un argument de poids.

L'hypothèse selon laquelle la perception de la difficulté se baserait sur une évaluation des caractéristiques de la tâche ne saurait néanmoins être écartée sans précautions. On peut citer à ce niveau les conceptions de Warren (1969), selon lequel les sujets ne portent pas de jugements sur leurs sensations, mais sur le *stimulus* lui-même. On peut également rappeler les conclusions de Borg, Bratfish et Dornic (1971b, 1971c), sur l'influence des caractéristiques du *stimulus* sur la perception de la difficulté. Il faudrait néanmoins expliquer comment les sujets peuvent prendre en compte la quantité moyenne d'information véhiculée par la tâche, qui n'est jamais qu'une abstraction mathématique.

Si l'on retient à l'inverse l'hypothèse de l'existence d'une variable intermédiaire, fonctionnellement intercalée entre difficulté objective et difficulté perçue, le problème est d'en déterminer la nature. La performance semble pouvoir de son côté difficilement revendiquer ce rôle. Même si l'on décrit une relation exponentielle entre difficulté objective et performance moyenne, et qu'une relation puissance semble envisageable entre performance moyenne et difficulté perçue, cette dernière relation paraît trop inconsistante au regard de nos données expérimentales, surtout face à la netteté de la relation difficulté objective-difficulté perçue. L'invariance des relations de la première à la seconde expérience, alors que dans les tâches de recherche visuelle la performance est extrêmement variable d'un essai à l'autre, tend à valider l'hypothèse que nous formulions plus haut: la performance est une variable latérale, corrélée mais inessentielle dans la perception de la difficulté. Il n'en demeure pas moins que la performance, au vu des relations qu'elle entretient avec la difficulté objective et la difficulté perçue, pourrait varier linéairement avec cette variable intermédiaire et donc en constituer une mesure relativement précise.

Ces considérations nous amènent au concept de charge de travail. Selon Welford (1977), cette charge peut être exprimée "*comme le rapport des exigences de la tâche à la capacité maximale moyenne de l'opérateur*" (p.284). Cette définition est proche de ce que nous avons appelé difficulté relative. La charge détermine l'investissement de ressources nécessaire à l'atteinte du but (Navon et Gopher, 1979, 1981). Dans le cadre des expériences que nous avons mené, c'est-à-dire avec une tâche unique et une consigne de rapidité maximale, et dans la mesure où nous ne cherchons qu'un indice comparatif pour différentes modalités d'exécution d'une même tâche, la performance, exprimée en temps de réponse ou temps moteur, constitue une mesure valide de la charge de travail (Leplat, 1977; Welford, 1977).

Charge de travail et temps requis étant donc linéairement liés, la charge serait donc une transformation exponentielle de la quantité moyenne d'information à traiter. Dans ce sens, on pourrait avancer l'hypothèse selon laquelle le *stimulus* pertinent dans la perception de la

difficulté serait la charge de travail. La figure 5.13. propose une modélisation de ces hypothèses.

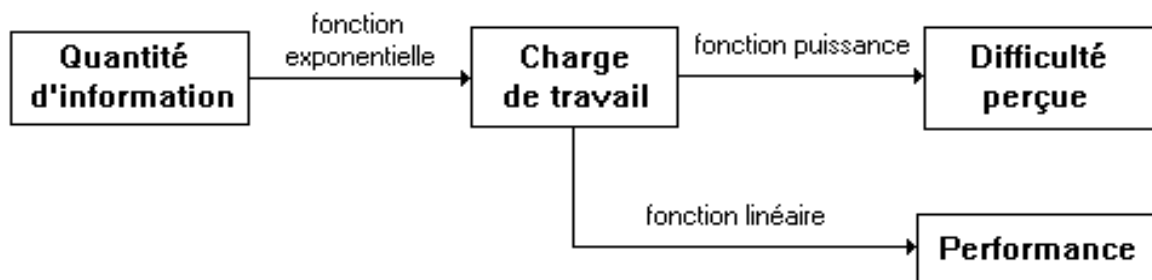


Figure 5.13.: Modélisation hypothétique des relations entre quantité d'information et difficulté perçue.

Ceci peut permettre d'établir une analogie avec les travaux réalisés dans le cadre de 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 liés (Gamberale, 1972; Borg *et al.*, 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 & Goldbarg, 1971; Robertson, 1982; Cafarelli, Cain, & Stevens, 1977). Nous avons par ailleurs montré (cf. Chapitre 2.3.1.) que les différences constatées par Borg *et al.* (1987) dans les exposants caractérisant les relations intensité-effort perçue en fonction du type d'activité (pédalage, course ou marche) disparaissent si l'on prend pour échelle des *stimuli* la fréquence cardiaque. Que ce soit au niveau de la dimension énergétique ou à celui de la dimension bio-informationnelle, 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.

Dans cette logique, la perception de la difficulté d'une tâche pourrait se baser sur l'évaluation de la charge moyenne occasionnée par les essais successifs réalisés. Nos expériences précédentes néanmoins ne se prêtent qu'imparfaitement à la vérification de cette hypothèse. Entropie, temps requis et performance entretiennent de telles corrélations qu'il est difficile de conclure de manière définitive. En outre, l'absence de pression temporelle imposée rend aléatoire le recours à la notion de charge de travail (Moray, 1982; Paillard, 1990). Nous allons dans le chapitre suivant mettre à l'épreuve nos hypothèses, dans le cadre d'une tâche à allure imposée.

PRESSION TEMPORELLE, CHARGE MENTALE ET DIFFICULTE PERÇUE

Divers travaux évoquent l'importance de la pression temporelle dans la perception de la difficulté. Dornic et Stone (1974) montrent qu'à niveau de performance équivalent, une tâche est perçue comme plus difficile si elle doit être réalisée à allure imposée qu'à allure libre. 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 de la difficulté perçue.

En outre ces tâches sous pression temporelle se révèlent propices à l'opérationnalisation du concept de charge mentale. Selon Welford (1977), "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" (p.284). Cette mesure est intéressante car elle intègre dans un indice unique la quantité moyenne d'information à traiter, déterminant le temps requis, et le temps disponible. Ce principe de mesure a été retenu par la plupart des auteurs travaillant sur cette problématique (Moray, 1982; Jex, 1988; Reid et Nygren, 1988).

Reprenons les deux hypothèses en concurrence: selon la première, la perception de la difficulté est basée sur une évaluation de la difficulté objective, c'est-à-dire de la quantité moyenne d'information à traiter. Dans le cadre des tâches avec pression temporelle, ceci reviendrait à supposer que le sujet se base sur l'évaluation du rapport quantité d'information sur temps disponible, c'est-à-dire sur la quantité d'information à traiter par unité de temps. La difficulté objective pourrait être mesurée de la manière suivante: si I représente la quantité d'information et TD le temps disponible pour la traiter, alors

$$DO=I/TD$$

La seconde hypothèse considère que c'est la charge mentale qui constitue le stimulus pris en compte par les sujets. Cette dernière étant définie par le rapport temps requis sur temps disponible, on a

$$CM= Treq/TD$$

Ces deux équations recèlent un paradoxe: en effet quelle que soit la forme de la relation quantité d'information-temps requis, les paramètres de la relation difficulté objective-charge mentale seront liés au temps disponible. Par exemple, dans l'hypothèse d'une relation linéaire entre I et Treq.,

$$T_{req} = aI + b$$

$$CM = (a/TD)I + (b/TD).$$

Dans ce sens, il n'y aura de relation monotone entre difficulté objective et charge mentale qu'à temps disponible constant. Donc sur un ensemble de tâches croisant divers niveaux de quantité d'information et de temps disponible, on ne pourra décrire une fonction monotone unique liant les deux échelles. Certaines tâches, de difficulté objective égale, pourront déboucher sur des niveaux théoriques de charge mentale différents. Ce paradoxe ne repose évidemment que sur la définition que nous avons proposé plus haut pour la difficulté objective. Afin d'éviter tout malentendu, nous mettrons dorénavant ce terme entre guillemets.

Ceci va donc entraîner une altération de la corrélation par les rangs entre l'échelle de "difficulté objective" et l'échelle de charge mentale. Or, dans une expérience de psychophysique, pour peu que les différents niveaux du stimulus soient suffisamment discriminables, on doit trouver une corrélation par les rangs élevée entre l'échelle des stimuli et celle des sensations. Dans les tâches unidimensionnelles que nous avons utilisées jusqu'à présent, ce postulat n'était que de peu d'utilité, puisque les corrélations par les rangs entre difficulté objective, performance et difficulté perçue étaient systématiquement égales à 1. Mais puisque dans le cas présent les deux continua de stimuli potentiels ne sont pas liés de manière monotone, on peut faire l'hypothèse que l'échelle qui présentera la plus forte corrélation par les rangs avec la difficulté perçue constituera le stimulus pris en compte par les sujets.

METHODE.

Population. 19 sujets (âge moyen 29.6, écart-type 11.2) participent à l'expérience. Tous sont droitiers et ne savent pas taper à la machine.

Dispositif expérimental. 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. On utilise trois caches, notés de A à C, correspondant respectivement à la mise en jeu d'un clavier à 2, 4, et 8 lettres. Afin d'éviter des artefacts 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 6.1.).

Les lettres apparaissent successivement et dans un ordre aléatoire au centre de l'écran. Ces apparitions se succèdent 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. Ces données permettent pour chaque tâche de calculer la quantité moyenne d'information à traiter (I), ainsi que la "difficulté objective", définie comme la quantité moyenne d'information à traiter par unité de temps (I/TD). Le tableau 6.1. donne le descriptif des 15 tâches expérimentales.

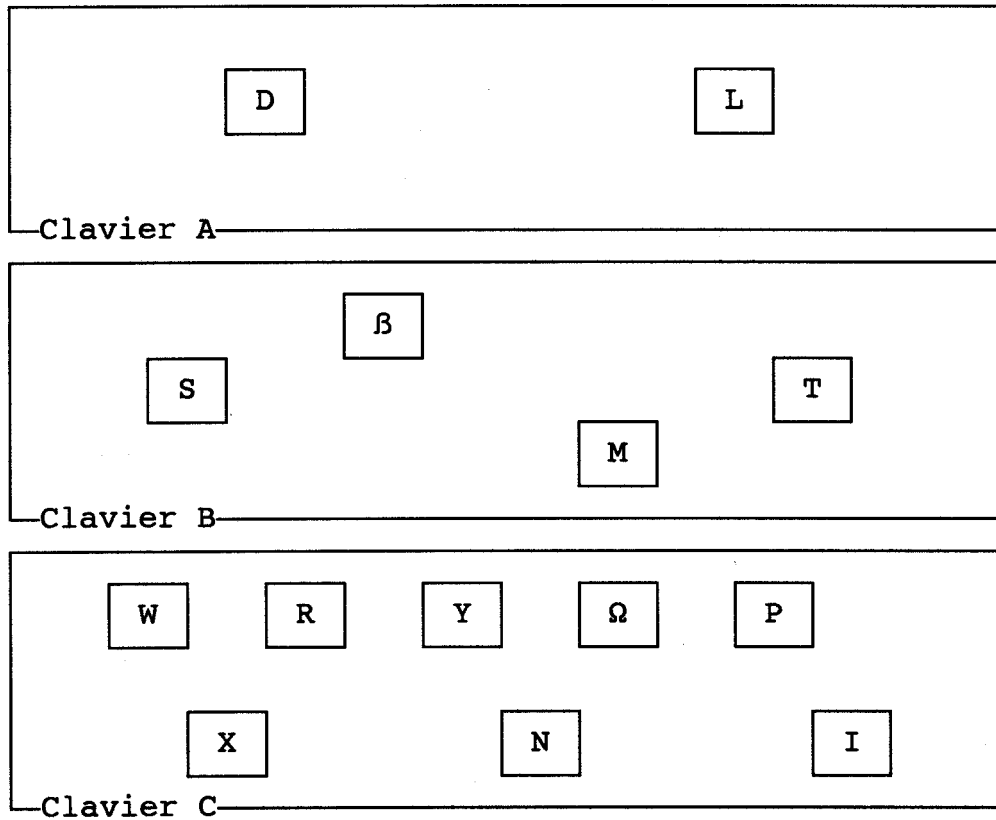


Figure 6.1.: Description des trois claviers utilisés.

Tâche	n	TD (sec)	I (bits)	I/TD (bits/s)
A1	2	1.078	1	0.928
A2	2	.980	1	1.020
A3	2	.862	1	1.160
A4	2	.754	1	1.325
A5	2	.647	1	1.546
B1	4	1.078	2	1.856
B2	4	.980	2	2.041
B3	4	.862	2	2.320
B4	4	.764	2	2.651
B5	4	.647	2	3.093
C1	8	1.078	3	2.783
C2	8	.980	3	3.061
C3	8	.862	3	3.479
C4	8	.764	3	3.976
C5	8	.647	3	4.639

Tableau 6.1.: Descriptif des tâches expérimentales.

Les sujets doivent frapper les touches correspondant aux lettres qui se succèdent à l'affichage. Les lettres se succèdent par séries de 10. Le dispositif expérimental permet de relever, pour chaque lettre, le temps séparant son apparition de la frappe de la touche correspondante.

Protocole. Les sujets réalisent chacune des 15 tâches (une série de 10 lettres pour chaque tâche). On leur demande de répondre le plus vite possible, mais de ne commettre aucune erreur. Si l'on enregistre plus d'une erreur sur les dix lettres, on recommence une autre série.

On procède à l'évaluation de la difficulté 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. L'ordre de passation est systématiquement varié entre les sujets. Le sujet peut en outre revenir aussi souvent qu'il le désire à la tâche-étalon.

RESULTATS.

On calcule, pour chaque tâche, le score moyen de difficulté perçue (Tableau 6.2.). Par la méthode des moindres carrés, on recherche l'ajustement de la relation entre la "difficulté objective" et la difficulté perçue. Le meilleur ajustement est linéaire (Figure 6.2.):

$$DP = (.470) + (10.765)(I/TD) \quad (r=.946)$$

L'ajustement exponentiel offre néanmoins une alternative plausible:

$$DP = (9.016) * e^{(.402)(I/TD)} \quad (r=.939)$$

Le coefficient de corrélation par les rangs (Spearman) entre les deux distributions est $r_1=.939$.

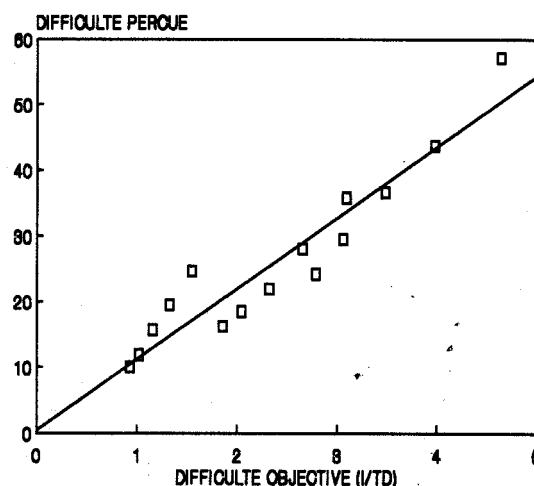


Figure 6.2.: Relation entre la "difficulté objective" (I/TD) et la difficulté perçue, dans la tâche de recherche visuelle sous pression temporelle.

Tâche	Difficulté perçue	
	Moyenne	Ecart-type
A1	10.00	0.00
A2	11.84	1.56
A3	15.63	3.31
A4	19.47	5.66
A5	24.63	10.75
B1	16.16	4.40
B2	18.47	5.14
B3	21.95	7.18
B4	28.05	12.42
B5	35.84	19.38
C1	24.21	9.60
C2	29.53	14.95
C3	36.68	17.99
C4	43.68	20.74
C5	57.16	31.14

Tableau 6.2.: Scores moyens de difficulté perçue et écart-type, pour chacune des 15 tâches expérimentales.

On calcule, pour chaque tâche, le temps moyen de réponse (Trep.). Ces données sont présentées dans le tableau 6.3.

Tâches	Trep.	Tâches	Trep.	Tâches	Trep.
A1	.393	B1	.507	C1	.686
A2	.407	B2	.507	C2	.690
A3	.393	B3	.489	C3	.682
A4	.404	B4	.500	C4	.693
A5	.396	B5	.508	C5	.683
Moyenne	.398	Moyenne	.502	Moyenne	.687

Tableau 6.4.: Temps de réponse moyens (en secondes) par tâche et moyenne par niveau de quantité d'information.

Une analyse de variance à deux facteurs 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 de réponse (cf. tableau 6.5.). Le temps requis semble dépendre uniquement de la quantité moyenne d'information à traiter.

	Somme des carrés	ddl	Carrés moyens	F
Quantité d'information	4.054	2	2.027	794.916
Temps disponible	.006	4	.002	.583
Interaction	.004	8	.000	.187
Erreur	.688	270	.003	

Tableau 6.5.: Analyse de la variance du temps requis, en fonction de la quantité d'information et du temps disponible.

A partir des valeurs expérimentales moyennes des temps de réponse, on construit l'échelle des rapports temps requis/temps disponible (Treq./TD, Tableau 6.6.). La recherche du meilleur ajustement entre Treq./TD et DP donne l'équation de régression suivante (Figure 6.3.):

$$DP = (52.584) * (Treq./TD)^{1.608} \quad (r=.997).$$

Tâche	Treq./TD	Tâche	Treq./TD	Tâche	Treq./TD
A1	0.364	B1	0.469	C1	0.636
A2	0.415	B2	0.517	C2	0.704
A3	0.455	B3	0.567	C3	0.791
A4	0.535	B4	0.663	C4	0.919
A5	0.612	B5	0.786	C5	1.056

Tableau 6.6.: Rapport temps requis/temps disponible, pour les 15 tâches expérimentales.

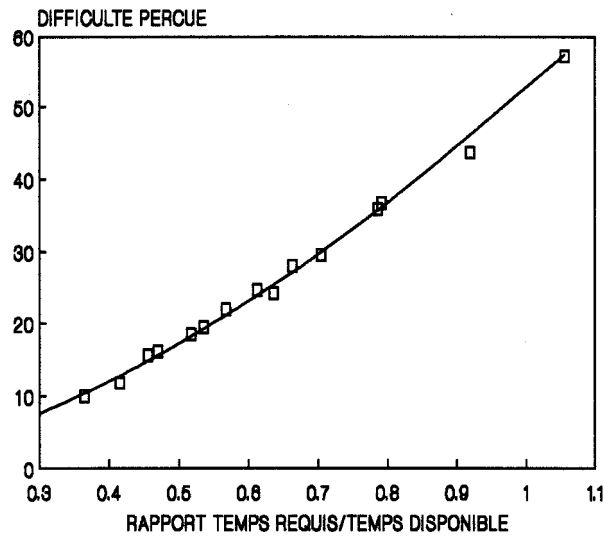


Figure 6.3.: Relation entre le rapport temps requis/temps disponible et la difficulté perçue.

La corrélation par les rangs (Spearman) entre les deux distributions est $r_2 = .993$. Afin de tester la signification des différences observées entre les coefficients de corrélations r_1 et r_2 , nous utilisons la méthode proposée par Snedecor et Cochran (1967). Cette méthode consiste dans un premier temps à transformer les coefficients en données Z_r , selon la formule:

$$Z_r = (\log(1+r/1-r))/2$$

Soit $r_1 = .939$ $Z_{r1} = 1.730$

et $r_2 = .993$ $Z_{r2} = 2.826$

On calcule ensuite, pour chaque couple (r_a, r_b) , une statistique t, selon la formule:

$$t_{r_a, r_b} = (Z_{r_a} - Z_{r_b}) / S_{z_{r_a} - z_{r_b}}$$

avec $S_{z_{r_a} - z_{r_b}} = \sqrt{[(1/(n_a - 3)) + (1/(n_b - 3))]}$

n_a et n_b représentant les effectifs des échantillons impliqués dans le calcul des coefficients r_a et r_b .

t_{r_a, r_b} suivant une distribution de Student, on peut en apprécier la signification, pour un nombre de degrés de liberté égal à $(n_a - 3) + (n_b - 3)$. On trouve le résultat suivant:

$$t_{r_1, r_2} = 2.685 \quad (\text{ddl} = 24, p < .025)$$

La corrélation par les rangs est significativement plus élevée entre difficulté perçue et charge mentale qu'entre difficulté perçue et "difficulté objective".

Par ailleurs, nous avons pu montrer (Delignières, 1990) qu'il était possible de calculer un indice de difficulté objective, selon la formule:

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

b représentant l'exposant de la fonction $f(I) = T_{req}$.

La difficulté objective ainsi calculée retrouve les propriétés qui était celle de la quantité moyenne d'information dans les expériences précédentes (corrélation par les rangs maximale avec la charge mentale, relation exponentielle avec la charge mentale et la difficulté perçue). Outre qu'elle permet d'entrevoir les modalités d'une manipulation rationnelle des caractéristiques objectives de ce type de tâche, cette équation conduit à jeter encore plus de doute sur l'hypothèse selon laquelle la difficulté objective pourrait constituer le stimulus dans la perception de la difficulté.

Cette expérience est compatible avec l'idée que le stimulus pris en compte par les sujets est bien une variable intermédiaire, rendant compte de la charge que représente pour le système le traitement de l'information nécessaire à l'exécution de la tâche. Mais si nous avons à présent quelque certitude sur le niveau de cette variable, il nous est encore difficile d'en préciser la nature. Car tout ce que nos résultats mettent en évidence, c'est une relation entre la charge mentale moyenne, pour un groupe de sujets, et les scores moyens de difficulté perçue. Ceci ne suffit évidemment pas pour conclure que le stimulus pris en compte est la charge mentale, au niveau individuel. Nous examinerons ce point dans le chapitre suivant.

Enfin, cette expérience montre que la difficulté perçue est un jugement totalisant sur l'investissement requis par la tâche, rendant compte à la fois du traitement informationnel et de la pression temporelle. Dès lors on peut se demander l'intérêt des investigations multidimensionnelles, distinguant notamment des échelles de difficulté et des échelles de pression temporelle (Reid et Nygren, 1988; Hart et Staveland, 1988). Il peut certes être intéressant de montrer que ces dimensions peuvent être dissociées par les sujets. Certaines approches multidimensionnelles peuvent également apporter quelques renseignements sur la nature des processus mis en jeu dans les tâches utilisées (voir par exemple le travail de Dornic et Andersson (1980) sur la distinction entre effort mental et difficulté). Elles peuvent également permettre d'apprécier le poids subjectif des différentes dimensions dans la construction d'un sentiment global de difficulté (voir par exemple Delignières, Famose, Thépaut-Mathieu et Fleurance (1991), sur les contributions respectives de l'effort et de la précision requise). Mais ces distinctions subtiles ne relèvent à notre sens que du "forçage introspectif" lié aux méthodes d'investigations psychophysiques. En tant que représentation fonctionnelle, la difficulté perçue demeure un jugement intuitif et totalisant.

DIFFICULTE PERÇUE ET ALLOCATION DE RESSOURCES.

Il subsiste dans nos résultats un paradoxe: dans les deux expériences que nous avons présentées au chapitre 5, on peut considérer que le temps de réponse constitue une mesure acceptable de la charge de travail. Lors de la réalisation d'une série d'essais sur une même tâche, le temps moyen de réponse serait une mesure de la charge moyenne, variable qui constituerait le *stimulus* pris en compte par les sujets dans la perception de la difficulté. Cette hypothèse semble néanmoins invalidée par l'inconsistance des fonctions individuelles d'ajustement performance moyenne-difficulté perçue. Tout semble se passer comme si le *stimulus* pris en compte par les sujets n'était pas la charge actuelle de travail, mais une charge moyenne théorique, déterminée par la quantité moyenne d'information à traiter et les caractéristiques du système de traitement.

7.1. CHARGE ACTUELLE ET CHARGE MOYENNE.

Nous avons réalisé une expérience dans le but de vérifier cette hypothèse. On peut considérer que l'on peut approcher une mesure de cette charge moyenne théorique, si l'on dispose des scores de performance d'un groupe d'effectif conséquent et/ou réalisant un grand nombre d'essais sur chacune des tâches expérimentales (nous l'appellerons groupe standard). C'est notamment la procédure employée par Borg et Forsling (1964), Bratfisch, Dornic et Borg (1972), Hallsten et Borg (1975), dans leurs travaux sur la perception de la difficulté. Il est alors possible d'étudier les corrélations entre d'une part, les scores individuels de difficulté perçue, et d'autre part les scores individuels de performance et les scores moyens de performance du groupe standard. Nous faisons l'hypothèse que les scores individuels de difficulté perçue présenteront une corrélation significativement plus élevée avec les scores moyens du groupe standard, qu'avec les scores individuels de performance.

METHODE.

Population. 15 sujets (âge moyen 33.8, écart-type 7.1) participent à l'expérience. Ils sont tous droitiers et ne savent pas taper à la machine.

Dispositif expérimental. Nous avons recours aux tâches de recherche visuelle, qui ont été précédemment décrites (cf. Chapitre 5.3.). Rappelons qu'il s'agit, à l'apparition d'une lettre sur l'écran d'un ordinateur, de frapper le plus vite possible la touche correspondante. Nous utilisons les cinq niveaux de difficulté, correspondant à 2, 4, 8, 16 et 32 lettres possibles. La difficulté objective correspondante est donc respectivement de 1, 2, 3, 4 et 5.

Nous disposons par ailleurs, suite à nos diverses expériences sur ce dispositif expérimental, des données de performance de 63 sujets (âge moyen 33.5, écart-type 6.5), qui ont chacun réalisé 20 essais à chaque niveau de difficulté (1260 données par niveau). Ces sujets constituent notre groupe standard (Tableau 7.1.).

Tâche	Performance (sec)	
	Moyenne	Ecart-type
A	.622	.110
B	.726	.142
C	.922	.264
D	1.189	.577
E	1.563	1.032

Tableau 7.1.: Performances moyennes du groupe standard, sur les cinq niveaux de difficulté.

Protocole. Les sujets réalisent dix essais à chaque niveau de difficulté. On a choisi de travailler sur un nombre réduit d'essais de manière à ce que les sujets puissent prendre en compte l'ensemble de leurs tentatives successives dans l'appréciation de la difficulté. Il leur est demandé d'aller le plus vite possible, mais de ne pas commettre d'erreur. Au terme de la série, on leur demande d'évaluer la difficulté de la tâche, en se basant sur l'échelle de catégorie DP-15 (cf. Chapitre 4). L'ordre de passation est systématiquement varié entre les sujets.

RESULTATS.

On trouvera dans le tableau 7.2. les scores individuels et moyennés de difficulté perçue et de performance, pour chaque niveau de difficulté.

On recherche, par la méthode des moindres carrés, la fonction d'ajustement de la relation entre la quantité moyenne d'information à traiter et les scores moyens de difficulté perçue. Le meilleur ajustement est linéaire (Figure 7.1.):

$$DP = (2.203)I + .703 \quad (r = .997)$$

Ce résultat confirme ceux qui ont été obtenus précédemment avec l'échelle DP-15 (cf. Chapitre 4).

Tâche	A		B		C		D		E	
Sujet	DP	Perf	DP	Perf	DP	Perf	DP	Perf	DP	Perf
1	4	.672	6	.726	8	1.015	8	1.042	12	1.774
2	3	.586	5	.722	8	.990	10	1.276	13	1.537
3	2	.801	4	.836	7	1.155	10	1.310	14	1.736
4	4	.580	5	.752	8	1.036	10	1.270	11	1.457
5	4	.826	5	.968	7	1.064	10	1.266	10	1.526
6	4	.595	8	.726	9	1.001	10	1.230	11	1.395
7	3	.570	5	.652	8	.750	10	.940	12	.982
8	2	.749	3	.859	6	.848	8	1.113	12	1.529
9	4	.639	5	.751	6	.870	10	1.237	12	2.419
10	2	.644	4	.719	5	1.001	8	1.197	10	1.636
11	2	.661	4	.724	6	.920	10	1.236	14	1.364
12	2	.714	4	.876	6	.979	10	1.201	14	1.468
13	4	.807	6	.954	7	1.047	8	1.340	10	1.194
14	1	.780	6	1.024	6	1.124	12	1.256	14	1.432
15	6	.780	6	.884	7	1.016	8	1.116	10	1.592
Moy.	3.13	.694	5.07	.812	6.93	.988	9.50	1.202	11.9	1.536
E.T.	1.30	.091	1.22	.111	1.10	.105	1.15	.107	1.58	.314

Tableau 7.2.: Scores individuels de difficulté perçue (DP) et performances moyennes individuelles (en secondes) pour chacune des 5 tâches expérimentales. En bas, scores moyens de difficulté perçue et de performance du groupe expérimental.

Par ailleurs, le meilleur ajustement pour la relation quantité d'information-performance moyenne est une fonction exponentielle:

$$\text{PERF} = (.554) * e^{(.198)I} \quad (r=.997)$$

Ce résultat concorde lui aussi avec ceux précédemment obtenus (Chapitres 5 et 6).

On calcule les coefficients de corrélation entre la distribution des scores individuels de difficulté perçue d'une part, et d'autre part:

- La distribution des performances moyennes individuelles du groupe expérimental, sur les tâches correspondantes: $r_1=.819$;

- La distribution des performances moyennes du groupe standard sur les tâches correspondantes: $r_2=.918$;

- La quantité moyenne d'information: $r_3=.927$.

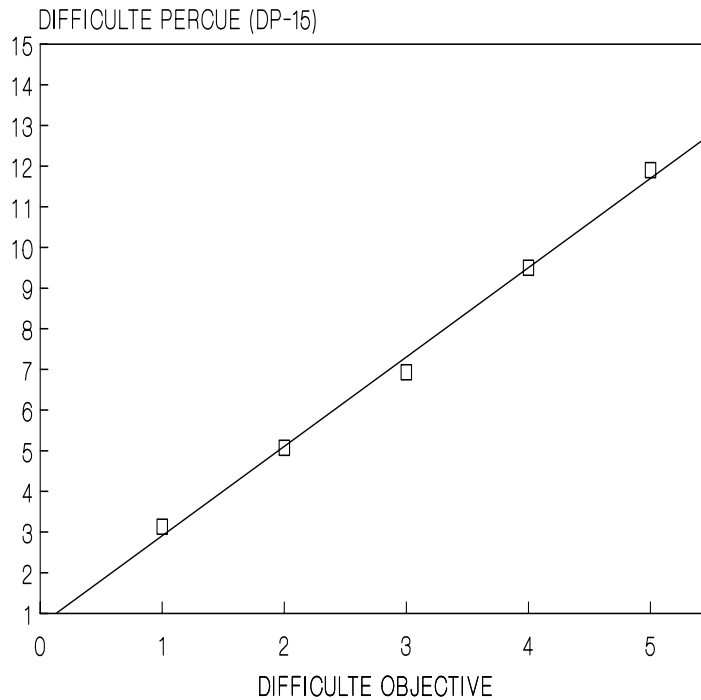


Figure 7.1.: Relation quantité moyenne d'information/difficulté perçue. La difficulté perçue est évaluée au moyen de l'échelle de catégories DP-15. Ajustement linéaire: $DP = (2.203)I + .703$, $r = .997$.

Afin d'évaluer la signification des différences observées entre ces coefficients de corrélations, nous utilisons le test de Snedecor et Cochran (1967), présenté plus haut. La transformation des coefficients en données réduites donne les résultats suivants:

$$Z_{r1} = 1.155$$

$$Z_{r2} = 1.578$$

$$Z_{r3} = 1.639$$

On calcule les statistiques t pour la comparaison deux à deux des coefficients:

$$t_{r1,r2} = 2.54 \quad (\text{ddl}=144, p < .025)$$

$$t_{r1,r3} = 2.90 \quad (\text{ddl}=144, p < .005)$$

$$t_{r2,r3} = .37 \quad (\text{ddl}=144, \text{NS})$$

Les scores individuels de difficulté perçue corréler davantage avec la difficulté objective des tâches, ou avec les performances moyennes du groupe standard, qu'avec les performances individuelles.

Ce résultat montre l'indépendance de la difficulté perçue, vis-à-vis des performances effectivement réalisées. Dans cette tâche de recherche visuelle, nous avons vu que la performance est extrêmement variable d'un essai à l'autre (Chapitre 5.3., Tableau 5.10.). La performance n'entretient qu'un rapport probabiliste avec la difficulté objective (Holender, 1975; Luce, 1986). C'est à l'inverse un rapport quasi-mathématique que semble entretenir avec la difficulté objective cette variable intermédiaire dont nous tentons de cerner la nature.

Tout se passe comme si, face à la quantité moyenne d'information véhiculée par la tâche, le système allouait *a priori* une certaine quantité de ressources. Cette quantité de ressources apparaît comme une transformation exponentielle de l'entropie caractérisant la tâche. En fonction des *stimuli* qui apparaîtront réellement (par exemple une lettre déjà bien repérée sur le clavier, ou à l'inverse une lettre excentrée et rare), cette première allocation pourra se révéler superflue, ou à l'inverse insuffisante. Néanmoins c'est sur cette allocation *a priori* de ressources que semble se baser la perception de la difficulté. La figure 7.2. tente de rendre compte de ces hypothèses: pour répondre aux exigences de la tâche, le sujet allouerait une certaine quantité de ressources. Cette allocation déterminerait d'une part la performance réalisée, et d'autre part, mais de manière parallèle, la difficulté perçue.

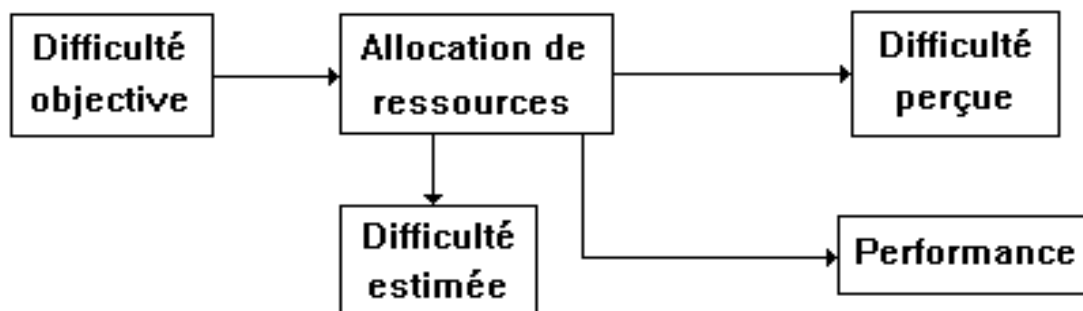


Figure 7.2.: Modélisation hypothétique du rôle de l'allocation de ressources dans la perception de la difficulté.

La relation investissement de ressources-performance a été étudiée par divers auteurs (Norman et Bobrow, 1975; Kantowitz et Knight, 1978; Navon et Gopher, 1979, 1981). D'une manière générale, et en fonction d'un principe d'efficacité, la performance croît de manière monotone avec l'investissement en ressources (Kantowitz et Knight, 1978). Norman et Bobrow (1975) estiment néanmoins nécessaire de distinguer les processus limités par les ressources, au niveau desquels on retrouve cette liaison monotone, et les processus limités par les données, pour lesquels la performance est indépendante de l'investissement. Si notre modèle est valide, on devrait trouver une forte corrélation entre difficulté perçue et performance si les processus concernés sont limités par les ressources. C'est le cas pour l'ensemble de nos expériences, où une corrélation de ce type est systématiquement mise en évidence. Par contre, si les processus sont limités par les données (l'exemple le plus fréquemment avancé concerne les tâches de perception avec un faible rapport signal/bruit), on devrait observer une dissociation entre les deux variables.

Notre modèle se rapproche à ce niveau des propositions de Kantowitz et Knight (1978), pour lesquels la difficulté n'est pas une caractéristique intrinsèque de la tâche, mais une caractéristique inférée de l'activité du sujet. Selon les auteurs, c'est en fonction du niveau de ressources investi que la *performance* pourra être définie comme facile ou difficile: la difficulté va s'accroître de manière monotone avec l'investissement en ressources nécessaire pour atteindre un niveau donné de performance.

Nous avons également fait apparaître dans ce modèle la difficulté estimée. Rappelons que nous entendons par là une évaluation *a priori* de la difficulté, avant réalisation la tâche. On retrouve l'idée d'une liaison fonctionnelle entre difficulté estimée et investissement de ressources chez Kukla (1972). Néanmoins selon Kukla, c'est l'estimation de la difficulté qui détermine l'investissement, et non l'inverse. Cette contradiction ne nous semble qu'apparente. Ce que nous appelons ici difficulté estimée, c'est une évaluation verbale réalisée par le sujet, avant réalisation de la tâche. Si nous considérons que cette évaluation est déterminée par l'allocation de ressources, c'est que nous avons pu montrer qu'elle obéissait aux mêmes principes que la difficulté perçue: notamment la difficulté estimée, évaluée selon la méthode d'estimation des grandeurs, apparaît comme une transformation exponentielle de la quantité moyenne d'information à traiter (Delignières, 1990). Ceci n'exclut pas que l'allocation de ressources soit elle-même déterminée par des représentations de la difficulté et de l'habileté propre du sujet, selon la logique développée par Kukla. Mais il s'agirait alors de représentations fonctionnelles, de nature infra-verbale, dont la logique d'élaboration demeure à déterminer.

Si ce modèle est valide, on peut s'attendre à ce que la difficulté estimée corrèle fortement avec la difficulté perçue. Nous avons pu vérifier cette hypothèse au cours de deux expériences (Delignières, 1990). Dans la première, les sujets évaluaient *a priori* la difficulté de 16 tâches de pointage de Fitts, selon l'échelle de catégories DP-15. Ils réalisaient ensuite chacune des tâches et en cotaient immédiatement la difficulté, selon la même échelle. On a observé une corrélation de .993 entre difficulté estimée et difficulté perçue. Dans une seconde expérience, nous avons demandé à 18 sujets de coter, avant et après pratique, la difficulté de 27 tâches d'escalade sur structure artificielle. On trouve une corrélation de .994 entre difficulté estimée et difficulté perçue.

7.2. DIFFICULTE PERÇUE, ALLOCATION DE RESSOURCES ET PERFORMANCE.

Ce modèle permet plusieurs types de prédictions. Tout d'abord, avec l'apprentissage, le sujet peut atteindre le même niveau de performance dans la tâche avec un investissement moindre de ressources (Leplat, 1987; Famose, 1990). L'installation de l'habileté doit donc s'accompagner d'une baisse du niveau de difficulté perçue. Ceci offre une possible lecture du résultat obtenu par Bratfisch, Dornic et Borg (1970) dans l'expérience portant sur l'évolution de la difficulté perçue avec la pratique dans une tâche motrice (Chapitre 5.1.).

Une autre prédiction peut être faite: soient deux sujets A et B confrontés à une même tâche. On suppose que les deux sujets possèdent une habileté similaire dans la tâche. Néanmoins le sujet A estime la tâche comme difficile, le sujet B l'estime à l'inverse facile. En conséquence, le sujet A va investir davantage de ressources et va obtenir de meilleures performances que le sujet B. Malgré tout, si l'on demande à ces sujets une évaluation *a posteriori* de la difficulté de la tâche, le sujet A doit la trouver plus difficile que le sujet B, s'il est vrai que cette évaluation repose sur la quantité de ressources investie.

Nous avons tenté de tester cette prédiction dans le cadre d'une série de recherche que nous menons sur l'influence de la dépense énergétique sur le traitement de l'information. Dans une première expérience (Legros, Delignières, Durand et Brisswalter, 1992), nous avons étudié l'incidence sur les temps de réaction simple et de choix de la réalisation simultanée d'une course sur tapis roulant à 90% et 125% de VO₂max, auprès d'une population de

basketteurs de haut-niveau. Les résultats indiquent une détérioration du temps de réaction simple à l'exercice, mais à l'inverse une amélioration du temps de réaction de choix. Cette amélioration doit cependant être relativisée par l'augmentation du pourcentage d'erreurs.

Durand, Bourrier et Legros (1991) étudient les effets sur le temps de réaction simple et de choix de la réalisation simultanée d'une tâche de pédalage sur cycloergomètre, à 35%, 60% et 90% de VO₂max, auprès d'une population d'étudiantes en Education Physique et Sportive. Globalement l'expérience ne démontre aucun effet de l'exercice sur les performances dans les tâches de temps de réaction. Mais une analyse *a posteriori* indique que les sujets spécialistes en sports collectifs améliorent leurs performances en temps de réaction de choix à haut niveau d'effort. Cette amélioration s'accompagne d'un accroissement du nombre d'erreurs. Par contre chez les sujets expertes dans d'autres types de spécialités (athlétisme, gymnastique), l'effort n'a aucune influence, ni sur le TR ni sur le pourcentage d'erreurs.

Les modèles classiquement invoqués pour rendre compte de ce type d'expériences sont organisés autour de la notion d'activation: l'exercice physique induirait une élévation de l'activation proportionnelle à son intensité, qui entraînerait en retour une modulation de la performance dans la tâche ajoutée, selon la théorie classique du U-inversé (Burgess et Hokanson, 1961; Davey, 1973; Salmela et NDoyle, 1986; Sjöberg, 1968; Stauffacher, 1937). Ce modèle à optimum se révèle néanmoins incapable de rendre compte d'une amélioration de la performance à haut niveau de dépense énergétique.

Une autre hypothèse concernerait l'adoption, chez les sujets experts en sports collectifs, de stratégies risquées, privilégiant la vitesse au détriment de la précision (Durand, Bourrier et Legros, 1991). Cette hypothèse, étayée par l'accroissement du pourcentage d'erreurs constaté dans les situations de temps de réaction de choix, est sans doute partiellement valide. Mais rien ne permet d'assurer qu'elle rend compte totalement de l'amélioration du temps de réaction.

Si l'on admet qu'il y a réellement amélioration des performances chez les sujets spécialistes de sports collectifs, on peut supposer qu'il y a eu accroissement de la quantité de ressources allouées à la tâche de temps de réaction. L'hypothèse précédente de l'échange entre vitesse et précision est fondée sur l'idée d'une limitation absolue des capacités de traitement. Une autre hypothèse, non exclusive par ailleurs, considérerait le système comme fondamentalement conservateur (Kantowitz et Knight, 1976): même si dans l'absolu les ressources sont limitées, le système ne les allouerait jamais en totalité, conservant une capacité résiduelle. Une amélioration des performances pourrait être expliquée par un recours à ce réservoir de ressources.

Si cette hypothèse est valide, le corollaire suivant doit être vérifié: les sujets ayant investi davantage de ressources devraient percevoir les tâches comme plus difficiles. Afin de tester ce modèle, nous avons réalisé une expérience, en collaboration avec J. Brisswalter et P. Legros.

METHODE.

Sujets. 40 sujets participent à l'expérience. Ils sont divisés en deux groupes:

Le premier groupe est constitué de 20 escrimeurs de haut-niveau et maîtres d'armes (17 hommes et 3 femmes, âge moyen 24.0, écart-type 8.3). On considère que ce groupe est constitué d'experts dans les tâches de temps de réaction sous contrainte énergétique.

Le second groupe est constitué de 20 sujets (11 hommes et 9 femmes, âge moyen 23.3, écart-type 5.5), ne possédant aucune expertise particulière dans ce type de tâche.

Dispositif expérimental. La tâche de pédalage est réalisée sur un cycloergomètre *Ergomeca*. Pour les tâches de temps de réaction, le dispositif est constitué d'un micro-ordinateur, auquel sont reliés deux *joysticks* (poignées de jeux). Ces poignées sont fixées en avant du guidon du cycloergomètre. Le sujet pose ses coudes sur des supports spéciaux fixés sur le guidon. L'ensemble du dispositif peut être adapté à la morphologie de chaque sujet (Figure 7.3.).

La tâche consiste à répondre à l'apparition d'un signal sur l'écran par l'abaissement du *joystick* dans la direction appropriée, selon un code défini à l'avance. Un certain nombre de carrés vides sont tracés à l'écran, en jaune sur fond bleu. Le sujet doit répondre lorsque l'un des carrés devient plein, de couleur rouge. On utilise 3 niveaux de difficulté, avec 1, 2, ou 4 carrés apparaissant à l'écran. Les codes de réponse sont schématisés dans la figure 7.4.

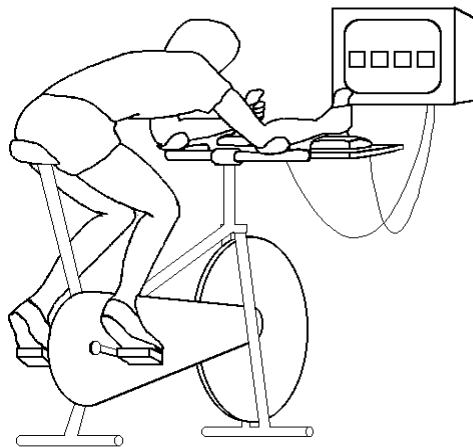


Figure 7.3.: Dispositif expérimental.

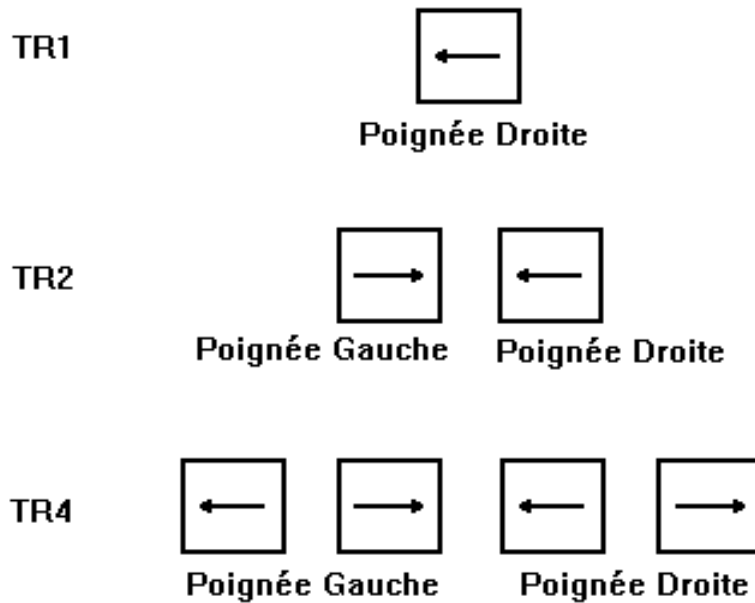


Figure 7.4.: Procédures de réponse, dans les trois tâches de temps de réaction.

Protocole. La détermination de la puissance maximale aérobie a lieu au cours d'un protocole triangulaire, au cours duquel la puissance de pédalage s'élève toutes les minutes de 35 watts par une augmentation de la force de résistance de 1 kilogramme, la vitesse de pédalage restant stable à 70 tours par minutes. On mesure en continu la fréquence cardiaque (électrocardiographe *MKIV*) et la consommation d'oxygène (analyseur *Medical Graphics*). La puissance à laquelle a été atteinte la consommation maximale d'oxygène représente la puissance maximale aérobie.

La mesure des temps de réaction a lieu au cours d'une épreuve composée de quatre paliers rectangulaires d'une durée de quatre minutes. Les intensités sont fixées à des valeurs relatives de la puissance maximale développée par le sujet lors du protocole triangulaire, soit respectivement 20, 40, 60 et 80% de la puissance maximale. La vitesse de pédalage est stable pour chaque sujet entre 50 et 70 tours par minutes. La fréquence cardiaque est enregistrée en continu.

Les paliers successifs sont séparés d'une période de récupération, dont la durée dépend du retour de la fréquence cardiaque à sa valeur avant le palier.

La mesure des temps de réaction est réalisée avant le début de l'épreuve (performances de repos), et dans la dernière minute de chaque palier, après stabilisation de la fréquence cardiaque. Les sujets réalisent 20 essais successifs à chaque niveau de difficulté. On leur demande de répondre le plus vite possible, mais de ne commettre aucune erreur. Les temps de réaction inférieurs à 160 ms sont considérés comme des réponses anticipées. Au terme des 20 essais, on demande une évaluation de la difficulté de la tâche de temps de réaction, selon l'échelle de catégories DP-15. L'ordre de passation des trois niveaux de difficulté est systématiquement varié entre les paliers et entre sujets.

RESULTATS.

- Données physiologiques.

La consommation maximale d'oxygène moyenne est de 50.14 ml.min⁻¹.kg⁻¹ (écart-type 18.11) pour le groupe expert, et de 49.61 ml.min⁻¹.kg⁻¹ (écart-type 17.88) pour le groupe non-expert. La différence constatée n'est pas significative ($t_{38}=1.14$, NS). On ne trouve pas non plus de différence significative entre les fréquences cardiaques maximales moyennes (191.60 (écart-type 58.37) *versus* 188.35 (écart-type 42.71), $t_{38}= 1.54$, NS).

- Erreurs et anticipations.

Le tableau 7.3. indique les pourcentages de réponses anticipées (TR1) et erronées (TR2 et TR4). Ces résultats sont traités, pour chaque groupe et chaque niveau de TR, par une analyse de variance à un facteur (effort) avec mesures répétées. L'analyse ne fait apparaître un effet de l'intensité de l'effort de pédalage sur le pourcentage d'erreurs que chez les experts en TR2 ($F_{4,76}=13.02$, $p<.01$), et chez les non-experts en TR1 ($F_{4,76}=4.06$, $p<.01$). Il est néanmoins impossible de décrire dans ces deux cas une quelconque relation monotone entre l'intensité de l'effort et le pourcentage d'erreurs. D'une manière générale, l'augmentation de l'effort n'entraîne pas un accroissement du pourcentage d'erreurs.

Tâche	Groupe	Pourcentage de PMA				
		0%	20%	40%	60%	80%
TR1	Experts	2.75 (3.94)	2.25 (3.13)	3.00 (3.90)	1.25 (2.15)	1.75 (2.54)
	Non-experts	2.00 (2.60)	1.50 (2.45)	3.00 (3.11)	4.25 (4.15)	1.25 (2.32)
TR2	Experts	5.00 (4.52)	6.00 (3.92)	0.75 (1.92)	0.75 (1.62)	3.50 (3.50)
	Non-experts	3.50 (4.13)	6.00 (5.73)	2.25 (3.57)	5.00 (4.52)	3.75 (3.73)
TR4	Experts	7.50 (3.96)	7.75 (4.29)	6.50 (4.20)	7.00 (4.26)	6.00 (3.65)
	Non-experts	6.50 (4.78)	7.50 (6.24)	5.75 (3.53)	6.50 (6.21)	5.75 (5.20)

Tableau 7.3.: Pourcentages de réponses anticipées et erronées (écarts-types entre parenthèses).

- Temps de réaction.

Les temps de réactions moyens sont calculés pour chaque groupe et chaque condition à partir des performances valides (Tableau 7.4.). Au repos, on ne trouve pas de différence significative entre les deux groupes en ce qui concerne le TRS ($t_{38}=1.13$, NS). Par contre, les

experts ont de meilleures performances que les non-experts dans les tâches de temps de réaction de choix (TR2: $t_{38}=2.18$, $p<.05$; TR4: $t_{38}=4.40$, $p<.01$).

Tâche	Groupe	Pourcentage de PMA				
		0%	20%	40%	60%	80%
TR1	Experts	207.15 (3.94)	244.35 (3.13)	238.05 (3.90)	234.30 (2.15)	233.15 (2.54)
	Non-experts	207.85 (16.04)	257.00 (37.36)	251.35 (31.30)	254.70 (23.47)	258.70 (26.05)
TR2	Experts	270.35 (25.49)	263.95 (27.69)	260.70 (26.10)	249.10 (24.80)	250.30 (26.81)
	Non-experts	286.30 (20.46)	290.75 (42.20)	292.25 (22.81)	296.70 (26.38)	307.85 (24.13)
TR4	Experts	354.25 (21.96)	348.65 (28.67)	342.70 (30.50)	329.85 (26.41)	331.25 (26.02)
	Non-experts	387.55 (25.74)	393.20 (47.70)	392.10 (32.96)	401.50 (31.73)	411.20 (30.26)

Tableau 7.4.: Temps de réaction moyens (écarts-types entre parenthèses).

L'évolution des performances est nettement différenciée entre la tâche de temps de réaction simple et les deux tâches de temps de réaction de choix (Figure 7.5.). Les résultats sont traités par une analyse de variance 2 (expertise) X 5 (effort) avec mesures répétées sur le facteur effort (incluant la condition de repos).

En ce qui concerne le temps de réaction simple, l'analyse fait apparaître un effet du facteur effort ($F_{4,152}=58.45$, $p<.01$), ainsi que de l'interaction expertise-effort ($F_{4,152}=4.15$, $p<.01$). La décomposition de l'interaction en effets simples montre pour les deux groupes un effet de l'effort (experts: $F_{4,76}=24.16$, $p<.01$; non-experts: $F_{4,76}=35.99$, $p<.01$). La comparaison multiple des moyennes (Newman-Keuls) indique pour les deux groupes une dégradation des performances dans toutes les conditions incluant la tâche de pédalage, par rapport à la condition de repos. Par contre, pour chacun des deux groupes, les performances moyennes dans les conditions incluant la tâche de pédalage ne se différencient pas entre elles. L'introduction de la tâche de pédalage entraîne donc une dégradation du TRS, mais l'accroissement de son intensité n'a aucune influence.

D'autre part, l'analyse montre que l'effet de l'expertise est significatif à 40% de PMA ($t_{38}= 2.11$, $p<.05$), 60% de PMA ($t_{38}= 3.91$, $p<.01$) et 80% de PMA ($t_{38}= 4.85$, $p<.01$). D'une manière générale, les experts ont de meilleures performances en TRS que les non-experts, et ce d'autant plus que la tâche de pédalage est intense.

En ce qui concerne les tâches de TR de choix, l'analyse de variance fait apparaître un effet du facteur expertise (TR2: $F_{1,38}=22.05$, $p<.01$; TR4: $F_{1,38}=42.57$, $p<.01$), et de l'interaction expertise-effort (TR2: $F_{4,152}=13.92$, $p<.01$; TR4: $F_{4,152}=13.41$, $p<.01$). La

décomposition de l'interaction en effets simples montre un effet de l'effort, tant pour les experts (TR2: $F_{4,76}=22.22$, $p<.01$; TR4: $F_{4,76}=12.38$, $p<.01$) que pour les non-experts (TR2: $F_{4,76}=4.17$, $p<.01$; TR4: $F_{4,76}=4.62$, $p<.01$). Pour les non-experts, le test post-hoc de Newman-Keuls indique une dégradation significative de la performance à partir de 60% de PMA, tant en TR2 qu'en TR4.

On observe *a contrario* une amélioration des performances chez les experts: le test de Newman-Keuls indique que cet effet est significatif dès 20% en TR2, et s'accroît entre 40% et 60%; en ce qui concerne le TR4, cet effet est significatif à partir de 40%, et s'accroît entre 40% et 60%.

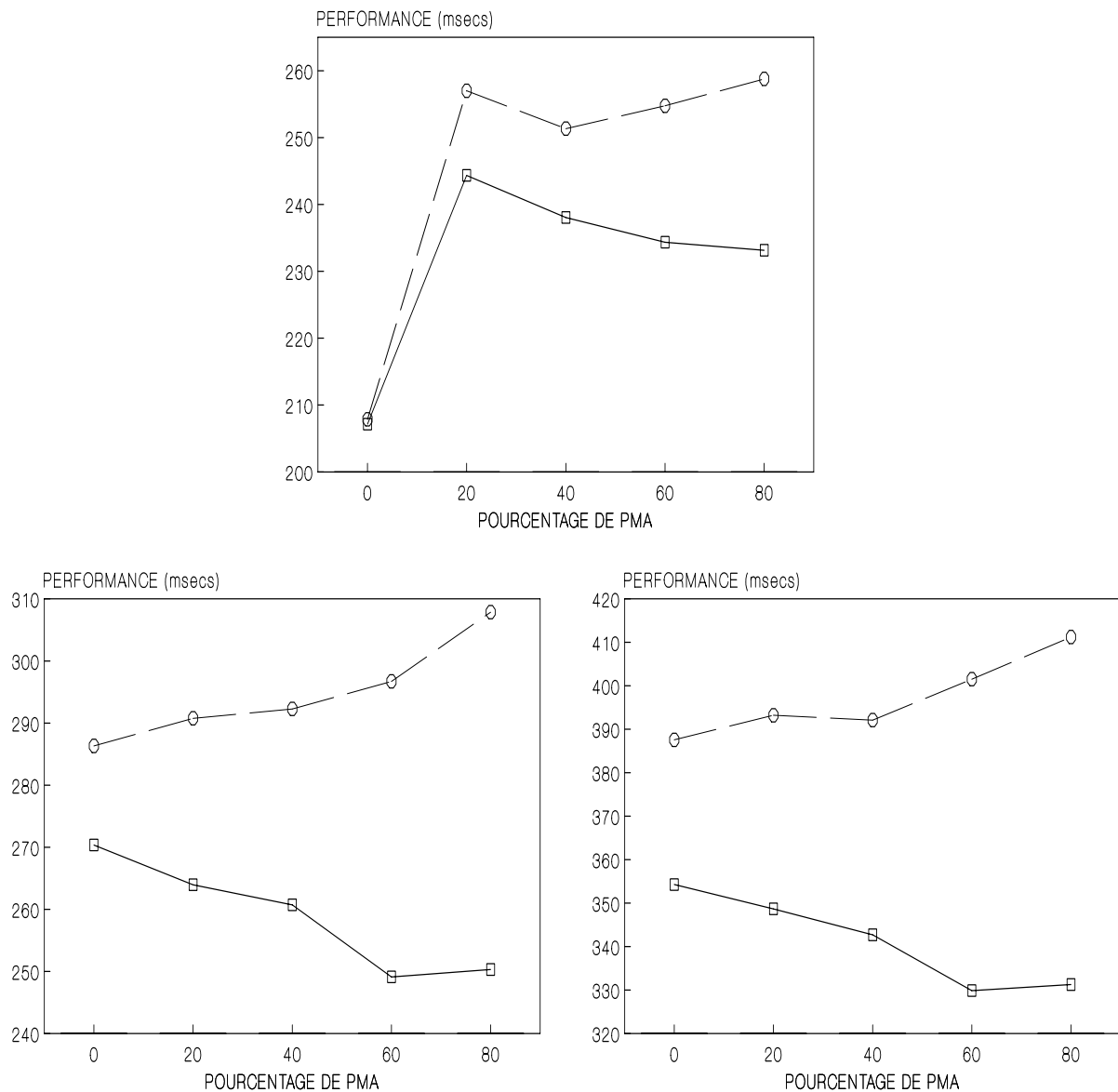


Figure 7.5.: Pourcentage de variation du temps de réaction, en fonction de l'intensité de la tâche de pédalage. En haut, tâche de temps de réaction simple, à gauche, tâche de temps de réaction de choix à une alternative, et à droite à deux alternatives (Carrés: groupe experts, ronds: groupe non-experts).

- Difficulté perçue.

Les scores moyens de difficulté perçue sont indiqués dans le tableau 7.5. Les résultats sont traités par une analyse de variance 2 (expertise) X 4 (effort) avec mesures répétées sur le facteur effort. L'analyse révèle pour les trois niveaux de TR un effet du facteur expertise (TR1: $F_{1,38}=73.05$, $p<.01$; TR2: $F_{1,38}=62.32$, $p<.01$; TR4: $F_{1,38}=29.54$, $p<.01$), du facteur effort (TR1: $F_{3,114}=414.59$, $p<.01$; TR2: $F_{3,114}=415.96$, $p<.01$; TR4: $F_{3,114}=230.01$, $p<.01$), et de l'interaction expertise-condition (TR1: $F_{3,114}=88.72$, $p<.01$; TR2: $F_{3,114}=90.95$, $p<.01$; TR4: $F_{3,114}=51.46$, $p<.01$).

		Pourcentage de PMA			
Tâche	Groupe	20%	40%	60%	80%
TR1	Experts	2.80 (1.62)	4.50 (0.97)	6.63 (1.94)	10.73 (1.90)
	Non-experts	1.80 (0.71)	2.75 (0.81)	3.45 (0.78)	4.80 (0.54)
TR2	Experts	3.70 (1.67)	5.25 (1.19)	7.85 (1.50)	10.70 (1.73)
	Non-experts	3.10 (0.74)	3.90 (0.94)	4.55 (0.62)	5.70 (0.59)
TR4	Experts	5.10 (1.33)	5.55 (0.91)	8.70 (1.73)	10.55 (1.58)
	Non-experts	4.75 (0.81)	5.65 (0.69)	5.80 (0.71)	7.35 (1.01)

Tableau 7.5.: Scores moyens de difficulté perçue (écarts-types entre parenthèses).

La décomposition de l'interaction en effets simples montre un effet du facteur effort pour tous les niveaux de TR, tant pour les experts (TR1: $F_{3,57}=287.78$, $p<.01$; TR2: $F_{3,57}=354.35$, $p<.01$; TR4: $F_{3,57}=181.74$, $p<.01$) que pour les non-experts (TR1: $F_{3,57}=131.76$, $p<.01$; TR2: $F_{3,57}=80.54$, $p<.01$; TR4: $F_{3,57}=60.92$, $p<.01$). Le test de Newman-Keuls montre d'une manière générale que la difficulté perçue croît pour les deux groupes de manière monotone avec l'intensité de la tâche de pédalage (Figure 7.6.): les seules différences non significatives apparaissant entre deux conditions successives se situent en TR4, entre 20% et 40% chez les experts, et entre 40% et 60% chez les non-experts.

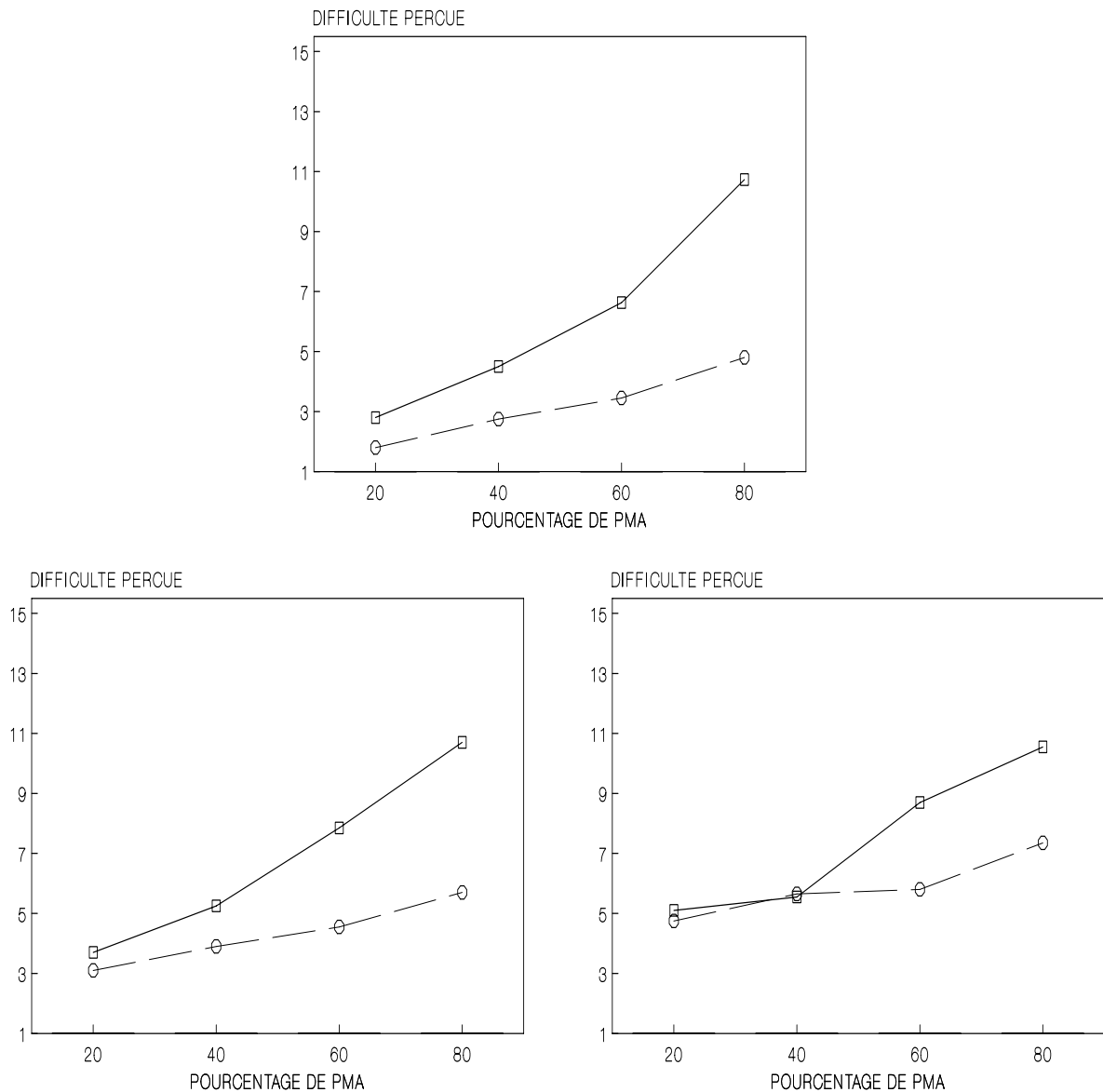


Figure 7.6.: Relation entre intensité de la tâche de pédalage et difficulté perçue. En haut, tâche de temps de réaction simple, à gauche, tâche de temps de réaction de choix à une alternative, et à gauche à deux alternatives (Carrés: groupe experts, ronds: groupe non-experts).

L'analyse révèle en outre un effet du facteur expertise, significatif pour tous les niveaux de TR à 80% de PMA (TR1: $t_{38}=14.18$, $p<.01$; TR2: $t_{38}=12.54$, $p<.01$; TR4: $t_{38}= 7.83$, $p<.01$) et 60% de PMA (TR1: $t_{38}= 7.18$, $p<.01$; TR2: $t_{38}= 9.33$, $p<.01$; TR4: $t_{38}= 7.10$, $p>.01$). A 40% de PMA, l'effet n'est plus significatif en TR4 (TR1: $t_{38}= 6.36$, $p<.01$; TR2: $t_{38}= 4.08$, $p<.01$; TR4: $t_{38}= -.40$, NS) et à 20%, il n'est plus significatif qu'en TR1 (TR1: $t_{38}= 2.60$, $p<.02$; TR2: $t_{38}= 1.51$, NS; TR4: $t_{38}= 1.03$, NS).

D'une manière générale, les experts perçoivent des niveaux de difficulté plus élevés, et cette différence s'accroît avec l'augmentation de l'intensité de la tâche de pédalage (Figure 7.6.).

Il n'est pas de notre propos de discuter ici des effets différenciés de l'exercice physique sur le temps de réaction, en fonction du nombre d'alternatives. On pourra trouver une argumentation à ce sujet dans le mémoire qu'un des expérimentateurs a consacré à ces aspects (Brisswalter, 1992). Notons simplement que ces effets semblent moins liés à la difficulté des tâches qu'à leur nature, c'est-à-dire au type des ressources sollicitées: à haut niveau d'effort, les performances sont améliorées ou légèrement dégradées en fonction des groupes dans les tâches sollicitant des opérations décisionnelles, par contre on observe dans la tâche de temps de réaction simple une forte dégradation dans les deux groupes, même si elle est plus limitée chez les experts. Ces évolutions différenciées de la performance sont sans doute liées à des influences diverses, à des "effets pluriels et contradictoires" (Durand, Bourrier et Legros, 1991). On peut supposer un effet d'interférence entre la tâche de pédalage et les tâches de TR, affectant sélectivement certains stades de traitement. D'autres effets, liés par exemple à l'élévation de l'activation, à l'accroissement du taux de catécholamines, sont à prendre en considération. Nous nous en tiendrons ici aux résultats bruts, retenant qu'à haut niveau d'effort, les temps de réaction sont systématiquement plus courts chez les experts.

Deux hypothèses peuvent être avancées: on pourrait affirmer que les experts possèdent une habileté particulière, leur permettant de s'accommoder des hautes dépenses énergétiques pour conserver un niveau stable de performance. Cette hypothèse peut néanmoins difficilement rendre compte à elle seule de l'amélioration des performances observées dans les tâches de temps de réaction de choix. En outre, elle aurait pour corollaire logique que les experts perçoivent les tâches plus faciles que les non-experts.

La seconde hypothèse, que nous avons évoqué dans l'introduction de cette partie, considérerait que si les experts améliorent ou limitent la dégradation de leurs performances, c'est qu'ils investissent davantage de ressources. Les résultats concernant la difficulté perçue confortent cette proposition: dans toutes les conditions où l'on enregistre de meilleures performances chez les experts que chez les non-experts, les scores de difficulté perçue des premiers sont significativement plus élevés que ceux des seconds. Ce cadre interprétatif concorde avec les hypothèses développées par Vidulich (1988), sur les dissociations parfois observées entre performance et charge mentale perçue: si l'amélioration à long terme de la performance s'accompagne généralement d'une diminution de la charge subjective, liée notamment à l'automatisation de certaines procédures de traitement, une amélioration à court terme débouche sur le phénomène inverse. Cette amélioration, due par exemple à des facteurs motivationnels, agit par le biais d'un accroissement de l'effort consenti par les sujets, et de ce fait débouche sur une augmentation de la charge mentale subjective.

Un autre résultat intéressant est l'augmentation progressive de la difficulté perçue, à difficulté objective constante, avec l'accroissement de l'intensité de la tâche de pédalage (Figure 7.6.). Cette évolution valide l'assimilation de cette situation à un paradigme de double tâche. On peut rapprocher ce résultat de celui obtenu par Dornic, Sarnecki, Larsson et Svensson (1974). Ces derniers étudient l'évolution de la performance et de la difficulté perçue dans quatre tâches mentales, et sous trois conditions expérimentales: dans la première, les tâches sont réalisées dans une ambiance calme. Dans la seconde, le sujet est soumis à un bruit non significatif et intense (70-90db). Dans la troisième, le sujet est soumis à un bruit significatif (une conversation enregistrée sur bande magnétique). Les résultats montrent que si les sujets sont capables de maintenir un niveau de performance équivalent dans les trois conditions, la difficulté perçue augmente en condition de bruit, et ce d'autant plus que le bruit est significatif. Selon les auteurs, cet effet est dû au fait que davantage d'effort est nécessaire pour atteindre un même niveau de performance en condition stressante.

Ces considérations ouvrent l'intéressantes perspectives au sujet du partage des ressources dans les situations de double tâche. L'analyse de la perception de la difficulté de deux tâches concurrentes devrait apporter des informations supplémentaires, au-delà des données de performances, sur la manière dont les sujets gèrent le système de contraintes qui leur est imposé.

Cette expérience conforte le modèle précédemment proposé. La difficulté perçue semble liée à l'investissement que le sujet juge nécessaire pour atteindre le but qui lui est assigné ou qu'il se fixe lui-même. On retrouve ici la logique des résultats obtenus dans le cadre de la perception de l'effort par Rejeski et Sanford (1984), ou Rejeski et Ribisl (1980), montrant que l'effort que les sujets s'attendent à fournir influence la perception de l'effort fourni. Les auteurs ne concluent en l'état qu'à l'existence d'une modulation de la perception de l'effort. On peut se demander à l'inverse si à l'instar de la logique de la perception de la difficulté, l'effort projeté ne constitue par le principal déterminant de la perception de l'effort.

ECHELLES DE RAPPORTS:
SIGNIFICATION DES EXPOSANTS INDIVIDUELS.

Les investigations psychophysiques consistent généralement en la mise en évidence de relations mathématiques entre une échelle des *stimuli* et une échelle des sensations. Nos travaux n'ont guère dérogé à cette règle. Encore faut-il se poser la question de la signification des fonctions obtenues et de leurs paramètres. Nous allons dans ce chapitre aborder ce problème, à partir de trois axes de questionnement:

- Dans un premier temps, nous tenterons de déterminer dans quelle mesure les exposants mis en évidence dans nos expériences rendent compte, pour un sujet particulier, de l'évolution de la sensation de difficulté avec l'accroissement de la difficulté objective.

- Si l'on parvient à montrer la validité des exposants mis en évidence pour caractériser la perception de la difficulté, encore faut-il savoir si cette dernière représente une "dimension" unitaire, au même titre par exemple que la perception de l'effort, ou si au contraire comme le supposent Dornic, Sarnecki et Svensson (1973), elle renvoie à une logique spécifique à chaque tâche ou type de tâche. Ce sera l'objet de la seconde partie de ce chapitre.

- Enfin nous tenterons une analyse des différences individuelles dans les fonctions psychophysiques obtenues. Les conclusions auxquelles nous sommes précédemment parvenu doivent nous permettre de réaliser des prédictions quant à ces différences, liées à des typologies de personnalité ou d'expertise.

8.1. DIFFICULTE PERÇUE ET COMPORTEMENT NUMERIQUE.

Stevens (1969) considère que l'exposant de la fonction puissance décrite entre l'échelle des *stimuli* et l'échelle des réponses moyennes constitue une caractéristique de la dimension sensorielle étudiée. Si de nombreux résultats, et notamment la constance des exposants lors des répliques successives ou des égalisations inter-modalités valident cette proposition, les chercheurs demeurent plus réticents dans la prise en compte des exposants individuels. Certains auteurs estiment qu'en grande partie les réponses des sujets seraient liées à leur comportement numérique, c'est-à-dire à la façon dont ils utilisent les nombres et les opérations algébriques (Gescheider, 1988). Si le traitement des données moyennées réduit les influences disparates des comportements numériques particuliers, il serait en revanche impossible de comparer les fonctions individuelles d'ajustement. C'est notamment la position soutenue par Borg (1970a): la construction d'échelles de rapport ne peut donner lieu à des comparaisons interindividuelles, car rien ne prouve qu'une cotation donnée corresponde à des grandeurs subjectives équivalentes pour deux sujets différents.

On peut donc se demander ce dont les exposants que nous calculons rendent compte. La question est d'importance, car elle conditionne la validité de nombre de démarches expérimentales. Si par exemple, construisant des échelles de rapport à propos de la difficulté perçue dans deux tâches différentes, on ne trouve aucune différence significative dans les deux distributions d'exposants individuels, doit-on en conclure que l'exposant est entièrement déterminé par le comportement numérique, ou à l'inverse que les sujets ont jugé dans les deux cas le même type de difficulté?

Le problème du comportement numérique, que nous évoquons à l'égard des méthodes d'estimation des grandeurs peut également exister au niveau des échelles de catégories. Néanmoins, on peut faire l'hypothèse que si le comportement numérique affecte les résultats obtenus dans les deux types de méthodes, cet effet ne relèvera pas de la même logique, les échelles de rapports étant par construction géométriques, et les échelles de catégories arithmétiques (Bonnet, 1986). Dans ce sens, leur élaboration ne sollicite pas le même type d'opérations de la part du sujet. Le bornage des échelles de catégories et la labellisation doivent en outre permettre de réduire l'influence du comportement numérique. Il devient de ce fait intéressant d'étudier la consistance des résultats *individuels* entre les deux types de méthodes.

Plusieurs auteurs ont montré qu'une échelle de catégories était une transformation logarithmique de l'échelle de rapport correspondante (Bonnet, 1986; Borg et Borg, 1987; Eisler, 1962; Stevens et Gallanter, 1957). On a donc

$$C = \alpha + \beta \log R,$$

C et R représentant, pour un niveau donné du *stimulus*, les valeurs correspondantes sur les échelles de catégories et de rapports. Considérons maintenant deux échelles de perception de la difficulté, l'une de catégories et l'autre de rapport. Pour un niveau donné de quantité d'information à traiter (I), on aura:

$$C = aI + b$$

$$R = c * e^{dI}$$

Si l'on intègre ces expressions dans l'équation précédente, on obtient:

$$aI + b = \alpha + \beta \log(c * e^{dI})$$

d'où

$$a = \beta d + Cste$$

La pente de la fonction $f(DO)=DP$ décrite grâce à l'échelle de catégories devrait être proportionnelle à l'exposant de celle décrite avec l'échelle de rapport. On devrait donc trouver une forte corrélation, au niveau des données individuelles, entre l'échantillon des pentes et celui des exposants.

A l'inverse, si l'on ne trouve aucune corrélation entre les exposants des échelles de rapport et les pentes des échelles de catégories, on peut en conclure que ces échelles rendent davantage compte des comportements numériques particuliers sollicités par leur élaboration, que de la relation *stimulus*-sensation dans la dimension étudiée. Nous avons mené deux expériences dans le but de tester ces hypothèses.

METHODE.

Sujets. 14 sujets (âge moyen 34.2, écart-type 7.2) participent à l'expérience.

Dispositif expérimental: On utilise les tâches de pointage précédemment décrites. On a recours à 7 niveaux de difficulté. Le tableau 8.1. décrit les caractéristiques des tâches retenues. On demande aux sujets de pointer alternativement les deux cibles avec un stylet, le plus précisément et le plus rapidement possible, durant 5 secondes.

Tâche	Espacement des cibles (A, cms)	Largeur des cibles (W, cms)	Difficulté objective (DO, bits)
A	5	4	1.32
B	5	2	2.32
C	20	4	3.32
D	20	2	4.32
E	20	1	5.32
F	40	1	6.32
G	40	0.5	7.32

Tableau 8.1.: Caractéristiques des 7 tâches de pointage.

Protocole. Les sujets dans un premier temps réalisent une fois chacune des 7 tâches. Les tâches sont présentées par ordre croissant de difficulté objective. Au terme de chaque essai, il leur est demandé d'évaluer la difficulté de la tâche qu'il viennent de réaliser, selon l'échelle de catégories DP-15.

Dans un second temps, les sujets réalisent à nouveau l'ensemble des tâches. Les tâches sont présentées par ordre croissant de difficulté objective. On demande aux sujets, après réalisation de chacune des tâches, d'en évaluer la difficulté selon la méthode d'estimation des grandeurs. La tâche A, qui est présentée la première, sert de *modulus* et est cotée 10.

RESULTATS

On recherche pour chaque sujet, et selon la méthode des moindres carrés, les paramètres des fonctions d'ajustement $f(DO)=DP$. Ces relations s'ajustent toutes selon des fonctions linéaires en ce qui concerne l'échelle DP-15, et selon des fonctions exponentielles en ce qui concerne les échelles de rapport. Les pentes et exposants de ces fonctions respectives sont indiqués dans le tableau 8.2.

Sujet	Echelle de Catégories	Echelle de Rapport
13	1.821	.242
4	1.917	.229
11	2.071	.325
5	2.131	.278
2	2.167	.249
1	2.250	.397
10	2.273	.411
3	2.286	.359
12	2.298	.347
8	2.333	.363
14	2.357	.328
6	2.417	.443
9	2.429	.498
7	2.679	.468

Tableau 8.2.: Pente des fonctions de régression linéaire (ajustement de la relation entre la difficulté objective et la difficulté perçue, obtenue selon l'échelle DP-15), et exposants des fonctions de régression exponentielle (ajustement de la relation entre la difficulté objective et la difficulté perçue, obtenue par construction d'échelles de rapport). Les sujets sont classés en ordre croissant, en fonction de la valeur de la pente de la fonction de régression linéaire.

Le coefficient de corrélation linéaire entre les deux distributions est égal à $r=.840$ ($p<.01$), soit 71% de variance commune.

Ce résultat tend à valider notre première hypothèse, selon laquelle les exposants obtenus par construction d'échelles de rapport et les pentes des fonctions obtenues au moyen de l'échelle de catégories rendent tous deux compte pour une large part de la relation *stimulus-sensation*. Nous avons réalisé une seconde expérience, dans la même logique que celle que nous venons de présenter, à partir des tâches de recherche visuelle.

METHODE

Sujets. 15 sujets (âge moyen 34.6, écart-type 7.3) participent à l'expérience.

Dispositif expérimental. On utilise les tâches de recherche visuelle, qui ont été décrites précédemment, avec 5 niveaux de difficulté: 2, 4, 8, 16, et 32 lettres. Les niveaux de difficulté correspondants sont de 1, 2, 3, 4 et 5.

Protocole. Les sujets dans un premier temps réalisent 20 essais successifs à chaque niveau de difficulté. Les tâches sont présentées par ordre croissant de difficulté objective. Au terme de chaque série, il leur est demandé d'évaluer la difficulté de la tâche qu'il viennent de réaliser, selon l'échelle de catégories DP-15.

Dans un second temps, les sujets réalisent à nouveau l'ensemble des tâches. Les tâches sont présentées par ordre croissant de difficulté objective. On demande aux sujets, après réalisation de chacune des tâches, d'en évaluer la difficulté selon la méthode d'estimation des grandeurs. La tâche la plus facile sert de *modulus* et est cotée 10.

RESULTATS

On recherche pour chaque sujet, et selon la méthode des moindres carrés, les paramètres des fonctions d'ajustement $f(DO)=DP$. Ces relations s'ajustent toutes selon des fonctions linéaires en ce qui concerne l'échelle DP-15, et selon des fonctions exponentielles en ce qui concerne les échelles de rapport. Les pentes et exposants de ces fonctions respectives sont indiqués dans le tableau 8.3. Le coefficient de corrélation linéaire entre les deux distributions est égal à $r=.877$ ($p<.01$), soit 77% de variance commune.

Sujet	Echelle de Catégories	Echelle de Rapport
11	.4	.234
5	.7	.264
4	1.3	.370
6	1.6	.320
13	1.6	.334
15	1.6	.391
8	1.8	.343
2	2.0	.398
12	2.0	.400
1	2.0	.417
9	2.0	.468
14	2.0	.559
10	2.4	.524
7	2.5	.582
3	3.0	.563

Tableau 8.3.: Pente des fonctions de régression linéaire (ajustement de la relation entre la difficulté objective et la difficulté perçue, obtenue selon l'échelle DP-15), et exposants des fonctions de régression exponentielle (ajustement de la relation entre la difficulté objective et la difficulté perçue, obtenue par construction d'échelles de rapport). Les sujets sont classés en ordre croissant, en fonction de la valeur de la pente de la fonction de régression linéaire.

Les résultats obtenus dans ces deux expériences sont conformes à nos prédictions: il existe une relation significative entre la pente de la fonction obtenue avec l'échelle de catégories et l'exposant de celle obtenue par construction d'échelles de rapport. Cette relation permet d'affirmer que ces deux méthodes mesurent pour partie le même phénomène. Si l'on retient que l'influence du comportement numérique, bien qu'indéniable, doit être différenciée en fonction de la méthode d'investigation utilisée, il est possible d'affirmer que les exposants calculés à partir de la construction d'échelles de rapport, tout comme les pentes des fonctions obtenues avec l'échelle DP-15, rendent compte de la réaction des sujets aux variations de difficulté objective. Ces paramètres constitueraient en sorte une mesure de la *sensibilité à la difficulté* des sujets. Nous aurons plus loin l'occasion de développer ce point.

Ces résultats nous autorisent deux types d'investigations:

-la comparaison intertâches d'échantillons d'exposants individuels, de manière à étudier les rapports entre la perception de la difficulté et la nature des tâches investiguées. Ceci constituera le principe de l'expérience suivante.

-la comparaison intersujets d'échantillons d'exposants individuels, de manière à étudier l'effet des différences interindividuelles sur la perception de la difficulté. Nous présenterons deux expériences de cette nature en fin de chapitre.

8.2. DIFFICULTE PERÇUE ET SPECIFICITE DE LA TACHE.

Cet axe de questionnement pourrait s'exprimer de la façon suivante: quand nous réalisons deux expériences, l'une sur les tâches de pointage et l'autre sur les tâches de recherche visuelle, étudions-nous un seul processus à l'oeuvre dans deux tâches distinctes, ou étudions-nous deux processus différents? Peut-on parler de perception de la difficulté de manière globale, ou doit-on spécifier systématiquement la nature des tâches et des processus requis?

Nos diverses expériences nous ont permis de calculer dans divers types de tâches les fonctions d'ajustement des relations difficulté objective-difficulté perçue, et performance moyenne-difficulté perçue. Les exposants des fonctions que nous avons mis en évidence jusqu'à présent étaient relativement proches (Tableau 8.4.). Ces similitudes sont néanmoins difficilement interprétables, les trois expériences ayant été conduites avec des sujets différents. Néanmoins, ces données laissent penser qu'elles constituent trois mesures consécutives de grandeurs identiques. Les caractéristiques psychophysiques de la difficulté perçue ne seraient ainsi pas spécifiques à une tâche particulière, mais constitueraient une donnée transversale, indépendante du type de tâche réalisée et des processus sollicités.

	f(DO)= DP	f(PERF)=DP
Tâches de pointage de Fitts	.402	1.649
Tâches de recherche visuelle	.462	1.987
Tâches de recherche visuelle sous pression temporelle	.402	1.608

Tableau 8.4: Exposants des fonctions exponentielles $f(DO)=DP$ et puissances $f(PERF)=DP$, calculés dans les expériences précédentes.

L'expérience présentée ci-après tente de tester cette hypothèse. Il s'agit de confronter un même groupe de sujets à plusieurs tâches de natures différentes. Nous avons choisi deux tâches focalisant sur les aspects décisionnels du traitement de l'information (la tâche de recherche visuelle déjà utilisée précédemment, et une tâche de temps de réaction), et deux tâches posant avant tout des problèmes de contrôle du mouvement et de précision (la tâche de Fitts et une tâche de transfert d'anneaux le long d'une barre métallique). Nous faisons l'hypothèse d'une invariance intertâche des paramètres des fonctions psychophysiques individuelles.

Le choix des tâches vise à tester une hypothèse secondaire, liée à la distinction réalisée par plusieurs auteurs entre complexité et difficulté (Alain et Salmela, 1980; Hayes et Marteniuk, 1976; Kantowitz et Knight, 1978). La complexité serait en rapport avec la quantité d'information à traiter pour l'organisation et le déclenchement du mouvement, alors que la difficulté serait 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. En fonction de cette distinction, les deux premières tâches seraient marquées par la complexité, et les dernières par la difficulté. L'analyse des fonctions psychophysiques, mais également des relations difficulté objective-performance, nous permettrons de juger de la pertinence de ces distinctions.

METHODE

Sujets. 13 sujets (âge moyen 32.7, écart-type 5.0), participent à l'expérience.

Tâches expérimentales. On utilise 4 types de tâches, avec 5 niveaux de difficulté pour chaque type.

Tâches 1: On utilise les tâches de recherche visuelle, qui ont été décrites précédemment, avec 5 niveaux de difficulté: 2, 4, 8, 16, et 32 lettres. La difficulté objective des tâches est calculée selon l'équation de Hick (1952): si n représente le nombre d'éventualité,

$$DO = \log_2 n$$

Le tableau 8.5. résume les caractéristiques des 5 tâches expérimentales.

Tâches	n	DO
A	2	1.00
B	4	2.00
C	8	3.00
D	16	4.00
E	32	5.00

Tableau 8.5.: Caractéristiques des 5 tâches de recherche visuelle (n: nombre de lettres possibles, DO: difficulté objective).

Tâches 2: Il s'agit de tâches de temps de réaction. Le sujet est assis face à un micro-ordinateur. Deux *joysticks* (poignées de jeux) sont fixés sur la table et reliés au dispositif. Le sujet tient une poignée dans chaque main. La tâche consiste à répondre à l'apparition d'un signal sur l'écran par l'abaissement du *joystick* dans la direction appropriée, selon un code défini à l'avance.

Un certain nombre de carrés vides sont tracés à l'écran, en jaune sur fond bleu. Le sujet doit répondre lorsque l'un des carrés devient plein, de couleur rouge. On utilise 5 niveaux de difficulté, avec 1, 2, 4, 6, ou 8 carrés apparaissant à l'écran. Les codes de réponse sont schématisés dans la figure 8.1.

On mesure la difficulté objective selon l'équation de Hick (1952). Le tableau 8.6. résume les caractéristiques des 5 tâches expérimentales.

Tâches	n	DO
A	1	0.00
B	2	1.00
C	4	2.00
D	6	2.58
E	8	3.00

Tableau 8.6.: Caractéristiques des 5 tâches de temps de réaction (n: nombre de stimuli possibles, DO: difficulté objective).

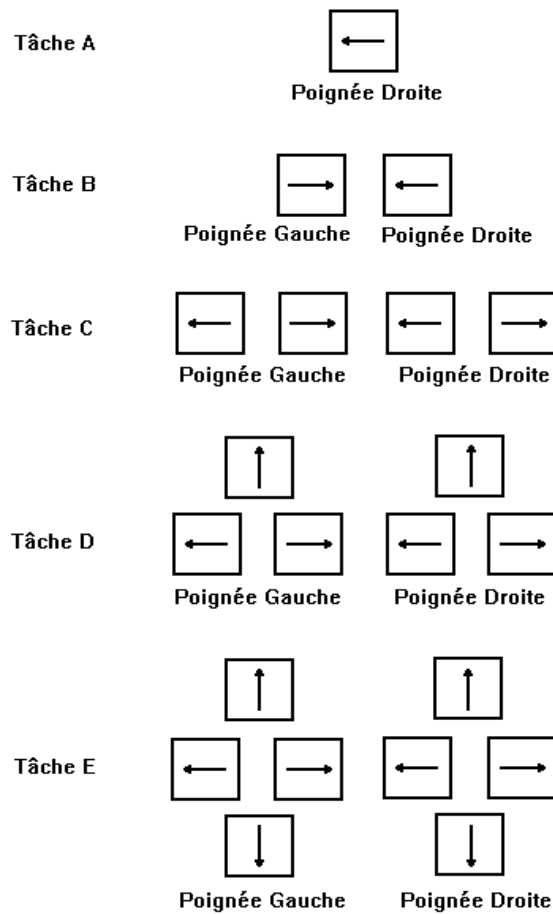


Figure 8.1.: Codage des réponses, dans la tâche de temps de réaction. Les flèches indiquent la direction dans laquelle la poignée doit être inclinée à l'activation du spot correspondant.

Tâches 3: Il s'agit de tâches de pointage de Fitts (1954). Le tableau 8.7. présente les caractéristiques des 5 tâches utilisées.

Tâche	Espacement des cibles (A, cms)	Largeur des cibles (W, cms)	Difficulté objective (DO, bits)
A	5	4	1.32
B	5	2	2.32
C	10	2	3.32
D	20	2	4.32
E	20	1	5.32

Tableau 8.7.: Caractéristiques des 5 tâches de pointage.

Les sujets pointent alternativement les deux cibles, à l'aide d'un stylet. Le dispositif est relié à un chronomètre modèle CTCS (EAP), qui permet d'enregistrer la durée des trajets intercibles.

Tâches 4: Le dispositif est constitué d'une tige métallique d'un diamètre de 8 millimètres, fixée sur un socle en bois (cf Figure 8.2.). Aux deux extrémités de cette tige ont été ajustés des contacts électriques. La tâche consiste à transférer d'un contact à l'autre un anneau fixé à l'extrémité d'un manche en plastique. L'anneau ne doit pas toucher la tige métallique durant le transfert. On demande aux sujets d'aller le plus vite possible. Le dispositif est relié à un chronomètre modèle CTCS (EAP), qui permet de mesurer la durée du transfert d'un contact à l'autre. En outre, un signal sonore retentit en cas de contact entre l'anneau et la tige. On fait varier la difficulté en modifiant le diamètre intérieur de l'anneau à transférer. Les 5 diamètres retenus pour l'anneau sont indiqués dans le tableau 8.8.

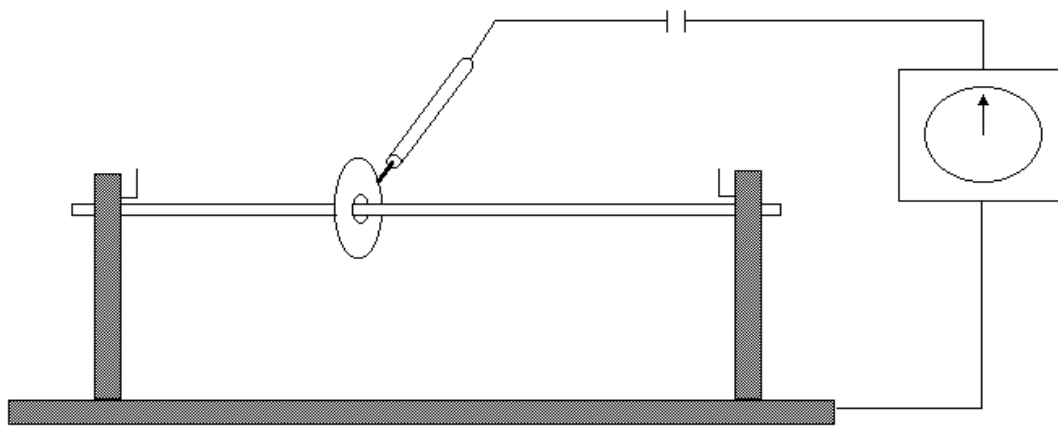


Figure 8.2.: Tâche de transfert d'anneaux. Dispositif expérimental.

Pour calculer la difficulté objective, on utilise une démarche analogue à celle utilisée par Fitts pour ses tâches de pointage. On considère que la quantité moyenne d'information à traiter est égale au logarithme de base 2 du rapport trajectoires correctes de l'anneau/trajectoires possibles.

Le nombre de trajectoires correctes peut être représenté par la section du cylindre virtuel que peut emprunter le centre de l'anneau, sans que ce dernier n'entre en contact avec la tige. Si d est le diamètre de la tige et D le diamètre intérieur de l'anneau, ce cylindre virtuel a pour diamètre $(D-d)$. Sa section sera donc proportionnelle à $(D-d)^2$. On considère arbitrairement que pour la tâche A, pour laquelle $(D-d)^2$ est maximum ($d=8$, $D=18$, $(D-d)^2=100$), la difficulté objective est égale à 1. Ceci revient à considérer que le nombre des trajectoires possibles est égal au double du nombre des trajectoires correctes dans la tâche A, soit $2(D-d)^2_{\max}=200$. On obtient donc l'équation suivante:

$$DO = \log_2(200/(D-d)^2)$$

Les difficultés objectives des 5 tâches expérimentales, calculées à partir de cette équation, sont indiquées dans le tableau 8.8.

Tâche	d (mms)	D (mms)	DO
A	8	18	1.00
B	8	16	1.64
C	8	14	2.47
D	8	12	3.64
E	8	11	4.47

Tableau 8.8.: Caractéristiques des 5 tâches de transfert d'anneaux (*d*: diamètre de la tige, *D*: diamètre intérieur de l'anneau, *DO*: difficulté objective).

Protocole. L'objectif n'étant pas de déterminer dans l'absolu la valeur des paramètres des fonctions d'ajustement, mais de réaliser des comparaisons intertâches, nous avons décidé de systématiser les éventuels effets d'ordre. Tous les sujets réalisent les quatre types de tâches dans le même ordre (tâches 1, tâches 2, tâches 3, puis tâches 4). A l'intérieur d'un même type de tâche, on respecte systématiquement un ordre croissant pour la difficulté: tâche A, B, C, D, puis E.

Tâches 1: Pour chaque niveau de difficulté, les sujets procèdent à 20 essais successifs. On demande aux sujets de ne commettre aucune erreur et d'aller le plus vite possible. Les essais erronés ne sont pas pris en compte: on continue alors les essais jusqu'à l'obtention de 20 données de performance.

Tâches 2: Pour chaque niveau de difficulté, on réalise 2 blocs successifs de 10 essais. On demande aux sujets de ne commettre aucune erreur et d'aller le plus vite possible. Si un bloc comprend plus d'une erreur, il n'est pas pris en compte et l'on procède à la réalisation d'un bloc supplémentaire. Si un bloc ne comprend qu'une erreur, le calcul du résultat moyen ne prend en compte que les 9 essais réussis.

Tâches 3: Les sujets réalisent pour chaque niveau de difficulté 10 blocs de 5 allers et retours d'une cible à l'autre. On demande aux sujets d'être précis et d'aller le plus vite possible. On enregistre la somme cumulée des durées des trajets intercibles. On calcule ensuite la moyenne des 10 blocs.

Tâches 4: Les sujets réalisent pour chaque niveau de difficulté 10 transferts, de gauche à droite. Toute tentative débouchant sur plus d'un contact, ou sur un contact prolongé entre la tige et l'anneau n'est pas prise en compte. On continue le cas échéant les essais jusqu'à l'obtention de 10 scores de performance. On calcule ensuite pour chaque niveau de difficulté la performance moyenne.

Pour chaque type de tâche, on procède à la construction d'une échelle de rapport concernant la difficulté perçue. La tâche A sert de *modulus* et est cotée 10.

RESULTATS

Les scores moyens de performance et de difficulté perçue, pour les quatre tâches et les cinq niveaux de difficulté, sont indiqués dans le tableau 8.9. On calcule ensuite, par la méthode des moindres carrés, les fonctions d'ajustement difficulté objective-difficulté perçue, difficulté objective-performance et performance-difficulté perçue. Les paramètres de ces fonctions sont indiqués dans le tableau 8.10.

		Tâche A	Tâche B	Tâche C	Tâche D	Tâche E
Tâches 1	PERF (secs)	.597 (.085)	.683 (.109)	.880 (.177)	1.077 (.228)	1.480 (.431)
	DP	10.00 (0.00)	14.19 (2.73)	21.58 (6.78)	36.69 (20.43)	58.38 (32.50)
Tâches 2	PERF (secs)	.239 (.044)	.299 (.028)	.383 (.038)	.422 (.049)	.452 (.042)
	DP	10.00 (0.00)	14.00 (2.39)	20.85 (6.10)	28.69 (13.71)	37.62 (23.59)
Tâches 3	PERF (secs)	1.462 (.275)	1.641 (.238)	2.058 (.344)	2.696 (.614)	3.833 (.692)
	DP	10.00 (0.00)	14.38 (2.71)	23.15 (9.47)	35.76 (18.08)	60.38 (30.68)
Tâches 4	PERF (secs)	1.179 (.633)	1.444 (.834)	1.849 (1.137)	2.899 (1.637)	3.739 (1.895)
	DP	10.00 (0.00)	13.15 (2.54)	19.38 (7.23)	31.69 (14.09)	42.92 (20.02)

Tableau 8.9.: Moyennes et écarts-types (entre parenthèses) des scores de performance et de difficulté perçue, pour les 4 types de tâches et les 5 niveaux de difficulté (DO: difficulté objective, PERF: performance, DP: difficulté perçue).

		Tâches 1	Tâches 2	Tâches 3	Tâches 4
F(DO)=PERF (expon.)	Constante	.452	.241	.981	.830
	Exposant	.227	.216	.242	.337
	r	.991	.997	.983	.998
F(DO)=DP (expon.)	Exposant	.448	.434	.451	.423
	r	.997	.992	.998	.999
F(PERF)=DP (puiss.)	Exposant	1.952	1.985	1.818	1.253
	r	.995	.981	.992	.997

Tableau 8.10.: Paramètres des fonctions d'ajustement sur données moyennées.

- Relations difficulté objective-performance.

On calcule pour chaque sujet et chaque type de tâche les paramètres des fonctions individuelles d'ajustement (Tableau 8.11.).

F(DO)=PERF									
		Tâches 1		Tâches 2		Tâches 3		Tâches 4	
Sujets	Const.	Expos.	Const.	Expos.	Const.	Expos.	Const.	Expos.	
1	.420	.199	.211	.270	.909	.217	.671	.335	
2	.389	.171	.225	.229	.990	.216	.485	.238	
3	.506	.181	.280	.143	.918	.204	.408	.374	
4	.451	.245	.219	.255	.806	.311	.526	.388	
5	.450	.177	.210	.223	.680	.286	.284	.418	
6	.388	.187	.236	.233	.999	.214	.418	.310	
7	.464	.281	.227	.229	1.315	.241	1.391	.363	
8	.586	.186	.317	.129	.935	.284	1.508	.353	
9	.496	.246	.232	.280	.974	.293	1.006	.304	
10	.405	.234	.225	.235	.960	.263	1.142	.325	
11	.536	.236	.305	.168	1.415	.166	.460	.487	
12	.426	.217	.216	.182	.872	.225	.844	.273	
13	.410	.312	.232	.260	1.072	.218	1.699	.263	

Tableau 8.11.: Paramètres des fonctions individuelles d'ajustement des relations difficulté objective-performance. Les fonctions sont de type exponentiel (const: constante multiplicative, expos: exposant).

La constante multiplicative de ces fonctions donne une image globale de la rapidité des sujets. La valeur calculée dépend évidemment à la fois du mode de calcul de la difficulté objective, et du mode de mesure de la performance (Borg, 1977). On ne peut donc pas comparer les valeurs obtenues dans les tâches différentes. Par contre l'examen des corrélations entre tâches (Tableau 8.12.) montre que les distributions de cette constante sont généralement indépendantes. La seule corrélation significative est trouvée entre les tâches 1 et les tâches 2 ($r=.82$, $p<.01$).

F(DO)=PERF	Tâches 1	Tâches 2	Tâches 3	Tâches 4
Tâches 1	1.00			
Tâches 2	.82***	1.00		
Tâches 3	.22	.27	1.00	
Tâches 4	.12	.08	.26	1.00

Tableau 8.12.: Corrélations entre les distributions des paramètres d'origine des fonctions individuelles d'ajustement $f(DO)=PERF$ (*: $p<.05$, **: $p<.02$, ***: $p<.01$).

L'exposant de la fonction d'ajustement permet de mesurer la dégradation de la performance avec l'élévation de la difficulté. L'examen des corrélations entre tâches (Tableau 8.13.) ne met en évidence aucun lien entre les différentes distributions d'exposants.

F(DO)=PERF	Tâches 1	Tâches 2	Tâches 3	Tâches 4
Tâches 1	1.00			
Tâches 2	.41	1.00		
Tâches 3	.04	.28	1.00	
Tâches 4	-.06	-.35	-.02	1.00

Tableau 8.13.: Corrélations entre les distributions des exposants des fonctions individuelles d'ajustement $f(DO)=PERF$. Aucun coefficient n'est significatif au seuil $p=.05$.

Par ailleurs, la corrélation intratâche entre pente et exposant est très variable d'une tâche à l'autre:

Tâche 1:	$r = -.07$	(NS)
Tâche 2:	$r = -.77$	($p < .01$)
Tâche 3:	$r = -.59$	($p < .05$)
Tâche 4:	$r = -.39$	(NS)

Dans les tâches de temps de réaction et dans les tâches de pointage, les sujets les plus rapides présentent une dégradation plus lente de leurs performances avec l'élévation de la difficulté. Mais ceci n'est pas vrai pour les deux autres tâches.

Les caractéristiques des relations difficulté objective-performance apparaissent donc extrêmement spécifiques. Elles dépendent de la nature des tâches réalisées et des ressources requises. Chaque tâche semble présenter un profil particulier, ce qui va à l'encontre des modèles macroscopiques tels que la distinction complexité-difficulté que nous évoquions précédemment. Ceci n'interdit pas des similarités partielles, dues à la mise en jeu de ressources communes, témoin par exemple cette corrélation élevée, au niveau de la constante multiplicative, entre les deux tâches sollicitant des prises de décision.

- Relations difficulté objective-difficulté perçue.

Les exposants calculés sur les données moyennées sont très proches, pour les quatre types de tâches (cf. Tableau 8.10.). Par construction, les constantes et exposants individuels doivent être négativement corrélés. Le calcul de ces corrélations confirme cette prédiction:

Tâche 1:	$r = -.91$	($p < .01$)
Tâche 2:	$r = -.61$	($p < .01$)
Tâche 3:	$r = -.88$	($p < .01$)
Tâche 4:	$r = -.89$	($p < .01$)

Nous ne nous intéresserons ici qu'aux exposants individuels, dont les valeurs sont reportés dans le tableau 8.14.

Une analyse de variance à un facteur avec mesures répétées montre que le type de tâche n'a pas d'influence significative sur la valeur de l'exposant des fonctions individuelles d'ajustement ($F_{3,36} = .275$, NS). Ce résultat tend à montrer que la perception de la difficulté est un processus autonome, transversal, indépendant de la nature des tâches investiguées. On peut noter également que ce résultat est obtenu alors que les échelles de difficulté objective sont très disparates (les niveaux sont répartis de manière équidistante sur les tâches 1 et 3, et à intervalles irréguliers sur les tâches 2 et 4).

Par ailleurs quel que soit le type de tâche, l'exposant de la fonction difficulté objective-difficulté perçue ne corrèle ni avec l'exposant (coefficient r_a) ni avec la constante multiplicative (coefficient r_b) de la fonction difficulté objective-performance:

Tâche 1:	$r_a = .37$	$r_b = -.09$
Tâche 2:	$r_a = .29$	$r_b = -.11$
Tâche 3:	$r_a = .07$	$r_b = .24$
Tâche 4:	$r_a = .20$	$r_b = .04$

F(DO)=DP				
Sujets	Tâches 1	Tâches 2	Tâches 3	Tâches 4
1	.536	.507	.536	.507
2	.340	.382	.350	.362
3	.173	.168	.161	.274
4	.586	.714	.418	.511
5	.340	.336	.384	.362
6	.322	.263	.351	.361
7	.309	.366	.373	.449
8	.324	.316	.570	.485
9	.559	.316	.391	.330
10	.628	.660	.593	.633
11	.533	.582	.636	.369
12	.260	.248	.407	.351
13	.421	.235	.280	.216
Moyenne	.410	.392	.419	.401

Tableau 8.14.: Exposants des fonctions individuelles d'ajustement de la relation difficulté objective-difficulté perçue. Ces fonctions sont de type exponentiel.

- Relations performance-difficulté perçue.

Par construction, les constantes et exposants individuels devraient être négativement corrélés. Le calcul de ces corrélations ne confirme cette prédiction que pour trois tâches:

Tâche 1:	$r=-.71$	($p<.01$)
Tâche 2:	$r=-.56$	($p<.05$)
Tâche 3:	$r=-.51$	(NS)
Tâche 4:	$r=-.75$	($p<.01$)

Nous ne nous intéresserons ici qu'aux exposants individuels, dont les valeurs sont reportées dans le tableau 8.15.

Une analyse de la variance à un facteur avec mesures répétées indique un effet de la nature de la tâche ($F_{3,36}=6.665$, $p<.05$). Une comparaison multiple *a posteriori* (Newman-Keuls) montre que cet effet est centré sur la tâche 4, les résultats enregistrés sur les trois premières tâches ne différant pas entre eux de manière significative.

Les exposants sont systématiquement plus faibles au niveau des tâches 4 (Tableau 8.15). Ceci ne correspond pas à un glissement général de l'échelle vers le bas: on ne trouve aucune corrélation significative entre la distribution des exposants des tâches 4 et ceux des tâches 1, 2 et 3:

tâches 4-tâches 1: $r=.49$
 tâches 4-tâches 2: $r=.31$
 tâches 4-tâches 3: $r=.26$

F(PERF)=DP				
Sujets	Tâches 1	Tâches 2	Tâches 3	Tâches 4
1	2.645	1.886	2.442	1.502
2	1.979	1.648	1.577	1.502
3	.909	1.118	.755	.632
4	2.341	2.636	1.344	1.235
5	1.901	1.494	1.325	.830
6	1.701	1.106	1.588	1.153
7	1.088	1.503	1.508	1.220
8	1.668	2.258	1.904	1.351
9	2.262	1.094	1.315	.979
10	2.658	2.727	2.168	1.879
11	2.246	3.309	3.252	.716
12	1.159	1.229	1.749	1.229
13	1.186	.804	1.292	.792
Moyenne	1.826	1.755	1.709	1.155

Tableau 8.15.: Exposants des fonctions individuelles d'ajustement de la relation performance-difficulté perçue. Ces fonctions sont de type puissance.

En ce qui concerne les trois premières tâches, ce résultat confirme nos conclusions précédentes: la perception de la difficulté obéit à une logique transversale, indépendante de la nature des tâches auxquelles elle s'applique. La tâche 4 semble s'écarter de ce cadre interprétatif. Cette inconsistance peut être liée à deux facteurs:

- En premier lieu, les scores de performance, dans la tâche 4, présentent un coefficient moyen de variation très élevé, soit 56% contre 20% pour la tâche 1, 12% pour la tâche 2, et 18% pour la tâche 3. Dans ce sens, le score moyen de performance, obtenu à partir de 10 mesures sur chaque niveau de difficulté, ne doit représenter qu'un indice relativement grossier de la charge moyenne de travail. Ceci peut expliquer l'absence de corrélation entre les échantillons d'exposant.

- Deuxièmement, rien ne prouve que la mesure qui a été réalisée est pertinente pour mesurer la charge de travail dans ce type de tâche. Plus précisément, elle semble conduire, au fur et à mesure de l'élévation de la difficulté objective, à une sur-évaluation de la charge. Ceci pourrait expliquer pourquoi l'exposant, pour les données moyennées, est de 1.2, alors qu'il oscille autour de 1.9 pour les autres tâches.

Cette inconsistance partielle des résultats concernant la tâche 4 ne nous semble pas devoir remettre en cause nos conclusions. D'ailleurs, pour l'ensemble des tâches, y compris la quatrième, on trouve une corrélation significative ($p < .01$) entre l'exposant de la fonction difficulté objective-difficulté perçue et celui de la fonction performance-difficulté perçue:

Tâche 1: $r = .86$

Tâche 2: $r = .85$

Tâche 3: $r = .88$

Tâche 4: $r = .81$

Cette corrélation est logique puisque nous avons montré précédemment que le second était proportionnel au premier (cf. Chapitre 5).

Les résultats de cette expérience répliquent ceux obtenus précédemment (chapitres 5 et 6) et sont compatibles avec notre modèle. De plus, ils nous permettent d'avancer une proposition supplémentaire: *la perception de la difficulté est un processus autonome, indépendant de la nature des tâches auxquelles il s'applique et des processus sollicités*. Cette proposition évidemment requiert d'autres travaux de validation, pour apprécier l'étendue de sa pertinence. Il conviendra notamment de vérifier si elle s'applique à l'ensemble des tâches perceptivo-motrices, y compris les tâches complexes. On peut envisager également d'en tester la validité dans des tâches strictement mentales. Elle renvoie aux conclusions généralement avancées dans le cadre de la perception de l'effort (Gamberale, 1985), même si à notre connaissance aucune comparaison interindividuelle de ce type n'y a été réalisée.

L'indépendance de la perception de la difficulté par rapport à la nature des tâches réalisées demeure à expliquer. Elle suppose que ce processus repose sur un invariant central, propre au sujet. Les deux expériences suivantes vont tenter d'en cerner la nature.

8.3. EXPOSANT ET DIFFERENCES INTERINDIVIDUELLES

L'exposant de la fonction difficulté objective-difficulté perçue apparaît comme une caractéristique du sujet, indépendante de la tâche sur laquelle porte l'évaluation. Il constitue une mesure de l'accélération de la fonction. Si l'on considère, comme semblent le montrer les deux premières expériences de ce chapitre, que les échelles de rapport ne sont pas uniquement représentatives du comportement numérique des sujets, l'exposant pourrait constituer comme nous l'évoquions précédemment une mesure de la *sensibilité* du sujet à la difficulté.

Ceci ne veut pas dire que les sujets à fort exposant vont surestimer la difficulté, et à l'inverse pour les sujets à faible exposant. L'exposant permettrait plutôt de mesurer une sensibilité aux variations de difficulté. C'est-à-dire qu'un accroissement donné de difficulté objective sera perçu comme plus important par les sujets à fort exposant. Si par ailleurs, comme le postule Borg (1970a, 1970b), l'étendue subjective du *continuum* des sensations est identique pour tous les sujets, on peut supposer que face à une tâche donnée, les sujets sensibles percevront une difficulté plus importante que les sujets peu sensibles.

Nous avons mené deux expériences dans le but d'approfondir cette hypothèse. La première analyse les relations entre l'exposant de la relation difficulté objective-difficulté

perçue et certains traits de personnalité. La seconde compare les exposants obtenus chez des grimpeurs de haut-niveau, habitués à la difficulté extrême, et des sujets sédentaires.

8.3.1. DIFFICULTE PERÇUE ET PERSONNALITE.

Notre démarche est basée sur deux hypothèses, relatives à ce que nous savons de la nature du processus de perception de la difficulté. Si comme nous le supposons, l'exposant de la fonction difficulté objective-difficulté perçue constitue une mesure de la sensibilité à la difficulté, l'examen des données obtenues précédemment (cf. Tableau 8.14.) laisse entrevoir de larges différences interindividuelles.

Deux axes interprétatifs peuvent être évoqués pour expliquer ces différences. Le premier s'organiserait autour de la notion d'activation, et est illustré par les travaux de Dornic (1986). Cet auteur s'intéresse notamment aux différences interindividuelles dans la résistance au stress. Son modèle s'appuie sur les facteurs de personnalité dégagés par Eysenck (1967): l'extraversion et le névrosisme.

L'intro/extraversion serait liée au niveau d'activité corticale, et le névrosisme à une "capacité d'éveil", c'est-à-dire à l'augmentation du niveau d'activation en cas de stress. Les travaux différentiels utilisent en général deux types de personnalité radicalement opposés: les extravertis stables, et les introvertis névrotiques. D'une manière générale, l'extraverti stable présenterait de faibles niveaux d'activation et une faible capacité d'éveil. L'introverti névrotique à l'inverse présenterait globalement de hauts niveaux d'activation, qui auraient encore tendance à s'élever en situation stressante. De ce fait, les premiers seraient enclins "*à chercher une stimulation extérieure [...], seraient plus capables de traiter des tâches complexes et difficiles et de soutenir une charge mentale élevée*" (Dornic, 1986, p. 65). Ainsi Dornic et Ferneaus (1981) montrent que dans des tâches entraînant une forte charge mentale, les introvertis névrotiques présentent des niveaux de performances plus faibles que les extravertis, et que cette différence s'accroît encore si les tâches sont réalisées sous distraction verbale.

Dornic et Birbaumer (1974) postulent par ailleurs une liaison entre niveau d'activation et difficulté perçue. Etudiant la perception de la difficulté d'une tâche sous pression temporelle, les auteurs montrent que si chez les sujets normaux, la difficulté perçue est une fonction linéaire du temps disponible, elle en est chez les sujets névrotiques une fonction positivement accélérée. Dans ce sens la sensibilité à la difficulté pourrait être liée à la capacité d'éveil des sujets, et aux facteurs d'extraversion et de névrosisme.

Cette interprétation ne concorde guère avec nos conclusions précédentes. Dornic lie la difficulté perçue à une réaction quasi-somatique de l'organisme aux stimulations de la situation. Il nous semble au contraire qu'elle est le fruit d'une élaboration cognitive, d'une représentation, même infra-consciente, des demandes de la tâche et des ressources qui peuvent y satisfaire. Il nous semble dans ce sens que l'on puisse rapprocher la sensibilité à la difficulté de l'anxiété-trait, telle que définie par Martens, Vealey et Burton (1990). Ce trait est défini comme une prédisposition à percevoir certaines situations comme plus ou moins menaçantes et à y répondre par des états d'anxiété plus ou moins élevés. Les sujets à haut niveau d'anxiété-trait perçoivent plus souvent les situations comme menaçantes, et/ou répondent à une situation menaçante par des états d'anxiété plus élevés. La perception de la menace est liée à une dissonance subjective entre la difficulté de la tâche et les possibilités de

réponses dont dispose le sujet. Ceci suppose que les sujets à haut niveau d'anxiété-trait perçoivent les tâches comme plus difficiles.

Nous avons réalisé l'expérience suivante dans le but de tester les deux hypothèses en concurrence.

METHODE

Sujets. 48 sujets (âge moyen 23.5, écart-type 4.6) participent à l'expérience. Ce sont des sportifs en formation à l'Institut National de Sports et de l'Education Physique.

Dispositif expérimental. On utilise la tâche de pointage de Fitts, précédemment décrite. 7 niveaux de difficulté sont retenus. L'indice de difficulté varie de 1.32 à 7.32. Les 7 tâches sont décrites dans le tableau 8.16.

Tâche	Espacement des cibles (A, cms)	Largeur des cibles (W, cms)	Difficulté objective (DO, bits)
A	5	4	1.32
B	5	2	2.32
C	20	4	3.32
D	20	2	4.32
E	20	1	5.32
F	40	1	6.32
G	40	0.5	7.32

Tableau 8.16.: Description des 7 tâches expérimentales.

On utilise deux tests de personnalité:

- Pour l'extraversion et le névrosisme: l'Eysenck Personality Inventory (EPI), forme A (Eysenck et Eysenck, 1971).

- Pour l'anxiété: Le Sport Competitive Anxiety Test (SCAT), forme A (Martens, Vealey et Burton, 1990).

Protocole. En début d'expérience, les sujets remplissent les deux questionnaires. Les sujets réalisent ensuite successivement les 7 tâches, dans un ordre identique pour tous, de la plus facile à la plus difficile. Ceci a pour but de systématiser les éventuels effets d'ordre. Les sujets doivent pointer alternativement les deux cibles, durant 5 secondes. Il leur est demandé d'aller le plus vite possible, et de ne pas faire d'erreur.

Après réalisation de chaque tâche, les sujets en évaluent la difficulté selon la méthode d'estimation des grandeurs. La tâche la plus facile sert de *modulus* et est cotée 10.

RESULTATS

Les inventaires de personnalité sont traités selon les procédures *ad hoc*. On ne retient que les sujets ayant obtenu une note de mensonge inférieure à 5 à l'EPI (4 sujets exclus). Les scores obtenus sur les échelles d'extraversion (E) et de névrosisme (N) et sur l'échelle d'anxiété (SCAT) sont indiqués dans le tableau 8.17.

En ce qui concerne la difficulté perçue, on calcule pour chaque sujet la fonction d'ajustement de la relation indice de difficulté-difficulté perçue, selon la méthode des moindres carrés. Toutes les données individuelles s'ajustent sur des fonctions exponentielles. On ne retient que les sujets dont les fonctions présentent un coefficient de corrélation d'au moins .975 (6 sujets exclus). Les exposants obtenus sont indiqués dans le tableau 8.17.

Sujet	E	N	SCAT	β	Sujet	E	N	SCAT	β
1	9	12	30	.731	20	15	15	19	.304
2	8	16	25	.488	21	7	13	27	.303
3	13	12	16	.467	22	16	10	23	.299
4	14	10	19	.410	23	10	11	21	.293
5	17	9	23	.399	24	14	5	20	.293
6	16	5	21	.386	25	13	15	21	.293
7	7	8	20	.368	26	21	8	28	.289
8	21	12	25	.364	27	13	11	17	.280
9	6	12	22	.358	28	8	18	19	.276
10	11	9	27	.356	29	16	8	22	.270
11	10	10	19	.346	30	14	12	15	.267
12	8	16	27	.346	31	11	8	14	.263
13	14	7	26	.335	32	9	8	28	.262
14	10	14	20	.332	33	12	10	20	.257
15	11	9	21	.327	34	14	5	12	.240
16	8	13	24	.324	35	9	4	18	.197
17	10	7	27	.318	36	8	12	24	.185
18	13	6	24	.306	37	16	11	21	.173
19	9	6	12	.304	38	14	9	14	.121

Tableau 8.17.: Scores individuels d'extraversion (E), de névrosisme (N), d'anxiété compétitive (SCAT), et exposants de la fonction difficulté objective-difficulté perçue (β). Les sujets sont classés en ordre décroissant de l'exposant β .

L'exposant β ne présente de corrélation significative ni avec l'extraversion ($r=-.123$, NS), ni avec le névrosisme ($r=.213$, NS). On trouve par contre une corrélation significative avec l'échelle d'anxiété compétitive ($r=.390$, $p<.02$). Néanmoins cette corrélation paraît largement déterminée par le sujet n°1, qui présente simultanément un exposant très élevé et le score maximum au SCAT. Si l'on calcule la corrélation entre β et SCAT en ignorant le sujet n°1, la liaison n'est plus significative ($r=.252$, NS).

Ces résultats ne nous permettent pas de conclure de façon définitive. Il est possible qu'en ayant recours à une tâche plus en rapport avec les situations sportives de compétition, ou *a contrario* en utilisant un inventaire d'anxiété-trait moins spécifique (par exemple le STAI de Spielberger), on puisse déboucher sur des résultats plus consistants. Mais en tout état de cause, si une relation peut être envisagée entre anxiété-trait et difficulté perçue, il semble exclu de considérer la première comme principale déterminante de la seconde.

8.3.2. EXPOSANT ET ETENDUE DYNAMIQUE DU STIMULUS.

L'étude des différences interindividuelles a peu intéressé les psychophysiciens, plus enclins à centrer leurs analyses sur les fonctions moyennes. Certains modèles, développés notamment par Teghtsoonian (1971) et Borg (1970a, 1972), permettent néanmoins une approche différente.

Teghtsoonian (1971) avance l'hypothèse selon laquelle l'étendue des grandeurs subjectives est identique pour l'ensemble des dimensions sensorielles. Dans ce sens, la perception de la grandeur des sensations serait gérée par un mécanisme transversal, déterminant l'étendue des réponses possibles, indépendamment de la dimension stimulée. Ce postulat est à la base des méthodes d'égalisation inter-modalité (Stevens, 68-69), ou de la mise au point par Borg de la *sourness-scale* (Borg, 1974). Par contre, l'étendue dynamique du *stimulus*, c'est-à-dire le rapport entre le seuil maximal et le seuil absolu, peut varier largement d'un *continuum* à l'autre. De ces deux propositions dérive le corrélat suivant: les différences d'exposants entre *continua* sont liées aux différences dans l'étendue dynamique des *stimuli*. Plus précisément, le rapport entre les exposants de deux *continua* est inversement proportionnel au rapport entre les logarithmes des étendues des *stimuli* correspondant. Borg (1972b) confirme cette hypothèse en comparant les exposants obtenus et les étendues constatées pour la perception de l'acidité et du sucre.

Borg (1970a) développe une seconde hypothèse, qui sera à la base de la conception de la *RPE scale*. Selon cette hypothèse, pour un même *continuum*, l'étendue des grandeurs subjectives est identique pour des sujets différents, même si l'étendue dynamique du *stimulus* peut varier grandement entre sujets. On peut en tirer un corrélat identique au précédent: les différences entre les exposants des fonctions individuelles seront liées aux différences individuelles dans l'étendue dynamique du *stimulus*. Plus l'étendue dynamique du *stimulus* sera importante, plus l'exposant sera faible. Borg (1972) rejette ce corrélat sur la base d'observations empiriques. Il reprend néanmoins l'hypothèse plus tard, dans une expérience sur la perception de l'effort (Borg et Karlsson, 1976). Les résultats (Tableau 8.18.) indiquent une corrélation négative significative entre l'exposant et l'étendue dynamique du *stimulus*. Une corrélation positive plus nette encore est mise en évidence entre l'étendue dynamique du *stimulus* et la constante multiplicative de la fonction. Or, au niveau des fonctions individuelles, on observe généralement une forte corrélation négative entre exposant et

constante multiplicative (Bonnet, 1986). Teghtsoonian, Teghtsoonian et Karlsson (1981) tentent de répliquer ces résultats mais ne parviennent pas à mettre en évidence de corrélation significative.

Groupe (n=6)	Etendue dynamique du stimulus	Constante additive (a)	Constante multiplicative (c)	Exposant (n)
1	41	0.7	$8 \cdot 10^{-5}$	1.44
2	28	0.5	$8 \cdot 10^{-5}$	1.53
3	25	0.8	$5 \cdot 10^{-5}$	1.47
4	18	0.7	$3 \cdot 10^{-5}$	1.62
5	14	0.8	$1 \cdot 10^{-5}$	1.75

Tableau 8.18.: Etendue dynamique du stimulus et paramètres des fonctions psychophysiques, pour les 5 groupes expérimentaux de Borg et Karlsson (1976). La fonction psychophysique effort objectif-effort perçu est exprimée selon l'équation: $EP = a + cEO^n$.

Il est délicat d'expérimenter dans le cadre de cette problématique. Rares sont les *continua* qui, à l'instar de l'effort physique, peuvent se prêter à une exploration des valeurs extrêmes sans porter atteinte à l'intégrité physique des sujets. La difficulté pourrait servir de support à une démarche de ce type, et nous en envisageons les possibilités pour de futures recherches. Dans l'expérience qui suit, nous sommes parti de l'hypothèse selon laquelle des sportifs de haut niveau, habitués à être confrontés à des tâches de difficulté extrême, devaient prendre en compte un *continuum* objectif plus étendu que des sujets sédentaires. Si cette hypothèse est valide, on devrait trouver des exposants plus faibles dans le premier groupe que dans le second. Nous avons choisi de tester cette hypothèse avec un groupe de grimpeurs, représentatifs de l'élite nationale et internationale en escalade.

METHODE

Sujets. 28 sujets participent à l'expérience. Ils se répartissent en deux groupes:

Groupe 1: Il est constitué de 14 grimpeurs de haut-niveau (12 hommes et 2 femmes, âge moyen 26.4, écart-type 3.4).

Groupe 2: Il est constitué de 14 sujets, non sportifs (11 hommes et 3 femmes, âge moyen 35.8, écart-type 6.3).

Dispositif expérimental. On utilise les tâches de pointage précédemment décrites. On a recours à 7 niveaux de difficulté. Les tâches retenues sont les mêmes que pour l'expérience précédente.

Protocole. Les sujets réalisent l'ensemble des tâches. L'expérience commence par la tâche A, puis l'ordre de passation est systématiquement modifié d'un sujet à l'autre, afin d'éliminer tout effet d'ordre. On procède au cours de la passation à la construction d'échelles de rapport, concernant la difficulté perçue. La tâche A sert de *modulus* et est cotée 10.

RESULTATS

On calcule les fonctions d'ajustement des relations difficulté objective-difficulté perçue, en ce qui concerne les données individuelles et les données moyennées. Les résultats individuels s'ajustent tous selon des fonctions exponentielles. Le tableau 8.19. indique les exposants de chaque fonction individuelle.

Groupe 1		Groupe 2	
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
Moyenne	.275	Moyenne	.366

Tableau 8.19.: *Exposants des fonctions exponentielles individuelles. Les sujets sont classés par ordre croissant en fonction de la valeur de l'exposant.*

Les deux distributions d'exposants diffèrent significativement ($t_{26}=2.82$, $p<.01$). Si l'ensemble des résultats s'ajuste sur des exponentielles, la pente des fonctions est donc plus faible chez les grimpeurs. Le 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 8.3. représente ces fonctions d'ajustement.

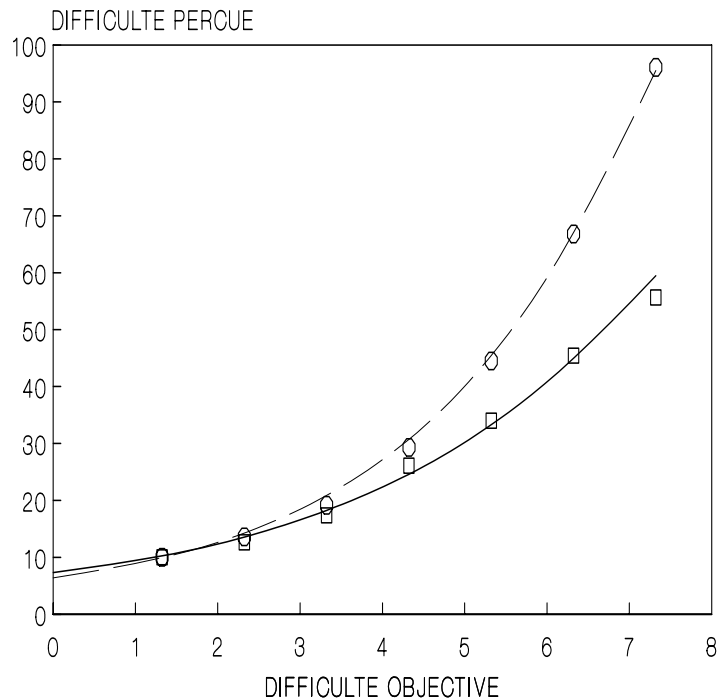


Figure 8.3.: Relation difficulté objective-difficulté perçue. En plein: groupe 1, en pointillé: groupe 2. Fonctions d'ajustement: groupe 1, $DP = (.732) * e^{(.299)DO}$, $r=.997$; groupe 2, $DP = (.639) * e^{(.386)DO}$, $r=.999$.

Ce résultat va dans le sens de notre hypothèse. On peut néanmoins en retenir d'autres lectures. Notamment, les grimpeurs qui ont participé à cette expérience sont pour la plupart engagés à haut niveau et avec succès dans le circuit compétitif. On peut dire que d'une manière générale, ils ont fait la preuve d'une bonne résistance au stress, et au stress compétitif en particulier. On peut supposer qu'ils auraient obtenu de faibles scores au State Competitive Anxiety Test que nous avons utilisé dans l'expérience précédente. Ceci pourrait expliquer également les différences constatées entre les deux groupes. Le grimpeur n°14 présente à ce niveau un profil intéressant: son exposant est le plus élevé obtenu lors de l'expérience, tous groupes confondus. Or, s'il est l'un des meilleurs grimpeurs mondiaux, sur le plan des difficultés franchies, il n'a jamais pu concrétiser cette supériorité en situation compétitive.

Les expériences exposées dans ce chapitre ne procurent que des résultats parcellaires, par rapport aux problématiques qu'elles envisagent. D'autres travaux seront nécessaires pour explorer les hypothèses que nous avons pu évoquer. Néanmoins, ces résultats attestent de la validité des fonctions mises en évidence au plan individuel, et de la signification des exposants qui les caractérisent.

LES CONTAMINATIONS SECONDAIRES.

Nous avons évoqué précédemment les conclusions de Dornic, Sarnecki et Svensson (1973), doutant de l'existence d'un sentiment "authentique" de difficulté. La difficulté, selon les auteurs, doit plutôt être pensée en tant qu'expérience médiate, dont le type et les mécanismes d'élaboration varient d'une tâche à l'autre. Nos travaux nous incitent à l'inverse à penser qu'il existe un mécanisme fondamental de perception de la difficulté, transversal à l'ensemble des tâches auxquelles le sujet peut être confronté. La mise en évidence de ce processus ne nie pas le fait qu'il puisse être altéré par des "contaminations", comme le supposaient Borg, Bratfisch et Dornic (1971b, 1971c). Ces contaminations peuvent renvoyer à certains aspects des tâches, entraînant des sur- ou sous-évaluations systématiques de la part des sujets. Nous avons ainsi pu remarquer, dans une expérience portant sur l'estimation de l'effort requis dans des tâches de marche, que si les évaluations réalisées étaient dans l'ensemble pertinentes, certains descripteurs de la tâche (vitesse, durée, repos accordé) entraînaient des effets modulateurs systématiques (Delignières et Famose, 1991).

En ce qui concerne la difficulté, nous avons pu analyser ce type de contamination lors de deux expériences, dont les protocoles ont déjà été décrits. La première consistait à étudier l'évaluation de la difficulté dans les tâches de pointage de Fitts, à l'aide de l'échelle de catégories DP-15 (cf. Chapitre 6.2.). Rappelons que 27 sujets ont participé à cette expérience, qui consistait à réaliser 16 tâches de double pointage, dont les ID se distribuaient de 1.32 à 7.32. Après réalisation de chaque tâche, les sujets en évaluaient la difficulté, selon l'échelle de catégories.

On avait alors montré que l'échelle de difficulté perçue ainsi construite variait linéairement avec l'indice de difficulté.

$$DP = (2.255 * ID) - 2.450 \quad (r = .974)$$

A partir de cette équation, on peut calculer pour chaque tâche les valeurs ajustées de difficulté perçue (c'est-à-dire la valeur que l'on devrait obtenir si l'équation rendait compte de l'ensemble de la variance de la difficulté perçue), ainsi que les écarts à l'ajustement (Tableau 9.1.).

L'analyse des corrélations entre l'écart à l'ajustement et les différents descripteurs de la tâche fait apparaître que l'indice de difficulté n'a pas d'influence sur l'écart ($r = .000$). Par contre on trouve une corrélation significative avec la taille des cibles ($r = -.458$, $p < .05$), et l'espacement ($r = -.502$, $p < .05$). A indice de difficulté équivalent, les tâches seront d'autant plus surestimées que les cibles seront petites ou espacées, et vice-versa.

Tâche	W (cm)	A (cm)	ID (bit/s)	DP	DP ajustée	Ecart à l'ajustement
A1	0.5	5	4.32	9.07	7.30	1.77
A2	0.5	10	5.32	10.93	9.55	1.38
A3	0.5	20	6.32	12.13	11.81	.33
A4	0.5	40	7.32	13.53	14.06	-.53
A5	1	5	3.32	5.73	5.04	.69
A6	1	10	4.32	8.00	7.30	.70
A7	1	20	5.32	9.40	9.55	-.15
A8	1	40	6.32	11.67	11.81	-.14
A9	2	5	2.32	2.27	2.79	-.52
A10	2	10	3.32	4.60	5.04	-.44
A11	2	20	4.32	6.53	7.30	-.76
A12	2	40	5.32	8.53	9.55	-1.02
A13	4	5	1.32	1.40	.53	.87
A14	4	10	2.32	1.80	2.79	-.99
A15	4	20	3.32	4.20	5.04	-.84
A16	4	40	4.32	6.93	7.30	-.36

Tableau 9.1.: Pour chaque tâche expérimentale, taille (W) et espacement (A) des cibles, indice de difficulté (ID), score de difficulté perçue, score ajusté de difficulté perçue et écart à l'ajustement.

Ceci ne nous renseigne néanmoins pas sur le poids respectifs de ces facteurs. Une analyse en régression multiple de la difficulté subjective, après réduction et centration des données, selon l'indice de difficulté, la largeur des cibles et l'espacement donne les résultats suivants:

$$Z_{DP1} = (.795)Z_{ID} + (.256)Z_{1/W} + (.007)Z_A + (.000) \quad (r=.982)$$

L'ajustement obtenu est plus précis que la régression linéaire simple de la difficulté subjective selon la quantité d'information ($r=.982$ vs $r=.974$). Le coefficientage montre l'importance de l'indice de difficulté. L'équation confirme ensuite l'influence de la taille des cibles. L'espacement ne semble jouer qu'un rôle insignifiant. On peut dire que la difficulté subjective est principalement liée à la quantité d'information à traiter, la taille des cibles en modulant secondairement la valeur.

Une seconde investigation nous a permis de déboucher sur des résultats de nature similaire. Il s'agit de l'expérience utilisant les tâches de lancer de fléchettes (Chapitre 4.2.). Il s'agissait, pour neuf sujets (âge moyen 10.8, écart-type .40), de lancer des flèches sur une cible mobile. 20 tâches étaient proposées, variant en fonction:

- de l'incertitude spatiale liée à la prévisibilité de la trajectoire de la cible;
- de l'incertitude temporelle liée à la prévisibilité de la vitesse de la cible;

- de la précision spatiale liée à la distance de lancer;
- de la précision temporelle liée à la vitesse de la cible.

Les sujets effectuaient 8 lancers sur chacune des tâches retenues. Au terme de chaque série de huit lancers, on leur demandait d'évaluer la difficulté de la tâche, selon l'échelle DP-15. On a pu montrer que la relation performance-difficulté perçue s'ajuste linéairement:

$$DP = (-.254)PERF + 11.700 \quad (r = -.945)$$

A partir de cette équation, on peut pour chaque tâche, selon la méthode indiquée précédemment, calculer les écarts à l'ajustement linéaire. Ces écarts sont indiqués dans le tableau 9.2. Le calcul des corrélations par les rangs (Spearman) entre la distribution des écarts et les niveaux des variables caractérisant la tâche donne les résultats suivants:

Incertitude spatiale:	$r_s = .499$ ($p < .05$)
Incertitude temporelle:	$r_s = .137$ (NS)
Précision spatiale:	$r_s = -.129$ (NS)
Précision temporelle:	$r_s = .071$ (NS)

Tâche	Ecart à l'ajustement	Tâche	Ecart à l'ajustement
1	-1.04	11	.42
2	-.11	12	1.92
3	.96	13	1.37
4	.42	14	.24
5	-.36	15	-.89
6	-.47	16	.53
7	-.50	17	-.32
8	-.84	18	.30
9	-.81	19	.69
10	-.57	20	-.14

Tableau 9.2.: *Écarts à l'ajustement, pour les 20 tâches expérimentales.*

Le niveau de performance ne rend pas compte de la totalité de la variance de la difficulté perçue. L'analyse des écarts à l'ajustement met en évidence une modulation secondaire, liée notamment à l'incertitude spatiale. La corrélation positive indique que les tâches à forte incertitude spatiale sont surestimées, quand les tâches à faible incertitude spatiale sont sous-estimées. Ce résultat est surprenant si l'on se réfère à celui obtenu sur le même dispositif par Famose, Genty, Durand et Pichard (1991), montrant que dans une équation de régression multiple exprimant le niveau de performance en fonction des niveaux des quatre variables, le poids relatif de l'incertitude spatiale est négligeable: la performance peut en fait être prédite, avec une précision acceptable, à partir des seuls niveaux d'incertitude temporelle et de précision spatiale. Ceci indique clairement que cette "contamination"

secondaire, par le facteur incertitude spatiale, est indépendante du niveau de ressources sollicité et de la performance.

Ces deux expériences montrent l'influence possible de l'appréhension visuelle de la tâche, sur le jugement formulé sur sa difficulté. D'autres facteurs, notamment contextuels, sont sans doute à prendre en considération. C'est le cas notamment des facteurs de risque: nous avons ainsi pu montrer qu'à niveau d'habileté équivalent, des sujets gravissant une voie d'escalade en tête, c'est-à-dire en risquant une chute en cas d'échec, percevaient la tâche comme plus difficile que des sujets la réalisant assurés du haut (Delignières, 1990). D'autres facteurs seraient également à envisager dans des travaux futurs, tels que les contextes compétitifs, la présence de spectateurs, les facteurs d'enjeu, etc... Nicholls (1984) estime qu'un climat compétitif peut complètement modifier la représentation de la difficulté chez les sujets: dans ce cas la difficulté ne serait plus jugée de manière "objective", à partir des caractéristiques de la tâche, mais dans une optique normative, à partir de la performance d'autrui (Famose, 1991). Les conceptions de Nicholls semblent *a priori* inconciliables avec notre modèle de la perception de la difficulté. Les méthodes d'investigations que nous avons mises au point devraient nous permettre de déterminer la nature de l'influence du climat compétitif, soit une modification complète de la logique de la perception de la difficulté, soit comme nous serions plutôt tentés de le supposer, une contamination secondaire du processus de base.

CONCLUSION

Le fait qu'une démarche de type psychophysique soit envisageable pour l'étude d'un phénomène donné ne confère pas nécessairement à ce dernier le statut de dimension ou même de modalité sensorielle. Ainsi la méthode de Thurstone permet la construction d'échelles de jugements, même en l'absence d'un continuum du *stimulus* (par exemple des jugements sur l'importance relative de tel ou tel service urbain; Baird et Noma, 1978). Kemp (1991) utilise la méthode d'estimation des grandeurs pour étudier la perception de l'utilité des services publics en Allemagne Fédérale. Nous avons utilisé cette méthode pour hiérarchiser et ranger sur une échelle d'intervalles six critères de jugement de l'importance de tâches spécifiées dans l'exercice d'un métier. Nous avons pu montrer que l'échelle ainsi constituée était très proche d'une échelle construite à partir de la méthode proposée par Thurstone (Famose, Delignières et Fleurance, 1992). Ces expériences étudient des jugements, des sentiments, des attitudes vis-à-vis de tel ou tel item. Les méthodes utilisées permettent de quantifier des représentations *a priori* qualitatives. On ne peut évidemment pas parler à ce niveau de sensation, mais plutôt d'un effort pour transformer en grandeurs des jugements de valeurs.

Qu'en est-il de la difficulté? Au terme de cet exposé, nous pensons avoir contribué à éclairer les mécanismes de sa perception. Nos principaux résultats peuvent se résumer ainsi:

- La perception de la difficulté est basée sur l'importance de l'investissement en ressources que le sujet a engagé pour réaliser la tâche. On peut décrire une fonction de type puissance entre ces deux variables, dont l'exposant moyen se situe entre 1.6 et 2.0. Par contre la difficulté perçue semble indépendante de la performance effectivement réalisée.

- La valeur de cet exposant est constante, quelle que soit la nature de la tâche réalisée. La perception de la difficulté apparaît comme un processus transversal, indépendant des opérations de traitement de l'information sollicités par la tâche.

- Cet exposant apparaît en outre comme une caractéristique invariante du sujet. Ses liens avec certains traits de personnalité, comme l'anxiété, n'ont cependant pas pu être clairement établis.

- On peut décrire une relation exponentielle entre l'entropie de la tâche et la difficulté perçue. L'exposant moyen de cette fonction se situe entre .40 et .45.

La perception de la difficulté ne peut évidemment pas être considérée comme une pure dimension sensorielle, comme par exemple la perception de l'intensité lumineuse ou sonore (Borg, 1982b). Il nous est impossible d'y associer un récepteur, ni une circuiterie neuronale spécifique. Néanmoins nous pensons avoir montré qu'à l'instar de la perception de l'effort, la perception de la difficulté obéit à des lois, possède des invariants, et semble être liée à un

stimulus mesurable, même si nous ne pouvons conclure à ce niveau que par inférence. Dans ce sens nous pensons que la difficulté perçue n'est pas un simple jugement du sujet sur les caractéristiques des tâches, mais une sensation interne. En d'autres termes, un sujet qui évalue la difficulté perçue selon la méthode d'estimation des grandeurs ne convertit pas en nombre un jugement qualitatif, il transpose sur une échelle numérique une grandeur psychologique.

Nos travaux, s'opposant en cela aux conclusions de Dornic, Sarnecki et Svensson (1973) ou Dornic, Bratfisch et Larsson (1973), nous amènent à supposer l'existence d'une sensation "authentique" de difficulté, issue d'un processus basal pouvant être secondairement "contaminé" (Borg, Bratfisch et Dornic, 1970) par certaines caractéristiques particulières des tâches réalisées.

Comparé à la masse de travaux réalisés par exemple dans le cadre de la perception de l'effort, nos expériences ne constituent qu'un *corpus* fort limité. Elles apportent néanmoins un réseau de vraisemblances, et une consistance dans les résultats qui du moins valident la démarche adoptée.

BIBLIOGRAPHIE

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* (pp. 478-485). 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.

Amoros, F. (1815). *Mémoire lu à la Société pour l'Instruction Elémentaire de Paris*. Paris: Favre.

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.

Bandura, A. (1977). Self-efficacy: toward a unifying theory of behavioral change. *Psychological Review*, **84**, 191-215.

Baird, J.C., & Noma, E. (1978). *Fundamentals of scaling and psychophysics*. New York: Wiley.

Berlyne, D.E. (1960). *Conflict, arousal and curiosity*. New York: McGraw Hill.

Billing, J. (1980). An Overview of Task Complexity. *Motor Skills: Theory into Practice*, **4**(1), 18-23.

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: Glerup.

Borg, G.A.V. (1970a). Perceived exertion as an indicator of somatic stress. *Scandinavian Journal of Rehabilitation Medecine*, **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. (1972a). *A ratio-scaling method for interindividual comparisons* Reports from the Institute of Applied Psychology, University of Stockholm, n°27.
- Borg, G.A.V. (1972b). *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. (1973). *Perceived exertion during walking: a psychophysical function with two additional constants*. Reports from the Institute of Applied Psychology, the University of Stockholm, n°39.
- 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. (1977). Aspects subjectifs de la charge physique et mentale. *Le Travail Humain*, **40**(2), 225-232.
- 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 H.G. Geissler et P. Petzold (Eds.), *Psychological Judgement and the Process of Perception* (pp. 25-33). 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* (pp. 293-302). Stockholm: MacMillan.
- Borg, G.A.V., & Borg, P. (1987). *On the relations between category scales and ratio scales and a method for scale transformation*. Reports from the Department of Psychology, University of Stockholm, n°672.
- Borg, G.A.V., Bratfish, O., & Dornic, S. (1971a). On the problems of perceived difficulty. *Scandinavian Journal of Psychology*, **12**, 249-260.
- Borg, G.A.V., Bratfish, 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., Bratfish, 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., & Dahlström, H. (1960). *The perception of muscular work*. Umea vetenskapliga biblioteks skrifter, n°5.
- 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., & Hosman, J. (1970). *The metric properties of adverbs*. Reports from the Institute of Applied Psychology, University of Stockholm, n°7.
- Borg, G.A.V., & Karlsson, J.G. (1976). *The psychological constants for subjective force in bicycle ergometry and their dependance 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.
- Bovet, P. (1969). La méthode des jugements absolus en psychophysique. *Bulletin de Psychologie*, **22**, 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.
- Brisswalter, J. (1992). *Interactions entre les processus physiologiques et cognitifs: effet des facteurs d'expertise dans la tâche cognitive et de condition physique*. Mémoire pour le diplôme de l'INSEP. Paris: INSEP.
- Brun, J.F., Elbouhmedi, A., & Orsetti, A. (1990). *Evaluation psychométrique de l'intensité de l'exercice chez des sédentaires et des footballeurs professionnels*. Communication présentée au 7ème Congrès International de Psychologie du Sport, Montpellier, 3-4-5 Octobre 1990.
- 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.
- Comrey, A.L. (1950). A proposed method for absolute ratio scaling. *Psychometrika*, **15**, 323-334.
- Davey, C.P. (1973). Physical exertion and mental performance. *Ergonomics*, **16**(5), 595-599.
- Delignières, D. (1990). *La difficulté en escalade. Exigences objectives et perception des exigences dans les tâches motrices*. Mémoire pour le diplôme de l'INSEP. Paris: INSEP.

- Delignières, D. (1991). Risque perçu et apprentissage moteur. In J.P. Famose, P. Fleurance & Y. Touchard (Eds.), *Apprentissage moteur et représentations* (pp. 157-171). Paris: EPS.
- Delignières, D. (1992). Apprentissage moteur et verbalisation. *Echanges et Controverses*, **4**, 29-42.
- Delignières, D., & Famose, J.P. (1991). Estimation des exigences bioénergétiques des tâches motrices. Influence de l'âge et du sexe. *STAPS*, **12**(24), 63-72.
- Delignières, D., Famose, J.P., Thépaut-Mathieu, C., & Fleurance, P. (1991). La perception des exigences dans les tâches de grimper. In J. Bilard & M. Durand (Eds), *Sport et Psychologie* (pp. 171-179). Paris: EPS/SFPS.
- Delignières, D., Legros, P., & Famose, J.P. (1991). Perception de l'effort et difficulté de la tâche. *Science et Motricité*, **13**, 14-18.
- Demeny, G. (1903). *Mécanisme et éducation des mouvements*. Paris: Alcan.
- De Montmollin, M. (1984). *L'intelligence de la tâche*. Berne: Peter Lang.
- 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*. Reports from 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*. Reports from 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.
- Durand, M. (1983). Les exigences bio-énergétiques des tâches motrices. In J.P. Famose, J. Bertsch, E. Champion & M. Durand, *Tâches motrices et stratégies pédagogiques en éducation physique et sportive* (pp. 23-31). Paris: Revue EPS.

- Durand, M. (1987). *L'enfant et le sport*. Paris: PUF.
- Durand, M., & Barna, R. (1987). Exigences de la tâche et performances motrices: étude développementale. In A. Vom Hofe et R. Simonnet, *Recherches en Psychologie du Sport* (pp. 150-161). Paris: EAP.
- Durand, M., Bourrier, J., & Legros, P. (1991). Effet de différentes intensités d'effort physique sur les comportements de spécialistes ou non de sports collectifs dans des tâches de temps de réaction. In J. Bilard et M. Durand, (Eds.), *Sport et Psychologie* (pp. 43-50). Paris: EPS/SFPS.
- Durand, M., Famose, J.P., & Bertsch, J. (1986). Motor skill acquisition and complexity of the task. In *Trends and Development in Physical Education, Proceedings of the Conference 86*. Londres: Spon.
- 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. (1956). *Subjective power functions and the method of fractionation*. Reports from the Psychological Laboratories, University of Stockholm, n°34.
- Ekman, G. (1964). Is the power law a special case of Fechner's law? *Perceptual and Motor Skills*, **19**(2), 730.
- Ekman, G., & Frankenhaeuser, M. (1957). *Subjective time scales*. Reports from the Psychological Laboratories, University of Stockholm, n°49.
- Eysenck, M.W. (1967). *The Biological Basis of Personality*. Springfield: Thomas.
- Eysenck, H.J., & Eysenck, S.B.G. (1971). *Inventaire de personnalité d'Eysenck (E.P.I.)*. Paris: EAP.
- Famose, J.P. (1982). Apprentissage moteur et tâches motrices. In R. Thomas, *Sport et Sciences* (pp. 67-80). Paris: Vigot.
- Famose, J.P. (1983a). Stratégies pédagogiques, tâches motrices et traitement de l'information. In J.P. Famose, J. Bertsch, E. Champion & M. Durand, *Tâches motrices et stratégies pédagogiques en éducation physique et sportive* (pp. 9-21). Paris: 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. (1985). L'habileté motrice: théorie et enseignement. *STAPS*, **12**(24), 31-48.
- Famose, J.P. (1987). *Fonctions requises, complexité de la tâche et apprentissage moteur*. In A. Vom Hofe et R. Simonnet, *Recherches en Psychologie du Sport*. Paris: EAP.
- Famose, J.P. (1990). *Apprentissage moteur et difficulté de la tâche*. Paris: INSEP.

- Famose, J.P. (1991). Rôle des représentations cognitives de la difficulté de la tâche et de l'habileté du sujet dans l'apprentissage moteur et la motivation à apprendre. In J.P. Famose, P. Fleurance & Y. Touchard (Eds.), *Apprentissage moteur et représentations* (pp. 97-118). Paris: EPS.
- Famose, J.P., Bertsch, J., & Durand, M. (1987). Performances motrices de joueurs et de non-joueurs de tennis dans des tâches de différents niveaux d'incertitude spatiale. In A. Vom Hofe et R. Simonnet, *Recherches en Psychologie du Sport* (pp.166-168). Paris: EAP.
- Famose, J.P., Delignières, D., & Fleurance, P. (1992). *Discrimination et hiérarchisation des aptitudes physiques et psychologiques mises en jeu lors de l'exécution des tâches spécifiques des emplois militaires*. Rapport intermédiaire, Contrat de recherche ARMEVAL, INSEP-EMAT.
- Famose, J.P., Delignières, D., & Genty, J. (1991). *Perception de la difficulté dans une tâche d'anticipation-coïncidence*. Communication présentée aux Journées de L'ACAPPS, Lille, Novembre 1991.
- 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 (pp.156-163).
- Famose, J.P., & Genty, J., Durand, M., & Pichard, J.F. (1991). Description de la tâche et prédiction de la performance. *Science et Motricité*, **15**, 7-12.
- Famose, J.P., Kosnikowski, C. (1987). *Exigences de précision d'une tâche motrice et apprentissage moteur*. In A. Vom Hofe et R. Simonnet, *Recherches en Psychologie du Sport* (pp. 162-165). Paris: EAP.
- Feltz, W.M., Crouse, S., & Brunetz, M. (1988). Influence of aerobic fitness on ratings of perceived exertion during light to moderate exercise. *Perceptual and Motor Skills*, **67**(2), 671-676.
- 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. (1962). Factors in complex skill training. In R. Glaser, *Training Research and Education*. Pittsburg: University of Pittsburg Press.
- Fitts, P.M., & Peterson, J.R. (1964). Information capacity of discrete motor responses. *Journal of Experimental Psychology*, **67**(2), 103-111.
- Gallanter, 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.
- Gentile, A.M. (1972). A working model of skill acquisition to teaching. *Quest*, **17**, 3-23.

- Gescheider, G.A. (1988). Psychophysical scaling. *Annual Review of Psychology*, **39**, 169-200.
- Guillerme, J. (1980). L'autonomie du moteur animé et les hésitations de la mesure. *Travaux et Recherches en EPS*, **6**, 57-60.
- Guillerme, J. (1981). Le sens de la mesure: notes sur la protohistoire de l'évaluation athlétique. In C. Pociello (Ed.), *Sports et Société* (p. 57-73). 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.
- Hancock P.A., & Meshkati, N. (1988). *Human Mental Workload*. North-Holland: Elsevier Science Publishers.
- Hart, S.G., & Staveland, L.E. (1988). Developpement of NASA-TLX: Results of empirical and theoretical research. In P.A. Hancock & N. Meshkati (Eds.), *Human Mental Workload* (pp.139-184). North-Holland: Elsevier Science Publishers.
- 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* (pp. 201-228). Academic Press: New York.
- Hebenstreit, J. (1989). Théorie de l'information. In *Encyclopédia Universalis*, Corpus, vol. 9, 1140-1141.
- Hébert, G. (1941). *L'éducation physique virile et morale par la méthode individuelle*. Paris: Vuibert.
- Herbert, A. (1974). *Measurement of perceived work difficulty*. Reports from the Institute of Applied Psychology, University of Stockholm, n°52.
- Hetzler, R.K., Seip, R.L., Boutcher, S.H., Pierce, E., Snead, D., & Weltman, A. (1991). Effect of exercise modality on ratings of perceived exertion at various lactate concentrations. *Medecine and Science in Sports and Exercise*, **23**(1), 88-92.
- Hick, W.E. (1952). On the rate of gain of information. *The Quartely Journal of Experimental Psychology*, **4**, 11-26.
- 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.
- Holding, D.H. (1981). Skills research. In D.H. Holding (Ed.), *Human Skills: Studies in Human Performance*. New York: Wiley.
- 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.

- Humphreys, M.S., & Revelle, W. (1984). Personality, motivation, and performance: a theory of the relationship between individual differences and information processing. *Psychological Review*, **91**(2), 153-184.
- Hyman, R. (1953). Stimulus information as a determinant of reaction time. *Journal of Experimental Psychology*, **45**(3), 188-196.
- Jex, H.R. (1988). Measuring mental workload: Problems, progress, and promises. In P.A. Hancock & N. Meshkati (Eds.), *Human Mental Workload* (pp.219-229). North-Holland: Elsevier Science Publishers.
- Kantowitz, B.H., & Knight, J.L. (1976). On experimenter-limited processes. *Psychological Review*, **83**(6), 502-507.
- Kantowitz, B.H., & Knight, J.L. (1978). When is an easy task difficult and vice-versa? A reply to Lane. *Acta Psychologica*, **42**, 163-170.
- Kemp, S. (1991). Magnitude estimation of the utility of public goods. *Journal of Applied Psychology*, **76**(4), 533-540.
- Kilbom, A., Gamberale, F., Persson, J., & Annwall, G. (1983). Physiological and Psychological Indices of Fatigue during Static Contractions. *European Journal of Applied Physiology*, **50**(2), 179-183.
- Knapp, B. (1963). *Skill in sport*. London: Routledge and Kegan Paul.
- Kukla, A. (1972). Foundations of an attributional theory of performance. *Psychological Review*, **79**(6), 454-470.
- Laming, D. (1973). *Mathematical Psychology*. Londres, New-York: Academic Press.
- Landers, D.M., & Boutcher, S.M. (1986). Arousal, Performance. In J.M. Williams (Ed), *Applied sport psychology, personnal growth to peak performance*. Palo alto: Mayfield Publishing Company.
- Langolf, G.D., Chaffin, D.B., & Foulke, J.A. (1976). An investigation of Fitts'law using a wide range of movement amplitudes. *Journal of Motor Behavior*, **8**, 113-128.
- Legros, P., Delignières, D., Durand, M. & Brisswalter, J. (1992). Influence de l'effort physique sur le temps de réaction simple et de choix chez des basketteurs de haut-niveau. *Science et Sports*, **7**, 9-14.
- Leontiev, A. (1976). *Le développement du psychisme*. Paris: Editions Sociales.
- 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. (1987). Les habiletés et leur analyse. Terrain et laboratoire. In M. Laurent et P. Therme (Eds.), *Recherches en Activités Physiques et Sportives*, n°2 (pp.325-341). Marseille: Centre de recherche de l'UEREPS, Aix-Marseille I.

- Leplat, J., & Hoc, J-M. (1983) Tâche et activité dans l'analyse psychologique des situations. *Cahiers de Psychologie Cognitive*, **3**(1), 50-63.
- Ljunggren, G., & Hassmén, P. (1991). Perceived exertion and physiological economy of competition walking, ordinary walking and running. *Journal of Sports Sciences*, **9**, 273-283.
- Luce, R.D. (1986). *Response times*. Oxford University Press :New York, et Clarendon Press: Oxford.
- 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. , Vealey, R.S., & Burton, D. (1990). *Competitive Anxiety in Sport*. Champaign, Ill.: Human Kinetics Books.
- McGrath, J.E. (1970). A conceptual formulation for research on stress. In J.E. McGrath (Ed.), *Social and psychological factors in stress* (pp.1-13). New York: Holt, Rinehart and Winston.
- McKenzie, 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.
- Moray, N. (1982). Subjective Mental Workload. *Human Factors*, **24**(1), 25-40.
- 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* (pp. 126-129). Chicago: American Medical Association.
- Navon, D., & Gopher, D. (1979). On the economy of the human processing system. *Psychological Review*, **86**(2), 214-255.
- Navon, D., & Gopher, D. (1981). Task difficulty, resources and dual task performance. In R.S. Nickerson (Ed.), *Attention and performance, VIII* (297-315). Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Nicholls, J.G. (1984). Achievement motivation: Conceptions of ability, subjective expérience, task choice, and performance. *Psychological Review*, **91**(3), 328-346.
- Nicholls, J.G., & Miller, A.T. (1983). The differentiation of the concepts of difficulty and ability. *Child Development*, **54**, 951-959.
- Norman, D.A., & Bobrow, D.J. (1975). On data-limited and resource-limited processes. *Cognitive Psychology*, **7**, 44-64.
- Paillard, J. (1990). Réactif et prédictif: deux modes de gestion de la motricité. In V. Nougier et J.P. Blanqui (Eds), *Pratiques sportives et modélisation du geste* (pp.13-56). Grenoble: UFR APS.
- Pandolf, K.B., Burse, R.L., & Goldman, R.F. (1972). Differentiated rating of perceived exertion during physical conditioning of older individuals using leg-load weighting. *Perceptual and Motor Skills*, **40**(1), 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.
- Pociello, C. (1981). La force, l'énergie, la grâce et les réflexes. In C. Pociello (Ed.), *Sports et Société* (p. 171-237). Paris: Vigot.
- Poulton, E.C. (1957). On prediction in skilled movements. *Psychological Bulletin*, **2**, 99-112.
- Reid, G.B., & Nygren, T.E. (1988). The subjective workload assessment technique: a scaling procedure for measuring mental workload. In P.A. Hancock & N. Meshkati (Eds.), *Human Mental Workload* (pp.185-218). North-Holland: Elsevier Science Publishers.
- Rejeski, W.J., & Ribisl, P.M. (1980). Expected task duration and perceived exertion: an attributional analysis. *Journal of Sport Psychology*, **2**(2), 227-236.
- 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.
- Rivolier, J. (1989). *L'homme stressé*. Paris: PUF.
- Roberts, G.C. (1991). Personality, motivation and motor behavior. In J. Bilard & M. Durand, *Sport et Psychologie* (pp. 221-227). Paris: EPS/SFPS.
- 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.
- Salmela, J.H., & NDoyle, O.D. (1986). Cognitive distortions during progressive exercise. *Perceptual and motor skills*, **63**(3), 1067-1072.
- Schmidt, R.A. (1982). *Motor control and learning: a behavioral emphasis*. Champaign: Human Kinetics Publishers.
- Seip, R.L., Snaed, D., Pierce, E.F., Stein, P., & Weltman, A. (1991). Perceptual responses and blood lactate concentration: effect of training state. *Medecine and Science in Sports and Exercise*, **23**(1), 80-87.
- Singer, R.N., & Gerson, R.F. (1981). Task classification and strategy utilisation for motor skill learning. *Research Quarterly*, **52**(1), 100-116.
- Sjöberg, H. (1968). *Relation between different arousal levels induced by graded physical work and psychological efficiency*. Reports from the Psychological Laboratories, University de Stockholm, n°251.
- Snedecor, G.W., & Cochran, W.G. (1967). *Statistical Methods*. Ames, Iowa: Iowa State University Press (6ème édition).

- 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.
- Spielberger, C.D. (1972). Conceptual and methodological issues in anxiety research. In C.D. Spielberger (Ed.), *Anxiety: Current trends in theory and research* (vol. 2, pp. 481-493). New York: Academic Press.
- Stauffacher, J.C. (1937). The effects of induced muscular tension upon various phases of the learning. *Journal of Experimental Psychology*, **21**, 26-46.
- Stevens, J.C., & Cain, W.S. (1970). Effort in isometric muscular contractions related to force level and duration. *Perception and Psychophysics*, **8**, 240-244.
- Stevens, J.C., & Mack, J.D. (1959). Scales of apparent force. *Journal of Experimental Psychology*, **58**, 405-413.
- Stevens, S.S. (1946). On the theory of scales of measurement. *Science*, **103**, 677-680.
- Stevens, S.S. (1957). On the psychophysical law. *Psychological Review*, **64**(2), 153-181.
- Stevens, S.S. (1959). Cross-modality validation of subjective scales for loudness, vibration and electric shock. *Journal of Experimental Psychology*, **57**, 201-209.
- Stevens, S.S. (1969). Le quantitatif et la perception. *Bulletin de Psychologie*, **22**, 696-704.
- Stevens, S.S., & Gallanter, E.H. (1957). Ratio scales and category scales for a dozen of perceptual continua. *Journal of Experimental Psychology*, **54**, 377-411.
- Teghtsoonian, R. (1971). On the exponents in Stevens' law and the constants in Ekman's law. *Psychological Review*, **78**(1), 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.
- Tiberghien, G. (1984). *Initiation à la psychophysique*. Paris: PUF.
- Ueda, T., & Kurokawa, T. (1991). Validity of heart rate and ratings of perceived exertion as indices of exercise intensity in a group of children while swimming. *European Journal of Applied Physiology*, **63**, 200-204.
- Vermersch, P. (1978). Une problématique théorique en psychologie du travail. *Le Travail Humain*, **41**(2), 265-278.
- Vidulich, M.A. (1988). The cognitive psychology of subjective mental workload. In P.A. Hancock & N. Meshkati (Eds.), *Human Mental Workload* (pp.219-229). North-Holland: Elsevier Science Publishers.
- Viens, T. (1992). *Incidence de la localisation des prises sur la difficulté en escalade*. Mémoire pour le diplôme de l'INSEP. Paris: INSEP.

Warren, R.M. (1969). Visual intensity judgements: an empirical rule and a theory. *Psychological Review*, **76**(1), 16-30.

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. (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.