

1996

LA PERCEPTION DE LA DIFFICULTE
DANS LES TACHES MOTRICES

NOTE DE SYNTHÈSE
EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLOME
D'HABILITATION A DIRIGER LES RECHERCHES

présentée par
DIDIER DELIGNIERES
Maître de Conférences

UFR STAPS
UNIVERSITE MONTPELLIER I

Première Partie

RAPPORT DE RECHERCHE

Composition du Jury:

- Claude Bonnet, Professeur, Université Strasbourg I (rapporteur)
- Jean-Francois Chatillon, Professeur, Université Montpellier III (rapporteur)
- Marc Durand, Professeur, Université Montpellier I
- Jean Pailhous, Directeur de Recherche, CNRS Marseille
- Hubert Ripoll, Professeur, Université Poitiers (rapporteur)

LA PERCEPTION DE LA DIFFICULTE DANS LES TACHES MOTRICES

Introduction.	3
1. Psychophysique et perception de la difficulté.	6
1.1. Que représentent les fonctions psychophysiques?.....	6
1.2. La mesure de la difficulté objective.	7
1.3. La mesure des sensations.	10
1.3.1. La construction d'échelles de rapports.	10
1.3.1.1. Méthodologie.	10
1.3.1.2. Méthodes d'ajustement.	12
1.3.2. Les échelles de catégories.	13
1.3.2.1. Soubassements théoriques.	13
1.3.2.2. L'échelle DP-15.	14
2. La perception de la difficulté: approche générale.	17
2.1. Difficulté perçue, difficulté objective et performance.....	18
2.2. Difficulté perçue et allocation de ressources.	22
3. Différences interindividuelles: la sensibilité à la difficulté et à l'effort.	26
3.1. Analyse des exposants individuels.	26
3.2. Approches différentielles.	30
4. Perception de l'effort et perception de la difficulté.	33
4.1. Perception de l'effort et difficulté de la tâche.	33
4.2. Perception de la difficulté et intensité de la tâche.	34
4.3. L'intégration perceptive: perception des exigences dans les tâches complexes ..	36
5. Perspectives de développement.	38
5.1. Représentation de la tâche et solution motrice.	40
5.2. Le guidage des stratégies de recherche.	43
5.3. Facteurs de contexte et coordination.	46
Conclusion.	47
Références.	48

INTRODUCTION

L'observation des situations sportives suggère que la performance d'un individu est loin d'être déterminée de manière mécanique par le rapport entre les exigences objectives de la tâche à laquelle il est confronté et les ressources potentielles dont il dispose. La geste sportive est parsemée d'exemples de contre-performances, d'athlètes "craquant sous la pression", ou à l'inverse d'exploits inattendus, d'*outsiders* se surpassant le temps d'une rencontre. Pour tel athlète, le possible devient insurmontable, et pour tel autre, l'inaccessible paraît subitement à portée.

Ces fluctuations de performance peuvent difficilement être attribuées à de soudaines modifications structurales. Nous les supposons davantage liées à une altération de la représentation qu'à la difficulté de la tâche à laquelle il est confronté. Certains travaux ont ainsi montré qu'une manipulation expérimentale, qualitative ou quantitative, de cette représentation permettait d'affecter de manière significative le niveau de performance réalisé (Jourden, Bandura & Banfield, 1991; Rejeski & Ribisl, 1980), et nombre de techniques de préparation psychologique, inspirées notamment du *goal-setting*, visent justement à l'adaptation optimale de cette représentation, vis-à-vis des contraintes de l'entraînement et des enjeux compétitifs (Botterill, 1978; Burton, 1989; Gould, 1986). La perception de la difficulté apparaît comme un des déterminants centraux du niveau d'expectation, de l'investissement des sujets et du niveau de performance atteint.

Le concept de difficulté perçue est communément introduit dans les modèles psychologiques de la motivation et des émotions. Ainsi pour McGrath (1970) ou Martens, Vealey et Burton (1990), la confrontation subjective entre difficulté perçue et habileté perçue constitue un déterminant majeur de l'état d'anxiété. Les théories de la motivation assignent à la difficulté perçue un rôle de premier plan dans l'acceptation ou le rejet de la tâche (Atkinson, 1957), l'investissement d'effort (Kukla, 1972) ou le plaisir ressenti (Harter, 1978). Enfin certains auteurs ont insisté sur le rôle de la difficulté perçue dans l'adaptation des stratégies du sujet (Dornic, 1986; Spérando, 1977).

Au-delà de leur apparente diversité, ces modèles s'accordent à postuler que la relation entre situation objective et comportement est médiée par une représentation des exigences de la tâche. Cependant si ces différents auteurs attribuent à la difficulté perçue, en tant que variable intermédiaire, un rôle central dans la régulation de l'orientation et de l'intensité du comportement, rares sont ceux qui tentent d'en préciser la nature. Atkinson (1957) fait ici exception, en assimilant clairement difficulté perçue et probabilité subjective de succès. Ce postulat a néanmoins été sévèrement critiqué par Kukla (1972), selon lequel dans les situations mettant en oeuvre l'habileté des sujets, niveau d'expectation et difficulté perçue sont nettement dissociés. Mais d'une manière générale, les auteurs demeurent donc très allusifs: tout se passe comme si la perception de la difficulté constituait une évidence première, ne

justifiant pas en tant que telle d'analyse plus approfondie.

Il convient tout d'abord de s'entendre sur les termes employés: nous avons proposé (Delignières, 1990), de distinguer d'une part la *difficulté estimée*, c'est-à-dire une évaluation des exigences réalisée avant toute tentative de réalisation de la tâche, et la *difficulté perçue* proprement dite, renvoyant à une évaluation *a posteriori*. Cette distinction nous semble fondamentale: si la difficulté perçue telle que nous la définissons peut renvoyer à une sensation, à un vécu du sujet, la difficulté estimée semble devoir reposer sur des processus de jugement, basés sur l'expérience antérieure, directe ou vicariante.

D'une manière générale, c'est plutôt à la difficulté estimée que font référence les modèles que nous avons évoqués précédemment. Cependant, sauf dans certains cas limites renvoyant davantage aux procédures artificielles de laboratoire qu'aux situations naturelles, difficulté estimée et difficulté perçue entretiennent des liens étroits. Dans le cadre des activités physiques et sportives, le sujet est fréquemment confronté à des activités continues: difficulté estimée et difficulté perçue semblent intimement liées dans la dynamique de l'action. Enfin souvent le sujet est amené à répéter plusieurs fois une même tâche discrète: dans ce cas on peut supposer que la difficulté perçue lors d'un essai donné constitue le principal déterminant de la difficulté estimée pour l'essai suivant.

Nous nous sommes principalement intéressé à la difficulté perçue. Ce choix n'avait d'autre signification que la volonté de restreindre, dans un premier temps, notre champ d'investigation. Cela nous a permis, au niveau méthodologique, de centrer nos investigations sur une approche psychophysique de la perception de la difficulté, reprenant en cela des travaux ébauchés dans les années 70 par Borg et ses collaborateurs (voir notamment Borg, Bratfish & Dornic, 1971a). Dans ce cadre, la difficulté perçue est considérée comme une sensation, générée par un *stimulus* qu'il convient d'identifier.

Ce choix a été également guidé par les préoccupations d'un de nos partenaires, la Fédération Française de la Montagne et de l'Escalade, qui s'interrogeait sur la pertinence de son système de cotation des difficultés. L'ensemble du dispositif institutionnel de la Fédération, des compétitions aux concours de cadres, reposait en effet sur ce système, c'est-à-dire fondamentalement sur la perception de la difficulté des voies par les experts. Quel crédit pouvait-on apporter à une procédure si subjective? Cette question avait été précédemment évoquée par Tiberghien (1984), comme l'une des perspectives d'application de la psychophysique subjective.

Dans une première partie, nous évoquons le cadre méthodologique de nos recherches, et notamment l'application des méthodes psychophysiques au problème de la perception de la difficulté. Cette introduction nous semble nécessaire, car derrière l'apparente simplicité des procédures employées, de nombreux problèmes théoriques affleurent, justifiant un ensemble de précautions méthodologiques et statistiques. De nombreux auteurs, et notamment dans le domaine des STAPS, semblent considérer qu'il suffit de présenter aux sujets une échelle de type Lickert pour obtenir une mesure légitime des sensations, susceptible de supporter les traitements statistiques les plus élaborés.

Dans une seconde partie, nous présentons une série de travaux qui ont visé à l'identification du *stimulus* pris en compte par les sujets dans la perception de la difficulté. Ces travaux nous ont amené à formuler l'hypothèse selon laquelle la difficulté perçue est principalement fondée sur l'allocation de ressources que le sujet a jugée nécessaire pour atteindre le but fixé. Plus fondamentalement, ces travaux visaient à confirmer le statut

psychophysique de la perception de la difficulté.

Dans une troisième partie, nous nous intéressons aux différences interindividuelles dans la perception de la difficulté. Nous développons en particulier l'hypothèse selon laquelle chaque sujet est caractérisé par une certaine sensibilité à la difficulté, déterminant quelle que soit la tâche et sa nature la forme et l'accélération de la relation difficulté objective - difficulté perçue.

Une quatrième partie nous permet de faire état d'une série de travaux destinés à analyser les interrelations entre perception de la difficulté et perception de l'effort physique, dans les tâches complexes.

Enfin, nous envisageons dans une dernière partie les développements que nous pensons donner à ces travaux. Si jusqu'à présent nous avons avant tout mis l'accent sur les processus de perception de la difficulté, limitant notre intérêt pour le comportement à des mesures chronométriques dans des tâches extrêmement simples, nous pensons nécessaire d'orienter nos recherches vers l'étude de la motricité complexe.

Première partie:

PSYCHOPHYSIQUE ET PERCEPTION DE LA DIFFICULTE

La psychophysique vise d'une manière générale à décrire les relations entre un *stimulus* et la sensation correspondante. A cet effet, on cherche la fonction mathématique la plus à même de rendre compte de la relation entre une mesure du *stimulus* et une mesure de la sensation. Les trois principaux problèmes méthodologiques de la psychophysique sont ici évoqués: mesure (et avant tout identification) du *stimulus*, mesure de la sensation, et ajustement mathématique de la relation.

1.1. Que représentent les fonctions psychophysiques?

Une fonction psychophysique est sensée décrire la relation entre un *stimulus* et la sensation correspondante. Il serait cependant plus juste de dire que les fonctions décrites rendent compte de la relation entre d'une part une grandeur physique et d'autre part les réponses quantitatives données par le sujet. En premier lieu, il est clairement erroné de considérer les réponses des sujets comme la traduction parfaite de la grandeur de leurs sensations. Les échelles de sensations produites par les sujets, et en conséquence les relations que ces échelles entretiennent avec le *stimulus*, dépendent des méthodes employées pour leur production. On admet couramment que la construction d'échelles de rapport, par les méthodes steveniennes telles que l'estimation des grandeurs, débouche sur la mise en évidence de fonctions puissance entre *stimulus* et réponse. L'utilisation d'échelles de catégories débouche plutôt sur des fonctions linéaires ou logarithmique, en fonction de la nature du *continuum* sensoriel étudié (Bonnet, 1986). De nombreux travaux ont montré en outre que les procédures expérimentales affectaient de manière systématique le comportement numérique des sujets: par exemple, la position du *modulus* sur le *continuum* des *stimuli*, dans les protocoles d'estimation des grandeurs, affecte la valeur de l'exposant (Bonnet, 1969). L'exposant est également sensible au nombre de *stimuli*, à l'écart entre deux *stimuli* successifs, ainsi qu'à l'étendue de la gamme des *stimuli* présentés (Bonnet, 1969, Teghtsoonian, 1971).

Enfin, divers auteurs ont insisté sur l'influence du comportement numérique de chaque sujet, c'est-à-dire de la manière dont chacun utilise les nombres et leurs propriétés (Gesheider, 1988). Certains travaux, notamment ceux présentés par Stevens (1957) sur l'égalisation inter-modalité, ainsi que notre propre approche de la sensibilité à la difficulté et à l'effort (voir 3^o partie), nous incitent cependant à douter de l'importance réelle de ce type de biais.

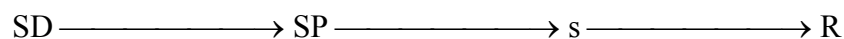
En second lieu, rien n'indique que la grandeur physique constitue une mesure réelle du

stimulus pris en compte par le système. Il faut noter à ce niveau que la définition du concept de *stimulus* est loin d'être claire (Tiberghien, 1984). On distingue parfois, dans la littérature, les notions de "*stimulus* distal", et de "*stimulus* proximal": le premier correspond à l'objet physique qui est à l'origine de la stimulation, alors que le second renvoie à la représentation codée de l'énergie transférée du *stimulus* distal aux cellules sensorielles réceptrices. Si la prise en compte des variations du *stimulus* distal est expérimentalement plus aisée et dans une perspective appliquée plus féconde, c'est avec le *stimulus* proximal que la sensation devrait entretenir les relations les plus authentiques.

Il est de plus fréquent que l'objet physique pris en considération se prête à différents types de mesures. Il est clair que le choix d'une mesure, au titre du *stimulus* distal, doit être lié à une réflexion théorique préliminaire sur la nature de la relation entre *stimulus* et sensation. Bonnet (1986) met 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)". Nous reviendrons dans la partie suivante sur ce problème.

Enfin la distinction *stimulus* distal/*stimulus* proximal a été proposée dans le cadre de dimensions sensorielles classiques, associant un objet physique à un organe récepteur clairement identifié. Dans ce cadre, on suppose une relation fonctionnelle directe entre l'énergie dispensée par le *stimulus* distal et le codage réalisé par le récepteur. Dans le cadre de dimensions moins classiques, telles que la perception de l'effort ou de la difficulté, l'identification du *stimulus* proximal est moins aisée, et les relations entretenues avec le *stimulus* distal moins directes. Disons en première approximation que dans ce cas, le *stimulus* proximal nous semble *suscité* par le *stimulus* distal, plutôt que déterminé de façon mécanique.

En conclusion, nous estimons qu'une fonction psychophysique doit être conçue comme la composition de trois relations, la première liant le *stimulus* distal (SD) au *stimulus* proximal (SP), la seconde le *stimulus* proximal à la sensation (s), et la troisième la sensation à la réponse des sujets (R):



C'est dans ce cadre complexe que nous nous sommes proposé d'analyser la perception de la difficulté dans les tâches motrices.

1.2. La mesure de la difficulté objective.

Dans une série d'expérimentations réalisées dans les années 60-70, Borg et ses collaborateurs ont tenté une approche psychophysique de la perception de la difficulté. Le but de ces expériences était de mettre en relation une mesure de la difficulté objective des tâches et une mesure de la difficulté perçue obtenue par la méthode d'estimation des grandeurs. Ces travaux ont débouché sur des résultats fort inconsistants. Au fil des expériences, la difficulté perçue apparaît en relation avec divers aspects de la tâche ou de la performance, et la nature de la relation décrite est tour à tour linéaire, logarithmique ou exponentielle (Borg, Bratfish & Dornic, 1971b, 1971c; Borg & Forsling; 1964; Bratfish, Dornic & Borg, 1970, 1972).

Cette inconsistance des résultats est interprétée par les auteurs comme l'indice de "contaminations" du sentiment de difficulté, en fonction des situations, par certains aspects

plus ou moins prégnants de l'architecture de la tâche ou de la performance. Dornic, Sarnecki et Svensson (1973) concluent même plus radicalement en affirmant que l'utilisation du terme "contamination" est inadéquate car elle suppose l'existence d'une sensation "authentique" de difficulté, pouvant être altérée 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 en reviennent en fait à nier la pertinence d'une démarche psychophysique dans ce domaine.

Nous avons émis un certain nombre de critiques à l'égard de ces travaux (Delignières, 1993a; Delignières & Famose, 1992). Notre objection principale est que la logique qui préside au choix de la variable utilisée comme indice de la difficulté objective reste obscure: on fait appel soit à des indices de performance, -et l'on doit alors distinguer la référence aux performances du groupe expérimental lui-même (Bratfisch, Dornic et Borg, 1970), et la référence aux performances d'une groupe distinct, d'effectif plus important (Borg et Forsling, 1964; Bratfisch, Dornic et Borg, 1972)-, soit à des descripteurs objectifs de la tâche (Borg, Bratfisch et Dornic, 1971b, 1971c), sans pour autant qu'un quelconque cadre théorique vienne valider le choix de tel ou tel type de descripteur. Or comme nous l'évoquions précédemment il est évident que le type de relation obtenu dépend de l'échelle choisie pour décrire le *stimulus*.

Le choix d'un modèle du *stimulus* distal doit satisfaire plusieurs critères: tout d'abord, il doit s'agir d'une mesure objective, portant sur les caractéristiques de la tâche. Ensuite, cette mesure doit présenter une relation systématique avec la performance moyenne des sujets. Enfin, ce mode de mesure doit pouvoir être généralisé à un ensemble de tâches différentes, de manière à pouvoir opérer des comparaisons intertâches.

Les tentatives les plus affinées de mesure de la difficulté objective ont été basées sur la théorie de l'information (Alain, 1976; Hayes et Marteniuk, 1976). Ces auteurs considèrent que l'entropie¹, c'est-à-dire la quantité moyenne d'information à traiter, représente une mesure valide des exigences informationnelles de la tâche. On a ainsi pu montrer, dans le cadre de tâches simples de temps de réaction, que la performance varie linéairement avec l'entropie (Hick, 1952; Hyman, 1953).

Fitts (1954) propose dans une logique similaire d'étudier les effets de la difficulté sur le temps d'exécution, dans une tâche de pointage. Les sujets devaient pointer alternativement et le plus vite possible deux cibles de largeur W et séparées par une distance A . Dans une réflexion analogique, par rapport à la théorie 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), correspondant à la quantité moyenne d'information à traiter pour le contrôle de chaque mouvement de pointage:

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

¹ 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.

Fitts montre que le temps de mouvement croît linéairement avec l'indice de difficulté. Cette relation a été confirmée ultérieurement, notamment pour des mouvements discrets (Fitts & Peterson, 1964; McKenzie *et al.*, 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 1. Ceci correspond par exemple aux tâches de temps de réaction simple, qui représentent donc un zéro absolu de difficulté. Dans les autres types de tâches, la détermination du zéro ne peut être qu'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 différente (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 donc 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, et 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).

Dans une tâche de recherche visuelle sous pression temporelle², nous avons proposé un premier mode de mesure du *stimulus*, qui consistait à calculer la quantité moyenne d'information à traiter par unité de temps (Delignières, 1990):

$$DO = I/TD$$

DO représentant la difficulté objective, I la quantité moyenne d'information à traiter par essai, et TD le temps séparant l'apparition d'un signal de celle du signal suivant (temps disponible). Nous avons montré que la relation entre cette mesure du *stimulus* et la difficulté perçue était loin d'être parfaite, mais qu'un modèle alternatif,

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

procurait une mesure plus pertinente de la difficulté objective (Delignières, 1990). Cet exemple montre que c'est parfois *a posteriori* que l'isolation d'une mesure pertinente du *stimulus* distal est possible.

La théorie de l'information semble donc susceptible de fournir une modélisation quantitative de la difficulté objective. La mesure de la difficulté réalisée selon cette méthode est néanmoins 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 nécessairement l'investigation à des tâches extrêmement simples.

1.3. La mesure des sensations.

Le problème central auquel est confrontée la psychophysique est celui de la mesure des sensations. Diverses méthodes ont marqué l'histoire de la discipline et s'y sont âprement confrontées. Nous avons pour notre part opté pour les méthodes dites directes, plus appropriées à notre objet. Plus spécifiquement, nous avons utilisé, en fonction des objectifs que nous poursuivions, soit les méthodes steveniennes de construction d'échelles de rapports, soit les échelles de catégories.

1.3.1. La construction d'échelles de rapports.

1.3.1.1. Méthodologie.

D'une manière générale, l'un des *stimuli* (appelé le *modulus*) de la série à évaluer est affecté arbitrairement d'une cotation donnée. Chaque *stimulus* est ensuite coté relativement au *modulus*, dans une logique de rapport: par exemple si le *modulus* est coté 10 et qu'une tâche est perçue comme deux fois plus difficile, cette tâche est cotée 20. Au-delà de sa simplicité apparente, cette méthode pour déboucher sur des résultats satisfaisants doit bénéficier de conditions expérimentales optimales. Un certain nombre de préceptes ont été édictés dans la littérature: nous nous contenterons ici d'évoquer ceux dont nous avons principalement tenu

² Dans cette expérience, les sujets devaient répondre à l'apparition de lettres sur un écran d'ordinateur en frappant sur le clavier les touches correspondantes. Un cache posé sur le clavier ne laissait apparaître que les lettres susceptibles d'être affichées à l'écran, soit 2, 4, 8, ou 16 lettres. Les lettres se succédaient à l'affichage à un rythme d'une lettre toutes les 1.078, .980, .862, .754, .647 secondes (Delignières, 1990).

compte.

- Bonnet (1986) préconise d'utiliser comme *modulus* le plus bas niveau du *stimulus*, les sujets maîtrisant mieux les rapports multiplicatifs que les fractions. Quelques observations préliminaires nous ont en effet vite convaincu que les résultats obtenus étaient beaucoup moins cohérents lorsque les sujets devaient manipuler des fractions, et dans l'ensemble de nos travaux le *modulus* est constitué par la tâche la plus facile de la série. Ce choix méthodologique pose cependant problème, car l'on sait que la position du *modulus* a une influence sur la fonction psychophysique obtenue (Bonnet, 1969). Néanmoins à aucun moment notre objectif a été de découvrir "la" fonction psychophysique de la difficulté, et il nous a semblé préférable de privilégier la cohérence du comportement évaluatif des sujets.

- On recommande de faire procéder à plus d'une évaluation par niveau du *stimulus* (Tiberghien, 1984). Cette précaution est intéressante, et permet souvent d'obtenir des données plus précisément ajustables. Elle a cependant l'inconvénient d'allonger les protocoles, ce qui peut entraîner un biais redoutable, lié à la fatigue des sujets, dans l'étude de la perception de la difficulté ou pire de l'effort. D'une manière générale, nous n'avons respecté ce principe de l'évaluation multiple que dans le cadre de protocoles courts (se limitant par exemple à l'évaluation d'une seule série de 5 à 10 *stimuli*).

- On recommande également de contrôler les effets d'ordre en contrebalançant entre sujets l'ordre de présentation des différents niveaux du *stimulus* (Tiberghien, 1984). Cette précaution nous paraît fondamentale, si l'on vise à caractériser avec la plus grande précision possible une fonction psychophysique donnée. Nous l'avons respecté, du moins dans notre approche générale de la perception de la difficulté (Delignières & Famose, 1992). Mais quand notre objectif a été les comparaisons interindividuelles, il nous a semblé plus judicieux de systématiser les éventuels effets d'ordre (Delignières & Famose, 1994; Delignières & Brisswalter, 1996).

Nous avons également testé (Delignières, 1990), dans une protocole utilisant les tâches de pointage réciproque, la méthode dite d'estimation des rapports. Dans cette méthode, les *stimuli* à évaluer sont présentés par paires, l'un des *stimulus* servant le *modulus* pour l'évaluation du second. Cette méthode débouche sur des protocoles extrêmement lourds. Nous avons obtenu des résultats en tout point comparables à ceux obtenus par la méthode d'estimation des grandeurs.

Enfin, nous avons pu montrer que cette méthode d'estimation des grandeurs pouvait également être appliquée dans des situations dans lesquelles aucune métrique objective du *stimulus* ne pouvait être envisagée (Fleurance, Delignières & Famose, 1993). Il s'agissait dans ce travail de hiérarchiser 6 critères d'évaluation de l'importance de tâches constitutives des emplois de l'Armée de Terre: coût stratégique, coût humain, coût matériel, fréquence d'apparition, difficulté d'apprentissage et délai de réalisation. Il était nécessaire en outre de déboucher sur une mesure permettant d'évaluer les intervalles séparant ces différents critères. Nous avons montré que la méthode d'estimation des grandeurs donnait des résultats similaires à la méthode de comparaison par paires de Thurstone (1927), mais dans un protocole beaucoup moins coûteux.

1.3.1.2. Méthodes d'ajustement.

Au-delà du problème de la mesure des sensations, se pose également celui de la recherche de l'ajustement mathématique de la relation *stimulus*/réponse. D'une manière générale, les auteurs limitent leurs analyses à la recherche d'un ajustement puissance, l'incertitude se limitant à la valeur de l'exposant caractéristique de la fonction. En fait, peu de données expérimentales s'ajustent parfaitement à la forme la plus simple de l'ajustement puissance ($R = aS^b$), ce dernier supposant une intersection à l'origine pour les deux échelles. Généralement les données suggèrent une intersection non nulle avec l'axe des ordonnées, et l'on a donc proposé certaines formes alternatives, telles que:

$$R = a + cS^b \quad (\text{Ekman et Akesson, 1965})$$

ou $R = a + c(S-d)^b \quad (\text{Borg, 1962})$

Il semble cependant que le recours à ces formes complexes d'ajustement, bien que permettant d'obtenir une description plus précise de la relation entre *stimulus* et réponse, entraîne une incertitude au niveau de la valeur de l'exposant. Bonnet (1969) note en particulier que la variabilité interindividuelle de l'exposant est en partie liée au choix de la constante a.

Nous estimons que la recherche d'ajustements plus simples, par la méthode des moindres carrés, est plus pertinente, notamment pour la comparaison des fonctions individuelles. Il n'est pas certain alors que l'ajustement le plus précis soit la fonction puissance. Dans nos expériences sur la difficulté perçue, à cause de l'intersection positive avec l'axe des ordonnées et de l'accélération positive de la courbe, c'est le plus souvent un ajustement exponentiel qui se révèle le plus pertinent. Il est vrai que depuis les travaux de Stevens, les psychophysiciens recherchent avant tout à ajuster leurs données sur des fonctions puissance. Mais dans la mesure où le but n'est pas de découvrir l'exposant moyen caractérisant une dimension perceptive, mais de comparer entre individus l'accélération de la relation *stimulus*-réponse, le recours exclusif à l'ajustement puissance ne nous paraît pas justifié.

Une analyse des données d'Ekman et Akesson (1965) nous permettra d'illustrer notre propos. Dans cette expérience les auteurs procédaient à la construction d'échelles individuelles concernant la perception de la salinité et de l'acidité. Des fonctions d'ajustement puissance, avec constante additive, étaient calculées. Les exposants individuels variaient de 1.11 à 1.97 pour la salinité, et de 1.33 à 1.98 pour l'acidité. Pour les 7 sujets ayant participé aux deux parties de l'expérience, on trouve entre les deux échantillons d'exposants une corrélation quasiment nulle ($r = .014$). Une analyse des données, par la méthode des moindres carrés, permet cependant de montrer qu'une fonction exponentielle, de forme

$$R = a * e^{bS}$$

procure un ajustement précis, tant pour la salinité que pour l'acidité. Au niveau individuel, on obtient un coefficient de corrélation moyen de .980 pour la salinité, et de .992 pour l'acidité. La corrélation entre les deux échantillons d'exposants ainsi constitués est extrêmement élevée ($r = .944$).

Les deux méthodes de calcul des ajustements débouchent sur des conclusions opposées. Le recours aux ajustements les plus simples, entraînant moins d'incertitude sur la valeur de l'exposant, nous semble nécessaire dans un travail portant sur les comparaisons interindividuelles.

1.3.2. Les échelles de catégories.

La construction d'échelles de rapport présente trois caractéristiques qui en limitent les perspectives d'application. En premier lieu, elle nécessite l'évaluation d'une série de tâches, représentant une large gamme des difficultés envisageables, et dont on peut mesurer le niveau objectif d'exigence (par le calcul de la quantité moyenne d'information à traiter ou par une mesure de la performance moyenne). Ceci est parfois difficile lorsqu'on étudie des tâches complexes, notamment dans le domaine sportif. Deuxièmement, il s'agit d'une démarche comparative, chaque tâche étant évaluée par rapport au *modulus*, et plus largement par rapport à l'ensemble des tâches réalisées auparavant. Ce caractère relatif rend la méthode inutilisable dans un protocole envisageant l'évaluation d'une tâche unique. Enfin, la construction d'échelles de rapport est 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 conclure que le premier l'a trouvé plus intense que le second, ces cotations étant liées à l'usage que chacun fait du système numérique. En résumé, si la méthode d'estimation des grandeurs se prête à l'investigation fondamentale de tâches simples et standardisées, son utilisation est plus difficilement envisageable dans des perspectives appliquées, respectant la complexité écologique des situations. Les échelles de catégories fournissent une alternative méthodologique, susceptible d'offrir un complément utile aux précédentes méthodes.

1.3.2.1. Soubassements théoriques.

Borg (1970a, 1970b, 1974, 1982a, 1992) a développé un modèle permettant des évaluations absolues et des comparaisons interindividuelles. Ce modèle postule que la marge perceptible, c'est-à-dire l'étendue séparant la sensation minimale de la sensation maximale, est identique pour tous les sujets, même si l'étendue correspondante du *stimulus* peut varier d'un sujet à l'autre. Il y aurait notamment une *similarité*, entre sujets, des sensations maximales (effort perçu maximal ou difficulté perçue maximale, par exemple). 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 fonder leurs évaluations 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 verbal. Borg a élaboré plusieurs versions d'échelles de ce type. La plus connue est celle qu'il a formalisé pour la perception de l'effort sous le nom de "*RPE scale*" (*scale of ratings of perceived exertion*), constituée de 15 échelons et ponctuée de 7 expressions verbales (Borg, 1970a).

Ces échelles proposent un modèle du *continuum* perceptif, dont la structure dépend de la répartition et des "propriétés métriques" des expressions verbales utilisées (Borg, 1970a; Borg & Hosman, 1970). De ce fait, la relation *stimulus*-réponse est modélisée 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, les scores d'effort perçu varient linéairement avec l'intensité objective de la tâche. 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 des labels, 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.

La *RPE scale* a permis le développement de nombreux travaux sur la perception de

l'effort, dans une perspective différentielle: on a étudié l'influence du sexe (Glass, Whaley & Wegner, 1991; Sylva, Byrd & Mangun, 1990; Wrisberg, Franks, Birdwell & High, 1988), des rôles sexués (Hochstetler, Rejeski & Best, 1985; Rejeski, Best, Griffith & Kenney, 1987), de l'expertise (Winborn, Meyers & Mulling, 1988; Wrisberg & Pein, 1990) et des attentes (Rejeski & Ribisl, 1980; Rejeski & Sanford, 1984). D'autres travaux ont montré l'influence des facteurs contextuels (Boutcher, Fleischer-Curtian & Gines, 1988; Hardy, Hall & Prestholdt, 1986) et des stratégies d'orientation de l'attention chez les coureurs de fond (Rejeski & Kenney, 1987; Wrisberg & Pein, 1990). Enfin, on utilise couramment la RPE scale dans une optique de production d'effort, pour l'entraînement, les programmes de remise en condition physique ou de rééducation (Ceci & Hassmén, 1991; Chow & Wilmore, 1984). Ces travaux démontrent l'utilité de ce type d'échelle, dans le domaine des activités physiques et sportives (Borg, 1986).

Mais si la *RPE scale* a permis des avancées dans le domaine des tâches à dominante énergétique, on ne disposait pas d'outil équivalent dans le domaine informationnel, pour la perception de la difficulté. Quelques auteurs ont approché ce problème en ce qui concerne les tâches cognitives (Bratfisch, Borg & Dornic, 1972; Hallsten & Borg, 1975; Herbert, 1974) et avaient obtenu des résultats encourageants, suggérant que les principes fondant la *RPE scale* (notamment la symétrie des labels) permettent de construire des échelles valides en ce qui concerne la difficulté.

1.3.2.2. L'échelle DP-15.

Nous avons proposé et validé une échelle de catégories pour la perception de la difficulté (Delignières, Famose & Genty, 1994). Il s'agit d'une échelle en 15 échelons et 7 labels verbaux (Figure 1), construite selon les principes de la *RPE scale* de Borg. Les échelons sont numérotés de 1 à 15. La notation centrale correspond au label "un peu difficile". Les autres labels sont répartis symétriquement, toutes les deux notations. Nous avons baptisé 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 1: Echelle de catégories DP-15 pour la perception de la difficulté.

Les consignes données aux sujets sont les suivantes: "*Nous vous demandons d'évaluer la difficulté de la tâche que vous venez de réaliser grâce à cette échelle de catégories. Essayez dans un premier temps de situer votre évaluation au moyen des expressions verbales. Vous pourrez ensuite affiner votre réponse en utilisant l'échelle numérique. Le niveau 1 correspond à une difficulté nulle. Le niveau 15 correspond à la difficulté maximale que vous puissiez envisager. Formulez votre évaluation le plus objectivement possible, en évitant toute surestimation ou sous-estimation.*"

Nous avons testé cette échelle dans trois situations expérimentales (Delignières, Famose & Genty, 1994): dans la première, les sujets devaient évaluer une série de 16 tâches de pointage réciproque (pour cette expérience, deux passations étaient réalisées, à quelques semaines d'intervalle); dans la seconde, l'évaluation portait sur 5 tâches de recherche visuelle, et dans la dernière sur 20 tâches de lancer de fléchettes sur cible mobile. Pour constituer un outil similaire à la *RPE scale*, la DP-15 devait répondre aux exigences suivantes:

- L'échelle devait permettre aux sujets de discriminer et de hiérarchiser finement une série de tâche. On devait donc trouver une corrélation par les rangs élevée entre les scores de difficulté perçue et la difficulté objective des tâches, mesurée par la quantité moyenne d'information à traiter ou par la performance moyenne. Les corrélations obtenues ont été de .972 et .983 pour les deux passations réalisées sur les tâches de pointage, de 1.000 pour les tâches de recherche visuelle, et de .943 pour les tâches de lancer de fléchettes.

- Les scores de difficulté perçue devaient varier linéairement avec la difficulté objective des tâches. Cette exigence visait à simplifier l'utilisation ultérieure de l'échelle, dans des applications pratiques. L'ajustement linéaire, obtenu par la méthode des moindres carrés, s'est révélé le plus précis pour l'ensemble des situations. Le coefficient de corrélation de l'ajustement est égal à .974 et .976 pour les deux passations réalisées sur les tâches de pointage (Figure 2), .997 pour les tâches de recherche visuelle, et .943 pour les tâches de lancer de fléchette.

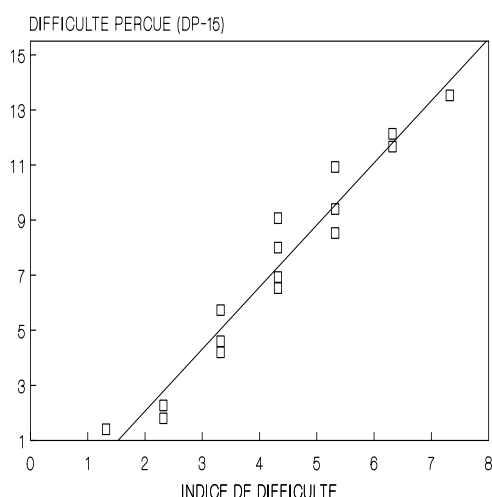


Figure 2: Tâches de pointage de Fitts. Relation entre l'indice de difficulté et la difficulté perçue, évaluée selon l'échelle de catégories DP-15 (première passation). Ajustement linéaire: $DP = (2.255 * ID) - 2.450$, $r = .974$ (d'après Delignières, Famose & Genty, 1994).

- Les corrélations obtenues entre difficulté perçue et difficulté objective devaient être élevées, tant au niveau des données moyennées que des scores individuels de difficulté perçue. Cette exigence était fondamentale, dans une perspective d'application clinique ou à visée prescriptive. Les fonctions individuelles d'ajustement ont donc été calculées, et les coefficients de corrélation les caractérisant variaient dans les tâches de pointage de .871 à .972 (moyenne .935) pour la première passation, et de .867 à .969 (moyenne .931) pour la seconde, de .936 à .998 (moyenne .977) pour les tâches de recherche visuelle, et de -.632 à -.834 (moyenne -.715) pour les tâches de lancer de fléchettes.

- Enfin on devait obtenir une corrélation élevée entre les évaluations réalisées dans un protocole test-retest. Nous avons obtenu au niveau individuel des corrélations de .859 à .964 (moyenne .928), entre les deux passations réalisées sur les tâches de pointage.

Ces expériences ont montré que l'échelle DP-15 permettait une claire hiérarchisation des tâches, et débouchait sur une relation linéaire étroite, tant au niveau des données moyennées que des données individuelles, entre difficulté objective ou performance et difficulté perçue. Cette relation est mise en évidence pour les tâches simples et pour les tâches complexes, et quelle que soit la variabilité inter-essai de la performance. L'échelle DP-15 se comporte donc, dans son domaine d'application comme l'échelle *RPE* de Borg. Elle permet d'ouvrir le domaine des tâches à dominante informationnelle aux travaux concernant le modèle proposé par l'auteur (Borg, 1992), et notamment relatifs à l'hypothèse de l'équivalence des marges perceptives.

Nous devons rappeler que la linéarité observée entre difficulté objective et difficulté perçue ne signifie rien, au-delà de la description des propriétés de l'échelle. L'utilisation de la méthode d'estimation des grandeurs produit par exemple une relation exponentielle entre difficulté objective et difficulté perçue, et une relation de type puissance entre performance moyenne et difficulté perçue (Delignières, 1993a). 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 et la performance. Selon Borg (1982b) cette construction dote ce type d'échelle de propriétés d'échelles d'intervalles. Ceci autorise l'utilisation des tests statistiques de ce niveau, et notamment les analyses de variances, tests de Student, régressions et corrélations.

Deuxième partie:

LA PERCEPTION DE LA DIFFICULTE: APPROCHE GENERALE

L'application des méthodes psychophysiques à la perception de la difficulté sous-tend le postulat selon lequel cette dernière peut être assimilée à une modalité sensorielle: c'est-à-dire que la difficulté perçue est une sensation, liée à la confrontation du système à un *stimulus* distal, et à l'expérience d'un *stimulus* proximal. Le problème auquel nous nous sommes attaché en priorité a été celui de l'identification de ce *stimulus* proximal.

A notre connaissance, aucun programme de recherche n'a porté de manière spécifique sur la perception de la difficulté dans les tâches motrices. Un certain nombre de travaux ont cependant été réalisés dans des champs voisins, qui ont constitué une base essentielle à notre approche. Ces travaux se sont tous confrontés à ce problème de l'identification des *stimuli*, et ont débouché sur des positions contrastées.

Nous avons déjà évoqué les travaux réalisés par Borg, Dornic et leurs collaborateurs dans les années 60-70. Ces travaux ont porté de manière générale sur des tâches cognitives simples, et ont avant tout visé à déterminer la nature de la difficulté perçue. A l'origine, Borg considérait la difficulté perçue comme une sensation authentique, une grandeur psychologique liée à la confrontation de l'organisme à une tâche donnée. On a vu précédemment que ces auteurs, constatant que la difficulté perçue était le plus souvent "contaminée" par des facteurs secondaires, ont fini par douter de l'existence d'une sensation authentique, pour considérer la perception de la difficulté davantage comme un *processus de jugement*, basé sur les aspects les plus saillants de la tâche ou de la performance (Dornic, Sarnecki & Svensson, 1973). Ces recherches ont donc débouché sur un doute quant à la nature sensorielle de la difficulté perçue.

En ce qui concerne la perception de l'effort, Borg a conservé une orientation psychophysique: l'effort perçu est considéré comme une sensation, directement liée aux réactions physiologiques (*stimulus* proximal) de l'organisme, en réaction aux exigences de la tâche (*stimulus* distal). Un des enjeux principaux de ces travaux a justement été l'identification du ou des *stimuli* proximaux, sous-tendant la sensation d'effort (Borg, Van den Burg, Hassmen, Kaijser & Tanaka, 1987; Hetzler, Seip, Boutcher, Pierce, Snead & Weltman, 1991; Seip, Snaed, Pierce, Stein & Weltman., 1991). Bien qu'un certain nombre d'auteurs aient mis en évidence de nombreux facteurs susceptibles d'influencer la perception de l'effort, tels que les attentes des sujets (Rejeski & Sanford, 1984; Rejeski & Ribisl, 1980), la présence de distracteurs (Rejeski, 1985; Rejeski & Kenney, 1987) ou de public (Boutcher, Fleischer-Curtian & Gines, 1988; Hardy, Hall & Presholdt, 1986), le statut psychophysique de l'effort perçu n'a jamais été réellement remis en cause.

Enfin, une troisième orientation de recherche s'est intéressée, dans une perspective ergonomique, à la charge mentale perçue (Moray, 1982; Jex, 1988; Reid & Nygren, 1988). Principalement concernés par l'étude du stress, dans les contextes industriels, ces auteurs s'attachent à l'identification des *stimuli* distaux (complexité des situations, pression temporelle, etc...) et proximaux (effort mental). Cependant ces travaux nous semblent davantage orientés vers des problèmes pratiques d'évaluation du stress, que vers des problèmes théoriques de compréhension des processus sous-jacents: notamment le rôle intermédiaire de la charge mentale est davantage postulé que réellement prouvé.

Notre objectif était donc d'identifier le *stimulus* proximal à l'origine de la difficulté perçue. Nous avons fondé notre démarche sur les propriétés reconnues des échelles de sensation. Nous avons retenu les principes suivants:

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 (Bonnet, 1986; Stevens, 1957; Tiberghien, 1984). Si dans une expérience, on trouve un autre type de relation entre une variable donnée 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- Une 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'ils entretiennent avec la difficulté perçue.

3- 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.

2.1. Difficulté perçue, difficulté objective et performance.

Au cours d'une série d'expérimentations (Delignières, 1990; 1993a; Delignières & Famose, 1992), utilisant diverses tâches motrices simples (tâches de pointage, de recherche visuelle, ou de temps de réaction), nous avons mis en évidence de manière systématique une relation de type exponentiel entre la quantité moyenne d'information à traiter et la difficulté perçue, mesurée selon la méthode d'estimation des grandeurs. La figure 3 représente les résultats obtenus dans une expérience dans laquelle 27 sujets devaient évaluer la difficulté de 5 tâches de pointage. Les données s'ajustent avec précision selon une fonction exponentielle:

$$DP = (5.65) * e^{(.402)DO} \quad (r=.999)$$

DP représentant la difficulté perçue, et DO la quantité moyenne d'information à traiter par pointage (indice de Fitts). Cet ajustement exponentiel se révèle également le plus précis, au niveau des données individuelles, pour 23 sujets sur 27. L'ensemble des expériences

précitées ont débouché sur la mise en évidence de relations de ce type, et de ce niveau de précision.

L'utilisation de la méthode d'estimation des grandeurs devant déboucher sur la description d'une relation de type puissance entre *stimulus* et sensation, on peut en conclure que la quantité moyenne d'information de constitue pas un modèle valide du *stimulus* pris en compte par les sujets. Le coefficient de corrélation proche de l'unité permet par contre de supposer qu'elle entretient avec ce *stimulus* une relation fonctionnelle très étroite.

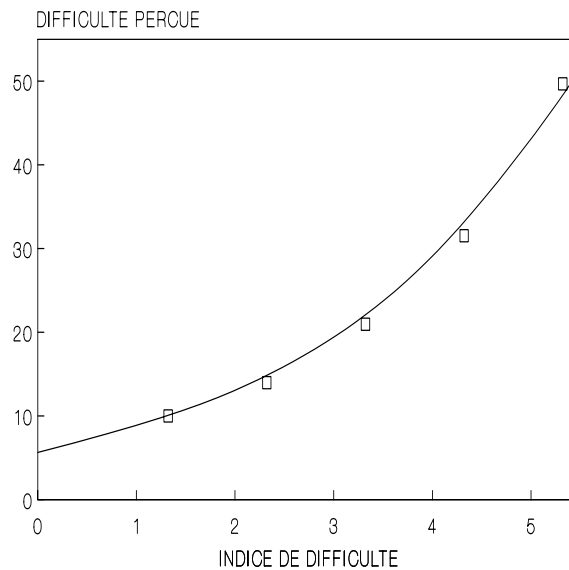


Figure 3: Relation indice de difficulté-difficulté perçue, dans les tâches de Fitts. L'ajustement est de type exponentiel (d'après Delignières, 1993a):

Ces expériences ont en outre permis de mettre en évidence une relation de type puissance entre performance et difficulté perçue. Par exemple dans l'expérience précitée sur les tâches de pointage, l'ajustement obtenu est le suivant:

$$DP = (5.90) * PERF^{(1.65)} \quad (r = .999)$$

Ce résultat supposait que l'on obtienne une relation exponentielle entre quantité moyenne d'information et performance, ce qui semblait en contradiction avec les données classiquement présentées dans la littérature (Fitts, 1954, Hick, 1952, Hyman, 1953). Néanmoins c'est bien ce type d'ajustement exponentiel que nous avons mis en évidence lors de toutes nos expériences, et un traitement *a posteriori* des données brutes de Fitts (1954) a montré qu'un ajustement exponentiel permettait de rendre compte de manière plus précise de la relation quantité d'information/performance qu'un ajustement linéaire (Delignières, 1993a; Delignières & Famose, 1992).

Si nous avons obtenu en ce qui concerne les données moyennes une relation de type puissance entre performance et difficulté perçue, au niveau individuel l'ajustement puissance ne se révèle pas nécessairement plus précis (dans les tâches de pointage, l'ajustement

puissance n'est le plus performant que pour 3 sujets sur 27). Ceci nous a amené logiquement à douter que la performance puisse constituer le *stimulus* pris en compte: la performance apparaît comme une variable latérale, corrélée mais inessentielle à l'élaboration du sentiment de difficulté.

Ces résultats nous ont amené à réfuter les conclusions de Dornic, Sarnecki & Svensson (1973), selon lesquels la perception de la difficulté renverrait davantage à un processus de jugement (sur les caractéristiques objectives des tâches, ou sur la performance réalisée) qu'à un processus de sensation. A l'inverse, ils nous ont amené à émettre l'hypothèse selon laquelle la perception de la difficulté serait liée à une variable intermédiaire (le *stimulus* proximal), fonctionnellement intercalée entre difficulté objective et difficulté perçue. A cet égard, la performance moyenne calculée sur le groupe semblait un estimateur relativement précis de ce *stimulus* proximal.

Ceci nous a conduit logiquement au concept de *charge de travail*. Définie comme "*le rapport des exigences de la tâche à la capacité maximale de l'opérateur*" (Welford, 1977), la charge correspond à l'investissement de ressources nécessaire à l'atteinte du but (Navon et Gopher, 1979, 1981). Dans le cadre des expériences que nous avons menées, c'est-à-dire avec une tâche unique et une consigne de rapidité maximale, et dans la mesure où nous ne cherchions qu'un indice comparatif pour différentes modalités d'exécution d'une même tâche, la performance, en terme de temps de réponse ou de temps moteur, constituait une mesure valide, quoique probabiliste, de la charge de travail (Leplat, 1977; Welford, 1977). Dans cette logique, la perception de la difficulté d'une tâche pouvait être basée sur l'évaluation de la charge mentale moyenne occasionnée par les essais successifs réalisés.

Selon Welford (1977) une évaluation de la charge mentale peut être réalisée en rapportant le temps requis pour réaliser la tâche au temps disponible. 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 a été retenu par la plupart des auteurs travaillant sur cette problématique (revues dans Moray, 1982; Jex, 1988; Reid & Nygren, 1988).

Nous avons réalisé une expérimentation afin d'analyser les relations entre la charge mentale ainsi définie et la difficulté perçue (Delignières, 1993a). Nous avons utilisé des tâches de recherche visuelle sous pression temporelle: les sujets devaient frapper sur le clavier d'un ordinateur les lettres qui apparaissaient à l'écran selon un rythme régulier. La difficulté des tâches variait en fonction du nombre de lettres susceptibles d'apparaître (déterminant la quantité moyenne d'information à traiter à chaque essai), et en fonction du rythme d'apparition (déterminant le temps disponible pour effectuer la réponse).

Cette expérience a mis en évidence une relation de type puissance entre le rapport temps requis/temps disponible et la difficulté perçue (Figure 4).

$$DP = (52.58) * (Treq./TD)^{1.61} \quad (r = .997)$$

Treq représentant le temps requis et TD le temps disponible.

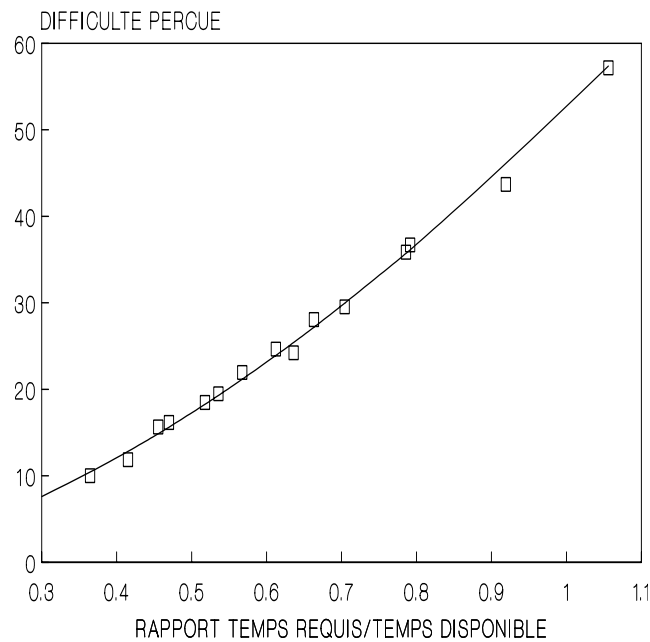


Figure 4: Relation entre le rapport temps requis/temps disponible et la difficulté perçue, dans les tâches de recherche visuelle sous pression temporelle (d'après Delignières, 1993a).

Ce résultat suggèrait que le *stimulus* pris en compte par les sujets était 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 s'il nous donnait quelque certitude sur le niveau de cette variable, il ne permettait pas encore réellement d'en préciser la nature. Il subsistait en effet dans nos résultats un paradoxe: dans les premières expériences que nous avons présentées, on pouvait considérer que le temps de réponse constituait 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 pour l'élaboration du sentiment de difficulté. Cette hypothèse semblait néanmoins invalidée par l'inconsistance des fonctions individuelles d'ajustement performance moyenne-difficulté perçue. Tout semblait 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.

Nous avons réalisé une expérience dans le but de vérifier cette hypothèse (Delignières, 1993a). Nous avons utilisé à cet effet les tâches de recherche visuelle, avec 5 niveaux de difficulté. Nous disposons des scores moyens de performance d'un groupe de 63 sujets, réalisant chacun 20 essais à chaque niveau de difficulté (nous l'appellerons groupe standard). On peut considérer que ces scores moyens constituent une mesure de cette charge moyenne théorique. 15 sujets, après réalisation de 8 essais sur chaque tâche, en ont évalué la difficulté selon l'échelle de catégorie DP-15. Les résultats montrent que les scores individuels de difficulté perçue corrèlent moins avec les performances individuelles correspondantes ($r=.819$) qu'avec les performances moyennes du groupe standard ($r=.918$).

Ce résultat est pour le moins surprenant. Il montre clairement l'indépendance de la difficulté perçue, vis-à-vis des performances effectivement réalisées. 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. En fonction des *stimuli* qui apparaissent (par exemple une lettre déjà bien repérée sur le clavier, ou à l'inverse une lettre excentrée et rare), cette première allocation peut 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 5 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.

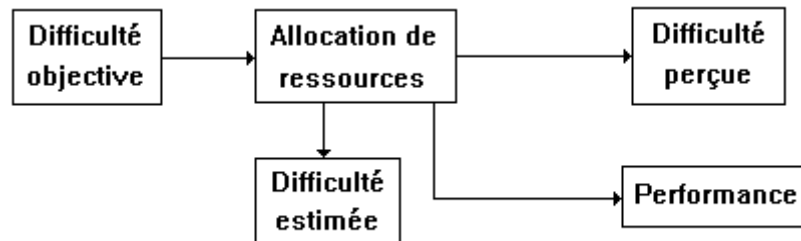


Figure 5: Rôle de l'allocation de ressources dans la perception de la difficulté.

Ce modèle se rapproche 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 logiquement 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. Ils réalisaient ensuite chacune des tâches et en cotaient immédiatement la difficulté, selon l'échelle de cotation DP-15. On observe 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.

2.2. Difficulté perçue et allocation de ressources.

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.

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. Si le sujet A investit davantage de ressources que le sujet B, il va obtenir de meilleures performances. 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 avons mené 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. Ce dernier résultat est cependant relativisé par l'augmentation du pourcentage d'erreurs.

Nous avons consacré un certain nombre de travaux à l'étude de la détérioration du temps de réaction simple (Brisswalter, Durand, Delignières & Legros, 1995; Delignières & Brisswalter, 1994a), mais c'est surtout l'amélioration du temps de réaction de choix qui nous intéressera ici. Durand, Bourrier et Legros (1991) ont confirmé ce résultat, mais cet effet n'est obtenu que chez des sujets experts en sports collectifs, et encore une fois au détriment de la précision des réponses. Les auteurs concluent que les spécialistes de sports collectifs se caractérisent, dans ce type de situation, par l'adoption de stratégies risquées, privilégiant la vitesse au détriment de la précision. Nous avons cependant montré à deux reprises (Arcelin, Delignières et Brisswalter, 1995; Delignières, Brisswalter et Legros, 1994) que cette réduction du temps de réaction de choix sous effort pouvait être obtenu sans altération du pourcentage d'erreur.

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

Nous avons testé cette hypothèse en analysant les performances et les scores de difficulté perçue de sujets spécialistes et non spécialistes d'activités décisionnelles (sports de combat), dans des tâches de temps de réaction de choix réalisées au repos et simultanément avec une tâche de pédalage (Delignières, Brisswalter et Legros, 1994). Le groupe des spécialistes était constitué de 20 escrimeurs et maîtres d'armes. Les sujets réalisaient des tâches de temps de réaction à deux et quatre éventualités (TR2 et TR4), et le protocole comprenait 4 paliers d'effort, correspondant à 20, 40, 60 et 80% de la puissance maximale aérobie (PMA) des sujets.

Conformément aux travaux réalisés précédemment, nous nous attendions à obtenir une amélioration du temps de réaction chez les spécialistes, et aucun effet ou une détérioration chez les non spécialistes. Enfin, si cette amélioration était réellement liée à un investissement supplémentaire de ressources, les sujets spécialistes devaient paradoxalement percevoir les tâches de TR comme plus difficiles que les sujets non spécialistes.

Ces deux prédictions ont été confirmées: Les sujets spécialistes ont amélioré de manière significative leurs performances, dès 20% PMA en TR2, et 40% PMA en TR4. Cette amélioration ne s'accompagnait d'aucune modification significative du pourcentage d'erreur. Par contre on a observé une dégradation de la performance chez les non spécialistes, significative à partir de 60% de PMA (Figure 6).

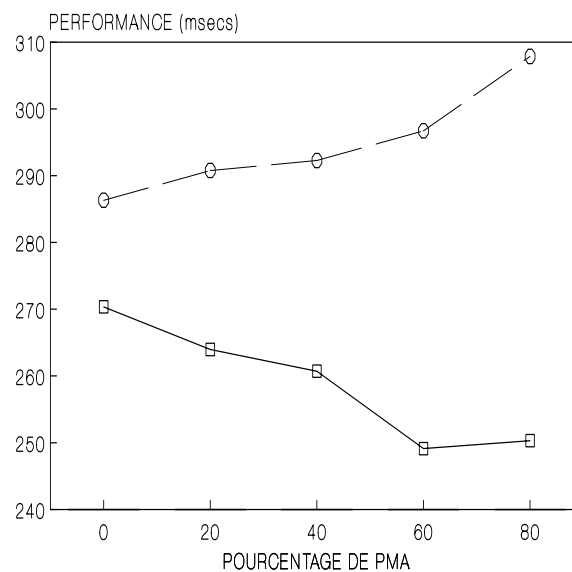


Figure 6: Evolution du temps de réaction de choix à deux éventualités, en fonction de l'intensité de la tâche de pédalage (Carrés: groupe experts, ronds: groupe non-experts). D'après Delignières, Brisswalter & Legros (1994).

En ce qui concerne la difficulté perçue, les résultats indiquent que les experts perçoivent des niveaux de difficulté plus élevés, et que cette différence s'accroît avec l'augmentation de l'intensité de la tâche de pédalage (Figure 7).

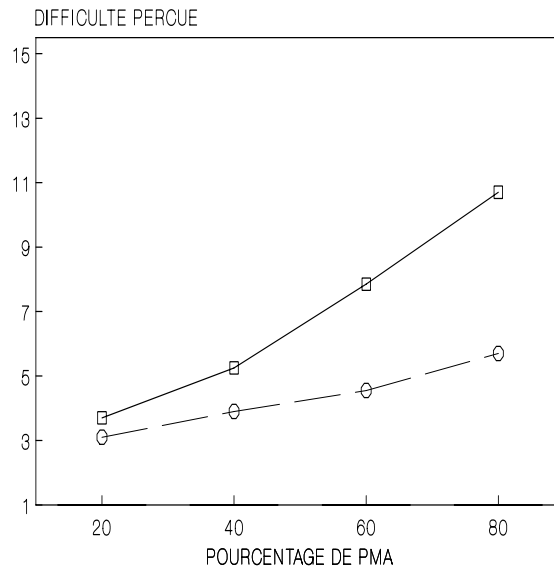


Figure 7: Relation entre intensité de la tâche de pédalage et difficulté perçue, dans la tâche de temps de réaction à deux éventualités (carrés: groupe experts, ronds: groupe non-experts). D'après Delignières, Brisswalter & Legros (1994).

Ces résultats sont en accord avec nos hypothèses: 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 entraîne une augmentation de la charge mentale subjective.

On peut également relever que l'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.

En résumé, la difficulté perçue semble donc liée à l'investissement que le sujet juge nécessaire pour atteindre le but qui lui est assigné ou qu'il se fixe lui-même. Si l'on reprend la distinction proposée par Famose (1993), la difficulté perçue renverrait davantage à la difficulté du but, c'est-à-dire au niveau de performance dont le sujet s'assigne l'atteinte, qu'à la difficulté intrinsèque de la tâche. Dans un travail non publié, nous avons par ailleurs pu montrer que des sujets réalisant des tâches de temps de réaction avec pour seule consigne de faire de leur mieux trouvaient ces tâches plus faciles que lorsqu'on leur assignait des buts précis et difficiles. Ceci est cohérent avec l'idée que la difficulté perçue est moins liée à la difficulté objective des tâches qu'à l'investissement de ressources que le sujet estime nécessaire pour atteindre un niveau donné de performance.

Troisième partie:

DIFFERENCES INTERINDIVIDUELLES:

LA SENSIBILITE A LA DIFFICULTE ET A L'EFFORT.

Les travaux précédemment décrits ont permis de mettre en évidence des fonctions psychophysiques relativement proches, dans des tâches différentes. Ainsi la relation quantité d'information-difficulté perçue peut être décrite selon une fonction exponentielle d'exposant .402 dans une tâche de pointage réciproque, d'exposant .462 dans une tâche de recherche visuelle, et d'exposant .402 dans une tâche de recherche visuelle sous pression temporelle (Delignières, 1993a; Delignières & Famose, 1992). Les relations performance-difficulté perçue correspondantes peuvent être décrites selon des fonctions puissance d'exposants respectifs 1.649, 1.987 et 1.608. Ces similitudes ne permettent néanmoins pas en soi de conclure, les trois expériences ayant été conduites avec des sujets différents. Néanmoins, ces données laissent à penser qu'elles constituent trois mesures consécutives de grandeurs identiques.

Cette idée est également défendue par Gopher et Braune (1984), qui montrent que la relation difficulté objective-difficulté perçue, dans 21 tâches différentes, peut être ajustée selon une fonction puissance unique d'exposant 1.317. Si cette hypothèse est valide, les caractéristiques psychophysiques de la difficulté perçue ne seraient pas spécifiques à une tâche particulière, mais constitueraient une donnée transversale, indépendante du type de tâche réalisée et des processus sollicités.

3.1. Analyse des exposants individuels.

Afin de tester cette hypothèse, nous avons réalisé deux expériences, consistant à comparer les fonctions psychophysiques individuelles de perception de la difficulté obtenues par un groupe de sujets dans des tâches différentes.

Dans la première expérience (Delignières & Famose, 1994), 13 sujets ont réalisé quatre tâches, présentant chacune 5 niveaux de difficulté. Nous avons utilisé les tâches de pointage, de recherche visuelle et de temps de réaction déjà présentées, et une tâche de contrôle moteur fin consistant à transférer des anneaux le long d'une tige métallique. Chacune de ces tâches se prêtait à une mesure d'entropie, selon les principes énoncés précédemment. La difficulté perçue a été évaluée pour chaque niveau selon la méthode d'estimation des grandeurs.

Comme dans les travaux évoqués dans la partie précédente, les recherches d'ajustement ont mis en évidence, pour chacune des tâches, des relations de type exponentiel entre entropie et difficulté perçue et entre entropie et performance, et des relations de type puissance entre performance et difficulté perçue.

Les analyses statistiques ont principalement porté sur les exposants individuels. Une analyse corrélacionnelle a montré qu'il n'y avait aucune relation entre les exposants des fonctions difficulté objective-performance, confirmant que les quatre tâches sollicitaient des processus différenciés (Tableau 1, haut). Par contre, on a observé dans cette expérience des corrélacions hautement significatives entre les distributions d'exposants individuels des fonctions entropie-difficulté perçue, et une analyse de variance a démontré l'invariance de l'exposant moyen, d'une tâche à l'autre (Tableau 1, bas).

	1.	2.	3.	4.
1. Pointage	1.00			
2. Temps de réaction	0.41	1.00		
3. Recherche visuelle	0.04	0.28	1.00	
4. Transfert d'anneaux	-0.06	-0.35	-0.02	1.00
1. Pointage	1.00			
2. Temps de réaction	0.81***	1.00		
3. Recherche visuelle	0.62*	0.68***	1.00	
4. Transfert d'anneaux	0.53	0.76***	0.69***	1.00

Tableau 1: En haut: corrélacions entre les distributions des exposants des fonctions individuelles d'ajustement entropie/performance. Aucun coefficient n'est significatif au seuil $p=.05$. En bas: corrélacions entre les distributions des exposants des fonctions individuelles d'ajustement entropie/difficulté perçue. (*: $p<.05$; ***: $p<.01$).

Cette expérience a donc confirmé que dans des tâches perceptivo-motrices différentes, sollicitant des ressources différenciées (par exemple les ressources décisionnelles ou le contrôle moteur fin), les relations entre quantité d'information et difficulté perçue pouvaient être décrites selon des fonctions psychophysiques identiques.

Ces résultats laissent en suspens la question de savoir si cette invariance dans les exposants était liée à une authentique sensibilité à la difficulté, ou bien traduisait un quelconque biais de réponse. L'existence d'un tel biais, lié notamment au fait que chaque sujet utilise une marge caractéristique de nombres dans l'estimation des grandeurs, a été clairement établie (Ekman, Hosman, Lindman, Ljungbreg & Akesson, 1968; Jones & Marcus, 1961; Jones & Woskow, 1962). Néanmoins Ekman *et al.* (1968) estiment que ce biais de réponse ne rend compte que d'un pourcentage modéré de la variance de l'exposant, qui renverrait donc à des différences authentiques dans la sensibilité des sujets.

Dans une seconde expérience (Delignières & Brisswalter, 1996), nous avons retrouvé cette invariance des exposants entre deux situations de perception de la difficulté (tâches de pointage et tâches de temps de réaction, cf. Tableau 2). Afin de détecter l'influence possible

d'un biais lié au comportement numérique, nous avons analysé les corrélations entre les distributions d'exposants individuels obtenus dans ces situations et ceux obtenus dans une situation d'estimation de la surface de cercles. On ne trouve cette fois aucune corrélation significative (Tableau 2), ce qui indique que l'invariance des exposants obtenue dans l'expérience précédente rend bien compte d'une sensibilité individuelle à la difficulté, et non de la répétition d'un comportement numérique.

Cette hypothèse laissait cependant en suspens la question de l'étendue de sa pertinence: cette sensibilité n'était-elle caractéristique que de la perception de la difficulté dans les tâches perceptivo-motrices, ou concernait-elle également les tâches mentales strictes? Ne concernait-elle que les tâches sollicitant un traitement de l'information, ou s'étendait-elle à l'ensemble des situations d'atteinte de but, y compris les tâches de production d'effort?

Nous avons tenté d'examiner cette question dans l'expérience déjà évoquée (Delignières & Brisswalter, 1996). Outre deux tâches perceptivo-motrices simples (pointage et temps de réaction), les sujets ont été confrontés à deux autres situations: d'une part l'estimation de la difficulté dans des tâches de raisonnement, et d'autre part l'estimation de l'effort dans des tâches de course sur tapis roulant.

Pour ces deux nouvelles tâches, il n'était pas envisageable de recourir à une mesure de la difficulté objective analogue aux calculs d'entropie que nous avons utilisés jusqu'alors. Nous avons utilisé d'une part des scores normatifs de performance pour les tâches de raisonnement (Borg & Forsling, 1964), et d'autre part la vitesse de défilement du tapis pour la tâche de course. Du fait de cette hétérogénéité au niveau des *stimuli* distaux, il est clair qu'on ne pouvait s'attendre à obtenir un exposant moyen similaire, d'une situation à l'autre. Cependant, si la relation *stimulus* proximal/sensation était identique d'une tâche à l'autre, on devait au moins mettre en évidence de fortes intercorrélations entre ces quatre situations.

L'analyse de variance indique en effet que l'exposant moyen est identique pour les tâches de pointage et de temps de réaction, ce qui constitue une réplication des résultats de l'expérience précédente, mais que les exposants moyens pour les tâches de raisonnement et de course diffèrent des premiers. Cependant les exposants obtenus dans ces quatre situations corrélaient fortement entre eux (Delignières & Brisswalter, 1996; cf. Tableau 2).

	1.	2.	3.	4.
1. Pointage				
2. Temps de réaction	.709*			
3. Raisonnement	.666*	.657*		
4. Course	.719*	.714*	.733*	
5. Estimation de surfaces	.250	.303	.083	.158

Tableau 2: Matrice des corrélations calculées entre les distributions d'exposants individuels obtenus dans quatre situations de perception de la difficulté ou de l'effort, et dans une situation d'estimation de la surface de cercles (* $p < .01$). D'après Delignières & Brisswalter (1996).

Les exposants individuels ont d'une manière générale peu intéressé les psychophysiciens. Certains modèles développés notamment par Teghtsoonian (1971) et Borg (1970b, 1972), permettent cependant une réflexion à ce sujet. Selon ces auteurs, les différences d'exposants entre *continua* sont liées aux différences dans l'étendue dynamique des *stimuli*³: plus l'étendue est restreinte, plus l'exposant est élevé. Plus précisément, le rapport entre les exposants de deux *continua* est inversement proportionnel au rapport entre les logarithmes des étendues des *stimuli* correspondant. Borg (1970b) développe une seconde hypothèse selon laquelle pour une même dimension sensorielle l'étendue des grandeurs subjectives est identique pour des sujets différents, même si l'étendue dynamique du *stimulus* peut varier grandement entre sujets (voir partie 1.3.2.1.). De ce fait, les différences entre les exposants des fonctions individuelles seraient liées aux différences individuelles dans l'étendue dynamique du *stimulus*. Plus l'étendue dynamique du *stimulus* est importante, plus l'exposant est faible. La vérification expérimentale de ces hypothèses est délicate, dans la mesure où la mesure de l'étendue dynamique des *stimuli*, requérant l'expérience des intensités extrêmes, est souvent impossible. Certaines dimensions telles que la perception de l'effort peuvent permettre une approche de ce type. Les travaux réalisés dans ce sens ont cependant débouché sur des résultats peu consistants (Borg et Karlsson, 1976; Teghtsoonian, Teghtsoonian et Karlsson, 1981).

Si l'on considère néanmoins ce modèle comme valide, nos résultats suggèrent que pour un même sujet, l'étendue dynamique du *stimulus* est identique d'une tâche à l'autre, tant pour la perception de la difficulté que pour celle de l'effort. Cette hypothèse est difficilement soutenable, dans la définition classique de l'étendue dynamique du *stimulus*. Par exemple Borg et Karlsson (1976) et Teghtsoonian *et al.* (1981) ont fondé leur mesure de l'étendue dynamique du *stimulus* d'une part sur une détermination du seuil absolu par la méthode des limites, et par celle du seuil maximal par la mesure de la capacité maximale de travail. Les auteurs supposent donc que l'effort perçu associé à l'effort objectif maximal constitue en soi une valeur maximale, et l'étendue dynamique du *stimulus* est dans cette acception clairement liée à l'expertise du sujet dans la tâche.

Or nous avons clairement montré (Delignières & Famose, 1994) que l'invariance des exposants apparaissait indépendamment de différences évidentes, d'une tâche à l'autre, au niveau de l'expertise des sujets. Il semble donc que l'étendue dynamique du *stimulus* ne soit pas directement lié à l'expertise des sujets dans la tâche, et notamment à leurs capacités maximales réelles.

Nous faisons l'hypothèse que dans les situations de perception de la difficulté ou de l'effort, l'étendue du *stimulus* est bornée pour chaque individu par deux niveaux formels d'exigence, correspondant aux sensations minimales et maximales de difficulté. Ces deux limites ne seraient pas déterminées par les capacités réelles du sujet dans la tâche, mais plutôt par des facteurs plus généraux et transversaux, dont la nature reste à déterminer.

Ces deux expériences ont donc montré que chaque individu était caractérisé par une certaine *sensibilité à la difficulté*, révélée par l'exposant de la fonction entropie/difficulté perçue. Cette sensibilité constitue un facteur transversal, s'appliquant à toute situation de

³ L'étendue dynamique du stimulus est définie comme le rapport entre le seuil maximal (la plus forte intensité possible) et le seuil absolu (la plus petite intensité perceptible).

perception de la difficulté ou de l'effort, quelle que soit la nature des ressources sollicitées. Si l'on reprend les conclusions de la partie précédente, on peut en conclure que l'allocation supplémentaire de ressources consentie en fonction d'un accroissement donné de la difficulté objective est plus important chez les sujets sensibles.

3.2. Approches différentielles.

Nous l'avons dit précédemment, les psychophysiciens se sont rarement intéressés à l'étude des exposants individuels. Les importantes variations constatées à ce niveau sont davantage considérées en tant qu'erreur expérimentale qu'en tant que différences interindividuelles significatives. Deux recherches peuvent cependant permettre d'ébaucher une réflexion sur ce problème: La première a été réalisée par Dornic et Birbaumer (1974), qui ont montré que l'exposant de difficulté perçue dans une tâche sous pression temporelle était plus élevé chez des sujets névrotiques que chez des sujets normaux. Ce résultat suggère que des variables telles que l'anxiété-trait, l'estime de soi, le niveau d'aspiration, puissent déterminer en partie la sensibilité à la difficulté des sujets.

La seconde a été réalisée afin d'étudier le rôle de l'expérience de la difficulté extrême sur la sensibilité à la difficulté (Delignières, 1993a). Ce travail a consisté à comparer un groupe de grimpeurs de haut niveau et un groupe témoin sur la construction d'échelles de rapport de difficulté perçue dans des tâches de pointage: les résultats ont montré que les grimpeurs présentaient un exposant moyen significativement plus faible que le groupe témoin (.30 vs .38, Figure 8).

Ces résultats ne concernent que la valeur de l'exposant de la fonction difficulté objective-difficulté perçue. 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 (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.

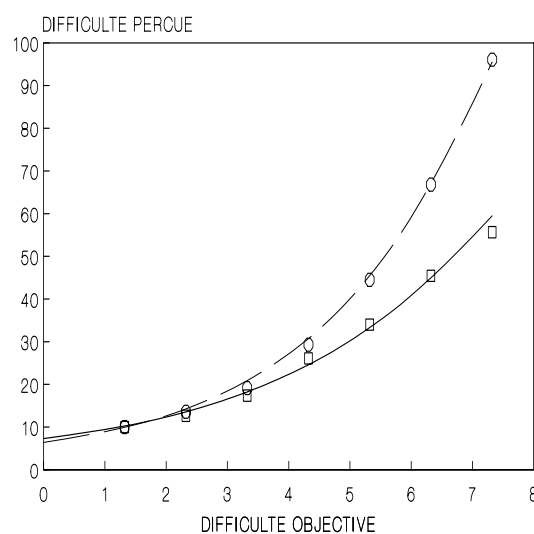


Figure 8: Relation difficulté objective-difficulté perçue dans les tâches de Fitts. En plein: groupe grimpeurs, en pointillés: groupe témoin (d'après Delignières, 1993a).

Un certain nombre de travaux se sont intéressés, dans une perspective différentielle, aux différences de niveaux de difficulté ou d'effort perçus. Par exemple Chung, Seong, Hong and Kim (1993) ont noté des scores d'effort perçu plus élevé chez les introvertis que chez les extravertis. Une problématique particulièrement développée est l'influence du sexe sur la perception de l'effort. L'hypothèse couramment avancée est que l'effort appartenant aux stéréotypes masculins, les femmes perçoivent des niveaux d'effort plus importants que les hommes, à niveau d'effort relatif équivalent. Ainsi Dill, Rejeski et Ribisl (1981, cités par Rejeski, 1981) ont montré qu'à intensité relative équivalente (80% de VO₂max), l'effort perçu dans une tâche de course sur tapis roulant était significativement plus faible chez les hommes que chez les femmes. De même, confrontant à une tâche d'escalade des sujets masculins et féminins de niveau d'habileté équivalent, nous avons pu montrer que les filles évaluaient la tâche comme plus intense que les garçons (Delignières, 1990).

Les résultats obtenus ne sont néanmoins pas toujours consistants. Wrisberg *et al.* (1988), lors d'une épreuve de course sur tapis roulant et avec une population de sportifs, ont obtenu des scores d'effort perçu plus important chez les hommes que chez les femmes. Glass, Whaley et Wegner (1991) ont débouché sur le même résultat lors d'un test standardisé à 75% de la fréquence maximale. Nous avons réalisé une expérience sur l'estimation *a priori* du niveau d'exigence de tâches bio-énergétiques de marche à pied, chez des sujets âgés de 12 et 16 ans, ainsi que chez des adultes, professeurs d'Education Physique (Delignières & Famose, 1991). A 16 ans, les filles donnaient des estimations nettement plus élevées que les garçons. Par contre, aucune différence significative n'était relevée entre garçons et filles à 12 ans. En outre, les estimations des enseignantes étaient à l'inverse significativement plus faibles que celles de leurs homologues masculins.

Certains travaux ont pu montrer le rôle de l'expérience sportive dans l'"objectivité" de la perception de l'effort (Rejeski, 1981; Winborn *et al.*, 1988; Wrisberg & Pein, 1990). Sylva *et al.* (1990) n'ont mis en évidence aucune différence dans les niveaux d'effort perçu d'athlètes de haut-niveau masculins et féminins, réalisant des tâches d'intensités relatives équivalentes. Nous avons également pu montrer, dans une population de sportifs de haut-niveau, que des différences n'apparaissaient dans la perception de l'effort ou de la difficulté entre filles et garçons que si objectivement les tâches investiguées favorisaient l'un ou l'autre sexe. A niveau de performance identiques, filles et garçons donnaient des scores d'effort perçu équivalents (Delignières, Famose & Courty, 1991). Si dans une population sédentaire, des différences systématiques liées au sexe peuvent être mises à jour dans la perception de l'effort, ces différences semblent disparaître dans une population de sportifs.

Au-delà du sexe biologique, les travaux concernant l'influence des rôles sexués semblent apporter davantage de consistance. Hochstetler *et al.* (1985) ont soumis un groupe de femmes à une course sur tapis roulant. Les sujets, grâce à un questionnaire de personnalité, étaient classés en féminines, androgynes et masculines. Les résultats ont montré que les sujets typés féminins donnaient des scores d'effort perçu significativement plus élevés que les sujets typés androgynes ou masculins. Ce résultat a été reproduit par Rejeski *et al.* (1987), en utilisant cette fois des hommes. Il est par ailleurs marquant de constater que dans l'expérience précédemment citée de Delignières et Famose (1991), les différences entre filles et garçons au niveau de l'effort perçu n'apparaissaient qu'à l'adolescence, c'est-à-dire à la fixation des rôles sexués. Dans une optique un peu latérale, nous avons pu montrer que l'auto-évaluation des capacités physiques (force, endurance, composition corporelle, était étroitement liée à la masculinité des sujets (Delignières, Marcellini, Legros & Brisswalter, 1994a). Par contre, le

degré de féminité ne semblait pas déterminant.

Enfin, expérience sportive et rôles sexués apparaissent comme intimement liés. Divers travaux ont pu montrer que les sportives présentaient davantage de traits masculins que les femmes sédentaires (Williams, 1978; Die & Holt, 1989). Ceci pourrait notamment supporter les résultats obtenus dans les expériences précédemment citées, sur la perception de l'effort dans des populations de sportifs (Delignières & Famose, 1991; Delignières, Famose & Courty, 1991; Wrisberg *et al.* 1988).

L'ensemble de ces travaux suggèrent donc qu'un certain nombre de traits et de caractéristiques individuelles ont une influence sur la perception de la difficulté et de l'effort. Nos connaissances demeurent cependant lacunaires et seul un programme de recherche systématique, portant de manière spécifique sur les différences interindividuelles en termes d'exposants, pourrait apporter des éclaircissements sur la nature et les antécédents de la sensibilité à la difficulté.

Quatrième partie:

PERCEPTION DE L'EFFORT ET PERCEPTION DE LA DIFFICULTE

Les travaux que nous avons présenté jusqu'à présent portaient sur des tâches simples, saturant soit sur la dimension informationnelle, soit sur la dimension énergétique. Nous avons évoqué dans la première partie de ce texte les préoccupations méthodologiques qui ont présidé à ce choix. Cependant dans une perspective plus écologique, et notamment dans le domaine des activités physiques et sportives, les tâches auxquelles sont confrontés les sujets sont infiniment plus complexes, et sollicitent de manière simultanée les ressources informationnelles et énergétiques de l'individu.

Un premier ensemble d'expériences nous ont permis d'analyser comment chaque dimension influait sur la perception de l'autre: soit d'une part l'influence de la difficulté de la tâche sur la perception de l'effort, et d'autre part l'influence de la dépense énergétique sur la perception de la difficulté. Enfin nous avons étudié l'intégration de la perception de l'effort et de la difficulté dans une évaluation globale des exigences dans des tâches complexes.

4.1. Perception de l'effort et difficulté de la tâche.

Il a été montré à maintes reprises qu'une tâche mentale ajoutée (calcul mental, décomptage) pouvait diminuer la sensation d'effort physique lors de l'exécution d'une tâche motrice (Pennebaker & Lightner, 1980; Rejeski & Kenney, 1987). Rejeski (1985) interprète ce phénomène, dit de *dissociation*, dans le sens d'une concurrence informationnelle: les opérations cognitives liées à la tâche ajoutée "occuperait" la capacité de traitement du sujet, et de ce fait le distrairait de sa propre fatigue.

Nous avons mené une expérience dans le but de vérifier si la difficulté informationnelle propre à la tâche motrice était à même de donner le même résultat (Delignières, Legros & Famose, 1991). Les sujets devaient réaliser des épreuves de course sur tapis roulant, selon deux conditions: course libre ou course avec contraintes spatio-temporelles (le sujet devait en courant pointer du pied des cibles tracées sur le tapis roulant). Au terme de chaque épreuve une estimation de l'effort était demandée. Le résultat obtenu a été inverse à l'hypothèse de dissociation: la difficulté de la tâche tend à accroître la sensation d'effort, à intensité objective équivalente.

Néanmoins cet accroissement du niveau d'effort perçu pouvait également être imputé, dans cette expérience, à une réduction de l'efficacité du pattern de course, et à l'accroissement

de facteurs d'effort locaux (Ekblom & Goldbarg, 1971). Afin de dépasser ce biais expérimental, nous avons réalisé une seconde expérience dissociant tâche énergétique et tâche informationnelle (Delignières & Brisswalter, 1994b). Dans cette expérience les sujets réalisaient de manière simultanée une tâche de pédalage sur cycloergomètre (le niveau d'effort variant de 20 à 80% de la capacité maximale des sujets), et une tâche de temps de réaction de choix. Les résultats indiquent encore une fois qu'à niveau d'effort équivalent, la tâche de pédalage est perçue comme plus intense quand la tâche de TR est réalisée en simultanée (Figure 9).

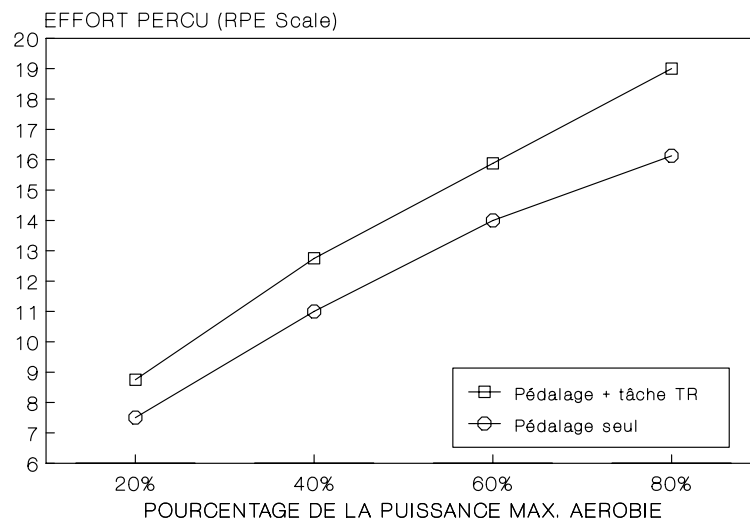


Figure 9: Niveaux d'effort perçu en fonction de l'intensité de la tâche de pédalage et des conditions de passation (d'après Delignières & Brisswalter, 1994b).

Nous avons remarqué (Brisswalter, 1992) que la réalisation d'une tâche de temps de réaction entraînait une élévation du rythme cardiaque, que cette tâche soit réalisée seule ou en association avec une tâche énergétique. Il était possible que l'accroissement de l'effort perçu soit lié à cette augmentation de la fréquence cardiaque. Néanmoins l'effet de la tâche ajoutée sur l'effort perçu a résisté à une analyse de la covariance contrôlant l'effet de la fréquence cardiaque (Delignières & Brisswalter, 1994b). Ceci montre que l'accroissement de l'effort perçu ne peut être entièrement expliqué par l'élévation de l'activation physiologique liée à la réalisation de la tâche cognitive ajoutée.

Il semble donc que la réalisation d'une tâche perceptivo-motrice ne parvienne pas à assurer un effet de dissociation, mais encore débouche sur l'effet inverse. On peut supposer que les contraintes spécifiques des tâches utilisées (pression temporelle, contraintes de vitesse) génèrent un stress informationnel rendant les sujets plus sensibles à l'effort (Delignières, Legros & Famose, 1991; Dornic, 1986). D'autres investigations semblent nécessaires pour expliquer cet effet inattendu.

4.2. Perception de la difficulté et intensité de la tâche.

Notre expérience déjà évoquée sur l'influence d'une tâche de pédalage sur la performance dans une tâche simultanée de temps de réaction nous a permis d'étudier l'effet de

l'intensité de l'effort physique sur la perception de la difficulté dans une tâche informationnelle simultanée (Delignières, Brisswalter & Legros, 1994, voir partie 2.2., Figure 7). Les résultats révèlent une augmentation progressive de la difficulté perçue, à difficulté objective constante, avec l'accroissement de l'intensité de la tâche de pédalage. Notre modèle suggère que les sujets augmentent la quantité de ressources allouée à la tâche de TR, au fur et à mesure que l'intensité de l'effort s'accroît.

On peut se demander si cet effet est dû au caractère stressant de l'effort physique, ou aux contraintes informationnelles spécifiques de la tâche de pédalage. Dans le premier cas, le sujet pourrait être mis en difficulté par une désadaptation de son niveau d'activation, par rapport aux exigences de la tâche de TR. Dans le second, on se trouverait en face d'un strict problème de double tâche. Dans une recherche non publiée, réalisée avec J. Brisswalter, nous avons pu montrer que tous les stressseurs n'avaient pas d'effets similaires sur la difficulté perçue: il s'agissait d'étudier les effets de deux facteurs, l'effort et l'ambiance thermique, sur la difficulté perçue. Les sujets ont réalisé des tâches de temps de réaction, au repos ou simultanément à une tâche de pédalage, en ambiance normale (20°C de température effective⁴: 23°C de température sèche, 50% d'humidité relative) ou en ambiance chaude et humide (38°C de température effective: 42°C de température sèche, 70% d'humidité relative). Une analyse de variance confirme l'effet de l'effort sur la difficulté perçue. Par contre on ne trouve ni effet principal de l'ambiance thermique, ni interaction entre effort et ambiance thermique (Figure 10).

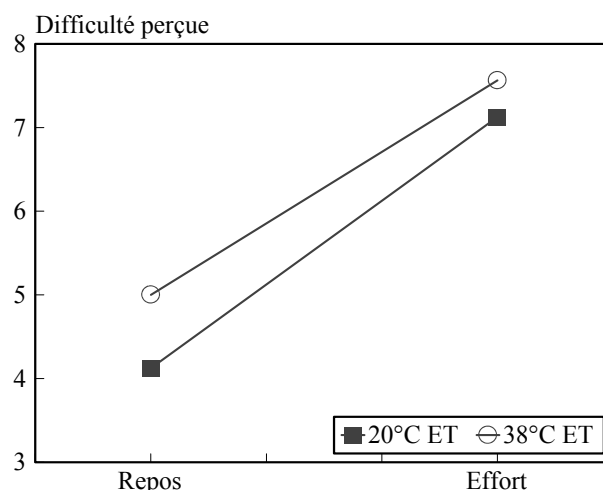


Figure 10: Influence de l'ambiance thermique et de la réalisation simultanée d'un effort de pédalage sur la perception de la difficulté dans des tâches de temps de réaction. Seul l'effet de l'effort est significatif.

Ce résultat suggère que l'influence d'un stressseur sur la difficulté perçue est liée avant tout à la concurrence informationnelle qu'il génère vis-à-vis de la tâche évaluée. Cette hypothèse est compatible avec un résultat 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

⁴ La température effective est une mesure du stressseur thermique, qui combine dans un indice unique la température de l'air, l'humidité relative et le mouvement de l'air (Houghten et Yagloglou, 1923)

signifiant et intense (70-90db). Dans la troisième, le sujet est soumis à un bruit signifiant (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 signifiant. Selon les auteurs, cet effet est dû au fait que davantage d'effort est nécessaire pour atteindre un même niveau de performance, lorsqu'un stressor vient interférer avec l'activité de traitement.

4.3. L'intégration perceptive: perception des exigences dans les tâches complexes.

Les travaux précédents nous ont permis d'analyser les influences réciproques des dimensions énergétiques et informationnelles dans l'évaluation des exigences. Cependant les situations étudiées correspondaient davantage à la juxtaposition de tâches simples qu'à des tâches réellement complexes. Afin d'aller plus loin dans l'étude de la perception de la difficulté dans les tâches complexes, nous nous sommes plus particulièrement intéressés aux tâches d'escalade (Delignières, Thépault-Mathieu, Famose & Fleurance, 1991; Delignières, Famose, Thépault-Mathieu & Fleurance, 1993).

15 grimpeurs de haut-niveau ont été confrontés à 27 passages aménagés sur une structure artificielle d'escalade. Après travail et réalisation de chaque tâche, les sujets devaient évaluer la cotation selon l'échelle fédérale. On a également procédé à la construction d'échelles psychophysiques de rapport, en ce qui concerne le niveau global d'exigence, puis en distinguant l'effort physique et la difficulté informationnelle. Des relevés électromyographiques ont été également réalisés, au niveau de quatre muscles du membre supérieur sollicités dans le mouvement-clé des passages.

Un premier résultat essentiel de cette expérience a été la consistance des évaluations séparées d'effort et de difficulté. On trouve des corrélations par les rangs élevées entre les scores d'effort perçu et l'activité électromyographique des muscles de la loge antérieure de l'avant-bras (.989 et .937), et un test d'ajustement montre qu'une fonction puissance d'exposant 2.441 rend précisément compte de la relation effort objectif-effort perçu ($r=.994$).

En ce qui concerne la dimension informationnelle, nous avons construit un indice spécifique de difficulté, en reprenant la démarche analogique de Fitts (1954). Nous avons obtenu une corrélation par les rangs de .979 entre cet indice et la difficulté perçue. Un test d'ajustement montre qu'une fonction exponentielle d'exposant .518 rend compte de cette relation ($r=.955$).

Partant des trois échelles de rapport construites lors de l'expérimentation, nous avons tenté d'évaluer les contributions respectives de l'effort et de la difficulté dans la formation du jugement concernant le niveau global d'exigence. Une analyse de régression multiple semble indiquer que l'évaluation globale des exigences de la tâche, en escalade, se base davantage sur l'effort physique produit que sur la précision requise. Globalement, l'influence de la difficulté informationnelle paraît même négligeable (les poids respectifs pour l'effort et la difficulté perçus sont de .927 et .017)

Néanmoins, si l'on pousse l'analyse en différenciant par type de tâche, on s'aperçoit que dans certains cas, la difficulté joue un rôle plus important. C'est le cas notamment quand la prise de main est la plus grande (les poids respectifs pour l'effort et la difficulté perçus sont alors .399 et .632). Or, la taille de la prise de main est un facteur primordial pour la grandeur de l'effort requis: plus l'effort à fournir est faible, plus les variations en difficulté ont

d'influence sur l'évaluation globale des exigences. A contrario, avec l'élévation de l'effort, l'évaluation des exigences semble se focaliser sur la dimension énergétique, et les variations en difficulté informationnelles, fussent-elles importantes, n'ont plus d'influence marquée. On pourrait décrire ce processus comme *une maximalisation, autour d'une dimension dominante*. Il convient maintenant de se demander si cette dominance énergétique mise en évidence est spécifique à l'escalade, à la pratique sur bloc, ou réduite à nos conditions expérimentales. Nous sommes plutôt portés à croire en un processus plus général, débordant le cadre de l'activité qui nous a servi de support expérimental.

Les résultats indiquent en outre que les cotations sont d'autant plus précises que les voies sont difficiles: on observe une corrélation de -0.742 ($p < .01$) entre la cotation et son écart-type. Ceci suggère que la sensibilité des sujets aux variations d'effort croît avec l'intensité de l'effort. Une telle évolution de la sensibilité à l'effort avait été démontrée par Blitz et van Moorst (1978), dans un paradigme basé sur la théorie de la détection du signal.

Enfin l'étude des relations entre échelles montre que la cotation fédérale est une transformation logarithmique de l'effort objectif, et que l'on peut décrire une relation exponentielle entre cotation et difficulté perçue. Ces résultats sont conformes à ceux obtenus précédemment dans divers travaux analysant les relations entre échelles de rapport et échelles de catégories (Eisler, 1962; Ekman & Künnapas, 1962; Gallanter & Messick, 1961).

Ces données suggèrent dans le cadre de tâches complexes, l'évaluation des exigences renvoie à une combinaison logique des dimensions énergétique et informationnelle. Elles confirment en outre que les méthodes psychophysiques peuvent être employées avec profit, même dans le cas de tâches aux exigences diversifiées.

Cinquième Partie

PERSPECTIVES DE DEVELOPPEMENT

Les travaux que nous avons présentés jusqu'à présent convergent, dans un mouvement que nous avons souhaité cohérent, vers la compréhension des processus d'évaluation des exigences des tâches motrices. Il s'agissait d'explorer un secteur remarquablement vierge, et nous pensons que notre quête s'est avérée fructueuse.

On nous a souvent questionné sur la "pertinence STAPS" de ces travaux, notamment en raison de la nature des tâches que nous avons le plus souvent utilisées. Néanmoins nous pensons que la pertinence d'une recherche dépend moins de la nature de la gestualité requise que de la spécificité du questionnement fondant l'expérimentation. Dans cette optique, s'intéresser à la perception de la difficulté, dans des situations où la sollicitation des ressources des sujets est maximale, nous semble relever spécifiquement du domaine des STAPS. Par ailleurs le recours à des tâches simples n'a constitué pour nous qu'une étape, rendue nécessaire par la faible structuration théorique du champ.

Cependant nous pensons être parvenu à un carrefour, une zone critique où nous devons faire un choix entre deux options opposées. La première consisterait, comme a pu le faire Borg à partir de la perception de l'effort (voir par exemple Borg, 1992), à utiliser le paradigme de la perception de la difficulté pour questionner et enrichir les modèles et théories de la psychophysique sensorielle. Nos travaux sur la signification des exposants individuels nous ouvrent notamment un champ relativement peu exploré. Cependant si jusqu'à présent, la psychophysique représentait pour nous avant tout un outil, au service de la compréhension des processus de perception de la difficulté, cette première option nous mènerait rapidement à inverser les rôles, et à mettre la perception de la difficulté au service de la psychophysique. Nous ne pensons pas que ce type de démarche ait sa place dans un laboratoire relevant d'une institution STAPS.

La seconde option consisterait à envisager le rôle fonctionnel de l'évaluation de la difficulté des tâches (difficulté estimée ou perçue), au niveau de l'acquisition, de l'optimisation, et de l'actualisation des habiletés motrices. Une approche de cette problématique est évoquée par un certain nombre d'auteurs, se référant soit à des modèles très généraux de la performance humaine (Gaillard, 1993; Humphreys & Revelle, 1984), soit à des théories plus spécifiques de la motricité (Sanders, 1983). Au-delà de certaines divergences théoriques, ces auteurs s'accordent à estimer que le sujet est capable de moduler l'intensité et l'efficacité de son activité de traitement, soit directement par un investissement d'effort, soit de manière indirecte par une adaptation de son niveau d'activation. Ces auteurs suggèrent que ces régulations sont sous le contrôle de processus d'évaluation de la situation.

Certains chercheurs, dans le domaine des STAPS, ont récemment développé des travaux à partir de la logique des facteurs additifs et du modèle de Sanders, dans le but d'analyser l'influence exacte de l'investissement d'effort sur l'activité de traitement (Laplace, Audiffren & Alain, 1994; Priout, Temprado & Laurent, 1994). Nous avons nous-même eu récemment recours à ce paradigme pour étudier l'impact de la chaleur humide sur la performance (Delignières, sous presse) et un certain nombre de nos travaux sont directement inspirés de ces modèles cognitivo-énergétiques (Delignières, Brisswalter & Legros, 1994, Arcellin, Delignières & Brisswalter, 1995).

Cependant malgré la profonde cohérence interne de ces modèles et la puissance des paradigmes qu'ils sont susceptibles de générer, nous demeurons réservé quant à leur pertinence réelle vis-à-vis de l'objet d'étude qui nous préoccupe, c'est-à-dire la motricité complexe. Nous sommes notamment sensible aux critiques émises par un certain nombre d'auteurs, relatives au problème de la gestion des multiples degrés de libertés qui caractérisent les habiletés complexes (Bernstein, 1967; Fowler & Turvey, 1978; Kugler & Turvey, 1987; Vereijken, 1991). Il nous semble que le comportement moteur doit être compris comme la résultante des multiples contraintes qui s'imposent à l'organisme, et que son émergence repose davantage sur un processus d'auto-organisation que de l'influence de computations centralisées. C'est donc dans le cadre des modèles dynamiques de l'apprentissage et du contrôle moteur que nous envisageons de poursuivre nos travaux.

Fondamentalement, nos recherches ont montré que la perception des exigences constituait moins la lecture d'une réalité objective que la projection des intentions, des motivations, des émotions et des attentes du sujet. C'est ce constat qui nous a amené à orienter nos derniers travaux sur la gestion des états affectifs ou l'investissement d'effort. Il nous semble maintenant nécessaire de jeter un pont entre cette perspective motivationnelle, énergétique, et des modèles susceptibles de rendre compte du contrôle des habiletés complexes.

Si les approches dynamiques nient la nécessité et la faisabilité d'un contrôle cognitif, centralisé et prescriptif de la motricité, elles mettent cependant l'accent sur le rôle fondamental joué par les intentions du sujet (Fowler & Turvey, 1978). C'est pour achever un but précis que le sujet s'engage dans une relation systémique avec son environnement. Or si le but choisi est en partie sélectionné parmi les possibilités d'actions offertes par l'environnement, sa détermination réelle nous semble renvoyer à une logique plus complexe. Notamment, et même dans ses aspects les plus habituels et utilitaires, la motricité véhicule des normes culturelles et vise à transmettre des émotions. Ceci est d'autant plus vrai dans le domaine sportif, et pas uniquement dans celui des activités dites d'expression. Il faut sans doute moins parler d'une intention que d'un système d'intentions, qui peuvent parfois entrer en conflit et altérer la performance.

Par ailleurs l'homme est sans doute l'organisme vivant le plus capable de créativité et d'innovation dans son rapport moteur au monde qui l'entoure. Il est également le plus à même de s'affranchir en partie des contraintes dynamiques de son environnement. Nous pensons de ce fait que les représentations du sujet, liées à la nature de la tâche à laquelle il est confronté, à sa difficulté, à son importance, au contexte dans lequel il baigne, peuvent être considérées comme des contraintes, d'ordre cognitif, susceptibles de peser sur la détermination du comportement moteur. Cette perspective nous amène à envisager trois axes de recherche, que nous souhaitons développer dans les années à venir:

- le premier vise à étudier le rôle des représentations de la tâche, spontanées ou

induites, sur la solution motrice que le sujet, de manière provisoire ou sur un plus long terme, adopte dans une situation donnée. Il s'agira notamment d'analyser et d'expliquer l'émergence et la stabilisation de coordinations non-optimales, dans des tâches où l'on prévoit au contraire une optimisation énergétique du comportement.

- le second s'intéresse aux stratégies de recherche utilisées par le sujet pour explorer l'espace de travail, et sur le rôle que les intentions peuvent jouer dans leur orientation. Cet axe est donc centré sur l'apprentissage, et sur les moyens d'en améliorer l'efficacité.

- le troisième concerne l'influence des facteurs contextuels sur une coordination déjà acquise. Il s'agira d'étudier l'impact de facteurs tels que le risque corporel, ou le stress compétitif, sur le contrôle des habiletés complexes.

5.1. Représentation de la tâche et solution motrice.

Dans une expérience réalisée récemment dans notre laboratoire, 5 sujets devaient apprendre à réaliser des mouvements de type slalom sur un simulateur de ski (Durand, Geoffroy, Varray & Préfaut, 1994). Les sujets avaient pour consigne de réaliser des mouvements les plus amples et les plus fréquents possibles. Les résultats indiquent que les sujets tendent dans leur ensemble à maximaliser l'amplitude de leurs mouvements, et à en optimiser la fréquence. La figure 10 représente l'évolution du compromis amplitude-fréquence chez les 5 sujets au cours de l'expérience: l'accroissement de l'amplitude s'accompagne d'une nette convergence des fréquences. Il semble qu'au-delà de 65 cm d'amplitude, les sujets ne s'écartent plus guère d'une fréquence d'oscillation voisine de 2.2 Hz.

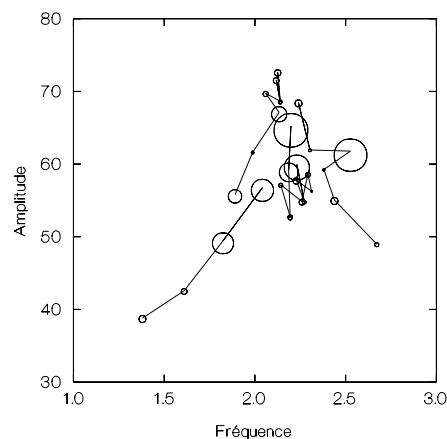


Figure 10: Evolution du rapport amplitude/fréquence pour 5 sujets lors de 5 sessions d'apprentissage sur le simulateur de ski. Les données sont regroupées par clusters, et le diamètre des bulles est proportionnel au nombre de mesures successives incluses dans chaque cluster.

La relation entre fréquence et coût énergétique est nettement curvilinéaire (Figure 11). Cette relation peut être ajustée par une fonction polynomiale, $y = (.246)x^2 - (1.080)x + 1.455$.

La dérivée de cette fonction s'annule pour $x=2.195$ (Delignières, Geoffroy, Nourrit & Durand, 1996).

Ces résultats sont cohérents avec un ensemble de travaux antérieurs, suggérant qu'il existe pour ce type de tâche cyclique une fréquence optimale d'oscillation, que cette fréquence est progressivement adoptée par les novices au cours de l'apprentissage, et est spontanément choisie par les experts lorsqu'ils en ont l'opportunité (Holt, Hamill & Andres, 1990; Salvendy, 1972; Sparrow, 1983; Zarrugh, Todd, & Ralston, 1974). Un système oscillant est en effet caractérisé par une fréquence naturelle, ou fréquence de résonance, au niveau de laquelle le coût requis pour l'entretien des oscillations est minimal. Cette fréquence constitue un attracteur, une zone de stabilité dans l'espace perceptivo-moteur associée à de faibles demandes en énergie, qui tend naturellement à capturer la coordination des sujets.

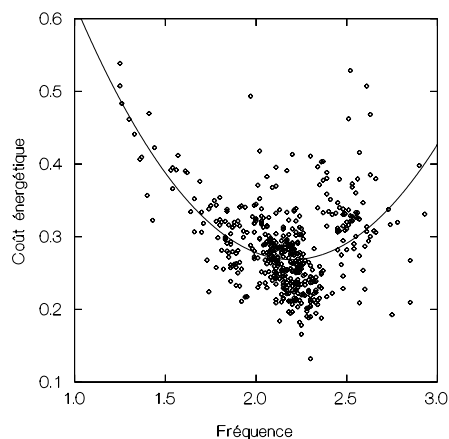


Figure 11: Relation fréquence/coût énergétique, à partir des données obtenues lors des sessions d'apprentissage sur le simulateur de ski.

Il semble cependant que certains sujets s'installent, provisoirement ou à plus long terme, dans des patterns non optimaux, sous l'angle de l'efficacité énergétique. C'est le cas notamment, dans l'expérience précitée, du sujet n°1 dont l'évolution est décrite figure 12. Ce sujet, ayant débuté l'expérience à faible amplitude mais fréquence élevée, commence par se diriger d'une manière relativement directe vers la zone d'optimalité. Puis on assiste à un nouvel accroissement de la fréquence: le sujet "remonte le ravin", et stationne durant trois sessions successives dans une région non-optimale de l'espace. Ce n'est qu'au cours du test de rétention que ce sujet revient au niveau de la fréquence optimale.

Nous faisons l'hypothèse que ce type de comportement, que l'on peut retrouver également dans des tâches de locomotion (e.g. Morgan & Martin, 1986; Morgan, Martin, Craib, Caruso, Clifton, & Hopewell, 1994), vise à satisfaire certaines exigences symboliques, soit relativement explicites (il est possible par exemple que ce sujet ait voulu utiliser cette tâche pour dépenser le plus d'énergie possible, par exemple pour perdre du poids ...), soit plus profondément ancrées dans la personnalité et/ou la culture du sujet. En d'autres termes, nous pensons que les contraintes qui s'imposent au système ne sont pas uniquement de nature biomécanique et dynamique. La représentation que le sujet a de la tâche, les intentions qui peuvent en découler, constituent un ensemble de *contraintes cognitives* qui vont affecter la structuration de l'espace perceptivo-moteur et peser sur la solution motrice retenue.

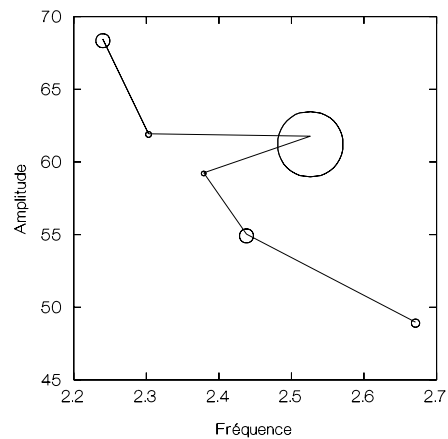


Figure 12: Evolution du rapport amplitude/fréquence d'un sujet, lors de 5 sessions d'apprentissage sur le simulateur de ski. Les données sont regroupées par clusters, et le diamètre des bulles est proportionnel au nombre de mesures successives incluses dans chaque cluster. Le cluster initial est situé en bas et à droite (amplitude faible, fréquence élevée).

Plusieurs propositions peuvent être faites pour analyser plus à fond les rapports entre représentation et solution motrice:

(a) Un premier axe de travail consisterait à élucider *a posteriori* les représentations des sujets s'installant dans des configurations non-optimales, et d'étudier les relations que certaines catégories de représentations entretiennent avec certains types de solution motrice. Nous pensons pouvoir faire émerger certaines exigences-types, telles que la conformation à un modèle technique, une recherche de maximalisation de la dépense énergétique, ou encore la poursuite d'objectifs esthétiques. Dans un second temps il serait intéressant de vérifier s'il est possible, en induisant ces différents types d'exigences par la présentation que l'on fait de la tâche, de faire émerger de manière systématique les solutions motrices correspondantes.

Ce type de travail pourrait être réalisé dans le cadre de tâches cycliques (le simulateur de ski par exemple, mais également des tâches de locomotion). De nombreuses activités sportives pourraient également fournir un support favorable, et notamment l'escalade. Cette dernière activité procurerait notamment un cadre intéressant pour analyser la manière selon laquelle contraintes dynamiques et symboliques interagissent dans l'émergence du "style" particulier de chaque grimpeur. (Cordier, Mendès France, Pailhous & Bolon, 1994).

(b) Une seconde approche consisterait à analyser les modalités de contrôle de ces configurations non optimales. On peut notamment faire l'hypothèse que ces configurations présentant une stabilité moindre, elles nécessitent davantage d'effort pour leur contrôle. Dans la logique du modèle que nous avons exposé dans les parties précédentes, on peut supposer que les sujets présentant des configurations non optimales, même stabilisées, fourniront des scores d'effort ou de difficulté perçus plus élevés.

(c) Enfin, nous pensons que l'influence de ces contraintes symboliques est inversement proportionnelle à la force des attracteurs dynamiques. Les résultats de l'expérience décrite précédemment sur le simulateur de ski (voir figure 10) suggèrent que la force de l'attracteur

fréquence dépend de l'amplitude du mouvement: en d'autres termes, si à faible amplitude les sujets sont susceptibles d'adopter des fréquences variées, au-delà d'une certaine amplitude (voisine de 65 cm au vu des données expérimentales) on observe une forte similarité inter-sujets des fréquences. Même si cette hypothèse nous semble plausible, sa validation empirique est loin d'être complète.

On peut envisager de vérifier cette hypothèse en demandant à des sujets d'apprendre à réaliser des mouvements sur ce simulateur, mais en respectant certaines amplitudes-cibles. Dans un travail en cours, nous avons réparti les sujets en 4 groupes. Considérant que 65 cm représente une "amplitude critique" dans l'espace de problème, nous avons assigné aux deux premiers groupes des amplitudes-cibles sous-critiques (40 et 55 cm) et aux deux derniers des amplitudes sur-critiques (70 et 85 cm). Les sujets reçoivent un *feedback* en continu sur les amplitudes qu'ils produisent, et bénéficient chacun d'une durée équivalente d'apprentissage. Nous nous attendons à obtenir une plus grande variabilité des fréquences dans les groupes à amplitude sous-critique.

5.2. Le guidage des stratégies de recherche.

L'influence de l'évaluation de la situation sur le comportement moteur se pose également en terme d'apprentissage. Et si comme nous le proposons précédemment, la difficulté estimée ou perçue est davantage une évaluation de la difficulté du but que de la difficulté de la tâche, notre problématique semble en fait conceptuellement proche des travaux sur la fixation de but (*goal setting*), déjà amplement développés tant dans le domaine industriel que dans le domaine sportif (voir notamment Locke, 1991; Locke & Latham, 1985; Weinberg & Weigand, 1993). Ces travaux montrent généralement que l'assignation aux sujets de buts difficiles entraîne un accroissement de l'investissement d'effort et une amélioration de la performance.

On peut reprocher d'une manière générale à ces travaux de se cantonner le plus souvent à une approche unidimensionnelle et quantitative de la performance. Ce type d'approche, mettant en exergue des indices essentiellement continus, masque les réorganisations qualitatives qui scandent l'apprentissage (Newell, 1991). Selon cet auteur, l'apprentissage est une activité d'exploration d'un espace de travail, à la recherche d'une solution optimale. L'objet principal d'étude doit donc être les stratégies d'exploration de l'espace de travail, c'est-à-dire la manière dont les sujets en exploitent les contraintes au fur et à mesure de leurs tentatives, afin de découvrir à terme la solution optimale (Fowler & Turvey, 1978; Gel'fand & Tsetlin, 1962; Newell, Kugler, van Emmerick & McDonald, 1989).

L'étude de ces stratégies constitue un des axes privilégiés de travail de notre laboratoire (Durand, 1993; Durand, Geoffroy, Varray & Préfaut, 1994; Geoffroy, Delignières & Durand, 1995). Nous travaillons notamment à l'heure actuelle à l'élaboration de techniques d'évaluation de ces stratégies, à partir de procédures de lissage et de regroupement de données (*cluster analysis*), et par la mise au point d'indices spécifiques (complexité, densité, orientation⁵).

⁵ Nous étudions ces stratégies au travers de représentations en deux dimensions de séries temporelles, caractérisant l'évolution du compromis amplitude/fréquence (voir Figures 10 et 12). Ces séries peuvent être segmentées en séquences, renvoyant soit à des subdivisions temporelles (essais, sessions, jour), soit à des groupements naturels (*clusters*). La complexité d'une séquence est définie par le rapport entre la distance

Quelques travaux, dans le domaine du *goal-setting*, ont tenté une approche plus qualitative, et ont montré que l'assignation de buts favorise en cas d'obstacle la construction de stratégies alternatives (Campbell, 1991; Latham & Baldes, 1975; Smith & Lee, 1992). Les sujets auxquels on assigne des buts recherchaient des moyens plus créatifs pour les atteindre. Notamment Smith et Lee (1992) montrent dans une tâche de jonglage avec une balle de basket-ball, que les sujets du groupe contrôle se contentent d'une pratique répétitive de la tâche, alors que les sujets des groupes *goal-setting* ont recours à des stratégies d'imagerie, de focalisation sur certains aspects de la tâche, de décomposition de l'habileté en diverses composantes, et de variation isolée d'une de ces composantes.

On peut donc supposer que l'assignation de buts modifie les stratégies de recherche de solution du sujet. Dans le travail que nous évoquions précédemment sur l'apprentissage d'une tâche sur simulateur de ski, nous avons pu montrer que des sujets placés dans une situation du type "faites de votre mieux" (c'est-à-dire la situation-contrôle type des paradigmes de *goal-setting*) adoptaient des stratégies variées, privilégiant soit une exploration relativement simple et orientée, soit une stratégie circulaire et redondante (voir Figure 10). Nous faisons l'hypothèse que ces choix dépendent des objectifs que se sont assignés individuellement chaque sujet, et nous pensons qu'un contrôle expérimental de ces buts est nécessaire pour mieux comprendre la manière dont les individus appréhendent un espace de travail complexe.

Nous nous proposons donc d'étudier de manière systématique l'influence de l'assignation de buts précis et quantitatifs sur les stratégies de recherche déployées par les sujets. Ces travaux consisteraient à comparer, lors de sessions d'apprentissage sur le simulateur de ski, des sujets recevant une consigne du type "faites de votre mieux", et des sujets recevant une consigne précise en terme d'amplitude et de fréquence à atteindre, ainsi qu'un *feedback* en continu sur leur progression vis-à-vis de l'objectif. Nous nous attendons à obtenir des stratégies plus simples, davantage orientées, et permettant un apprentissage plus rapide.

Une seconde ligne de recherche consisterait à étudier s'il est possible d'optimiser les stratégies d'exploration, en fournissant aux sujets des informations spécifiques, ou informations transitionnelles (Kernodle & Carlton, 1992; Newell, 1991). Ces informations se distinguent des *feedbacks* classiques dans le sens où elles ne renvoient pas aux actions réalisées par le sujet, mais aux transformations que le sujet doit apporter à ses actions. Kernodle & Carlton (1992) ont montré que ces informations transitionnelles avaient dans le cadre d'une tâche de lancer de balles une efficacité supérieure à celle des *feedbacks*, que ceux-ci concernent le résultat ou les caractéristiques de la coordination.

Les travaux réalisés sur le simulateur de ski par Whiting et ses collaborateurs (den Brinker, Stäbler, Whiting & van Wieringen, 1986; Vereijken, 1991; Vereijken & Whiting, 1990) se sont principalement intéressés à l'effet de *feedbacks* de différentes natures (amplitude, fréquence ou fluidité du mouvement). Ces travaux s'avèrent dans l'ensemble décevants, la proposition de *feedbacks* ne permettant pas de déboucher sur des résultats plus consistants qu'un apprentissage sans retour d'information (*discovery learning*). On peut noter cependant que ces *feedbacks* ne concernaient que les résultats de l'action, et ne procuraient aucune information permettant aux sujets d'amender leurs stratégies.

séparant les points extrêmes de cette séquence, et la distance totale parcourue lors de la séquence. La densité d'une séquence est définie comme la distance moyenne des points la constituant à leur centre de gravité. L'orientation renvoie à la variabilité de la direction du déplacement du sujet dans l'espace de travail au cours de la séquence.

Vereijken (1991) montre dans son travail sur le simulateur de ski que les sujets adoptent au cours de l'apprentissage une succession de modes de coordination, caractérisés par des modèles oscillatoires qualitativement différents. Dans un travail en cours (pour des résultats préliminaires, voir Nourrit, Delignières & Micallef, 1996), nous avons mis en évidence une évolution similaire de la coordination lors de l'apprentissage d'une habileté gymnique. Ces résultats suggèrent que dans l'apprentissage d'une habileté complexe, les sujets n'ont pas d'emblée accès à l'espace de travail caractéristique de l'expertise. L'apprentissage peut se caractériser par la prise en compte d'espaces de travail de plus en plus complexes, et nous faisons l'hypothèse que le rôle fonctionnel des modes de coordinations successivement adoptés est de permettre au sujet le passage d'un espace de travail à un autre.

L'approche des stratégies de recherches proposée par Newell *et al.* (1989) repose sur l'idée que le sujet est confronté à un espace de travail exo-déterminé, et que sa tâche est d'en identifier la(es) zone(s) optimale(s). Cette perspective semble peu pertinente dans le cadre des tâches qui nous préoccupent, dans la mesure le problème pour le sujet, du moins dans un premier temps, est plus d'accéder à un espace expert de travail que de mener à bien son exploration (Vereijken, 1991). Il nous semble donc préférable d'étudier la manière dont les sujets traversent les espaces de travail successifs qu'ils prennent en compte, en quoi les modes de coordinations qu'ils adoptent leur permettent de passer d'un espace de travail à l'autre, et enfin en quoi certaines consignes ou certaines informations peuvent faciliter cette transition.

Nous faisons l'hypothèse selon laquelle un mode de coordination, élaboré dans un premier espace de travail, permet le passage dans un second espace de travail dans la mesure où il donne au sujet la possibilité de faire évoluer un paramètre de contrôle pertinent. Rappelons qu'un paramètre de contrôle est une dimension qui au-delà d'un certain niveau entraîne une modification de la dynamique intrinsèque de la tâche. Kelso et Schöner (1988) montrent par exemple que dans une tâche de flexion/extension simultanée des deux index, deux attracteurs apparaissent à faible fréquence d'oscillation: la coordination in-phase et la coordination anti-phase. Lorsque la fréquence d'oscillation des index atteint une certaine valeur, la coordination anti-phase est déstabilisée et le seul attracteur qui subsiste est la coordination in-phase. La fréquence d'oscillation apparaît ici comme un paramètre de contrôle de l'espace de travail.

Dans cette perspective, l'efficacité d'une consigne serait liée au fait qu'elle contraigne le sujet à faire évoluer un paramètre de contrôle jusqu'à une valeur critique, entraînant une modification qualitative du paysage des attracteurs. Nous envisageons de tester cette hypothèse dans le cadre de l'apprentissage de tâches gymniques (par exemple la roue au sol). Il s'agirait pour ce travail dans un premier temps d'identifier les modes de coordination successifs adoptés par les sujets, et d'analyser en quoi chaque mode de coordination peut être analysé comme un moyen de faire évoluer un paramètre de contrôle de l'espace de travail. Dans un second temps, on vérifiera que des sujets recevant des consignes focalisant sur l'évolution de ce paramètre de contrôle ont un apprentissage plus rapides que des sujets apprenant par simple adaptation, ou des sujets recevant d'autres types de consignes.

Une autre approche consisterait à identifier auprès d'entraîneurs experts des consignes d'apprentissage réputées efficaces, à un moment donné du processus d'acquisition. La littérature technique abonde de ces "recettes" didactiques, le plus souvent découvertes par hasard par les entraîneurs. Le but de ce travail serait d'analyser en quoi l'efficacité de ces consignes est liée aux contraintes qu'elles imposent au sujet sur l'évolution d'un paramètre de contrôle.

5.3. Facteurs de contexte et coordination.

Newell (1986) propose une classification des contraintes en trois catégories: les contraintes liées à la tâche, les contraintes liées à l'individu, et les contraintes liées à l'environnement. Ces dernières renvoient à l'ensemble des facteurs ambiants, non spécifiques à la tâche, mais susceptibles d'affecter l'activité du sujet. Nous avons nous même proposé le terme de *facteurs de contexte*, pour désigner ce type de variables (Delignières, 1993).

Il existe une littérature fournie sur les effets de stress environnementaux tels que le bruit, la chaleur ou la privation de sommeil (Hancock, 1984; Wilkinson, 1969). La plupart des travaux sur l'influence du stress ont porté sur des tâches simples, et ont utilisé des mesures unidimensionnelles de performance. D'une manière générale ces travaux sont organisés par rapport à l'hypothèse déjà ancienne du U-inversé, liant le niveau d'activation à l'efficacité des processus cognitifs sous-tendant la performance (e.g. Duffy, 1962). Néanmoins ce modèle est controversé, y compris chez les tenants de l'approche cognitive, et rend difficilement compte des effets du stress dans les habiletés complexes (Jones & Hardy, 1989). Dans une approche dynamique du contrôle moteur, certaines hypothèses alternatives peuvent être proposées:

Une première considère que les stressors environnementaux affectent la coordination en modifiant directement les caractéristiques dynamiques de l'organisme. Si l'on accepte l'idée qu'un stressor tend à altérer le niveau d'activation du système, on peut faire l'hypothèse que cette adaptation entraîne une modification du tonus et donc de la raideur du système musculaire (Melo & Laurent, 1994).

Une autre hypothèse considérerait l'altération de la coordination comme la résultante d'une stratégie active de contrôle, de la part du sujet. L'acquisition d'une habileté motrice est décrite par les tenants de l'approche dynamique comme un processus progressif de libération des degrés de liberté, après une phase initiale où le débutant au contraire gèle un certain nombre de ces degrés potentiels de liberté pour simplifier l'espace de problème (Bernstein, 1967; Vereijken, 1991). On peut faire l'hypothèse que le stress entraîne une régression de la coordination vers des étapes antérieures de son organisation: c'est-à-dire que confronté à un environnement stressant, le sujet réagirait en gelant des degrés de liberté précédemment libérés au cours de l'apprentissage.

Un autre aspect fréquemment évoqué dans l'analyse du développement des structures de coordination est la tendance directionnelle de la libération des degrés de liberté, selon une logique proximo-distale et céphalo-caudale, qui n'est pas sans rappeler les caractéristiques du développement moteur de l'enfant (Newell, 1986; Newell & van Emmerik, 1990). Dans cette logique, on peut supposer que si le stress affecte la coordination par un accroissement de la raideur du système musculaire, l'ensemble des charnières articulaires devraient être affectées dans les mêmes proportions. Par contre, si les effets du stress sont le reflet d'une stratégie adaptative du sujet, on peut s'attendre à ce que le gel des degrés de liberté soit sélectif, remontant dans une logique distalo-proximale le processus antérieur de libération.

Nous nous proposons de tester ces d'hypothèses en analysant la manière dont le risque corporel affecte une coordination acquise. Ceci peut à nouveau être envisagé sur le simulateur de ski. Dans un premier temps les sujets participeront à des sessions d'apprentissage, jusqu'à stabilisation d'un pattern de mouvement optimal. Dans un second temps, le simulateur de ski sera installé sur une plate-forme étroite, située à 1.50 mètres de haut. La sécurité des sujets

sera assurée par un dispositif approprié (câble d'assurage relié à une ceinture). La situation demeurera cependant suffisamment anxiogène pour susciter une adaptation du comportement. Les sujets seront équipés de marqueurs placés aux articulations des membres supérieurs et inférieurs, et filmés durant l'ensemble des sessions. Les images seront ensuite digitalisées en trois dimensions. Plusieurs types de données en seront extraites, et notamment les angles des différentes articulations corporelles, recueillis sous forme de séries temporelles. L'analyse portera d'une part sur les mesures de dispersion, permettant de déterminer la fixation/libération des degrés de liberté, et d'autre part sur l'étude cross-corrélationnelle, permettant de mettre en évidence l'évolution des couplages entre degrés de liberté (Vereijken, 1991).

Cette analyse devrait permettre de mettre en évidence un accroissement de la dispersion de données angulaires au cours de l'apprentissage, et une réduction des corrélations inter-articulaires, dénotant une libération progressive des degrés de liberté. Lors de la confrontation du sujet à la situation anxiogène, nous nous attendons à l'inverse à un accroissement des corrélations entre les angulations articulaires. Cet accroissement devrait en outre toucher en priorité les segments les plus distaux. De manière corrélative, on devrait assister à une diminution des mesures macroscopiques d'amplitude, de fréquence et de fluidité.

Cette étude devrait permettre d'initier une nouvelle approche de la dimension affective et de ses effets sur la performance. Nous pensons que cette perspective intégrée apportera davantage d'informations sur l'influence du stress dans les situations motrices réelles et notamment sportives, que les travaux antérieurs réalisés selon une approche strictement cognitive.

En résumé, si nous sommes convaincu que la coordination est principalement une structure émergeant des contraintes de l'espace de travail, nous pensons que les intentions, les motivations, les émotions du sujet participent à la structuration de cet espace. Nous croyons cette hypothèse susceptible d'apporter des éclairages nouveaux sur l'apprentissage et l'actualisation des habiletés sportives, en permettant d'en prendre davantage en compte les dimensions émotionnelles et volitives.

CONCLUSION

Cette note de synthèse a principalement rendu compte de nos travaux sur la perception de la difficulté, que nous avons initiés lors de notre préparation au Diplôme de l'INSEP, puis continués dans le cadre de notre thèse de doctorat STAPS sous la direction de J.P. Famose, et poursuivis au sein du Laboratoire de Psychologie du Sport de l'INSEP. Du fait de notre appartenance à ce laboratoire, nous avons été amené à réaliser d'autres recherches, notamment à la demande des instances sportives. Ces travaux ont porté notamment sur les problématiques d'évaluation et de détection (Bot, Delignières & Famose, 1993; Bot & Delignières, 1995; Delignières & Raud, 1993; Fleurance, Delignières, Famose, Breuil & Benomard, 1994), sur l'auto-évaluation des capacités physiques (Delignières, Marcellini, Legros & Brisswalter, 1994a, 1994b), sur la prise de risque et la sécurité (Delignières, 1991a; 1993b), et sur l'influence des contextes nuisants sur la performance (Delignières, 1995; Delignières & Brisswalter, 1995). Ce travail nous a amené à manier des dispositifs expérimentaux et des outils statistiques divers, et nous a doté d'une expérience à spectre large, que nous nous attachons à réinvestir dans nos fonctions actuelles.

Nous avons clairement tracé lors de la dernière partie de cette note la nouvelle orientation que nous entendons donner à notre activité de recherche dans les années à venir. Il s'agira avant tout d'approfondir l'étude de l'apprentissage et de l'optimisation des habiletés complexes, en mettant l'accent sur le rôle des représentations que le sujet se forge des exigences de la situation (difficulté perçue, habileté perçue, risque perçu). Notre but est d'analyser l'interaction fonctionnelle entre l'appréhension cognitive de la situation et les processus d'auto-organisation qui sous-tendent l'apprentissage et l'optimisation de la performance. Nous nous situons ici dans la ligne de l'approche intégratrice préconisée par Durand (1991), en tentant peut-être des associations encore plus osées, puisqu'il s'agira notamment de faire converger les approches dynamiques de l'apprentissage et du contrôle moteur avec la psychologie de la motivation ou des émotions. Mais c'est à ce prix que nous pensons pouvoir faire émerger des problématiques de recherche relevant spécifiquement du domaine des STAPS, et ainsi tenter de contribuer à la construction de son identité universitaire.

REFERENCES

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. (1976). La mesure de l'information: des concepts intuitifs aux concepts quantitatifs. *Mouvement*, **2**, 5-14.

Arcelin, R., Delignières, D., & Brisswalter, J. (1995). *Interferences between physical exertion and different stages of information processing*. Communication présentée au IXth European Congress on Sport Psychology, Bruxelles, 4-9 Juillet 1995.

Atkinson, J.W. (1957). Motivational determinants of risk-taking behavior. *Psychological Review*, **64**, 359-372.

Bernstein, N.A. (1967). *The coordination and regulation of movements*. Oxford: Pergamon Press.

Blitz, P.S., & van Moorst, A. (1978). Physical fatigue and the perception of differences in load: a signal detection approach. *Perceptual and Motor Skills*, **46**, 779-790.

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 Medicine*, **2**, 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. (1974). *On a general scale of perceptive intensities*. Reports from the Institute of Applied Psychology, University of Stockholm, n°55.

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**, 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. (1992). A "fixed star" for interprocess comparisons. In *Fechner Day 92, Proceedings of the Eighth Annual Meeting of the International Society for Psychophysics* (edited by G. Borg et G. Neely), pp 41-45. International Society for Psychophysics, Stockholm.
- Borg, G.A.V., & Forsling, S. (1964). *A psychophysical study on perceived difficulty*. Report from the Departement of Education and the Departement 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., Bratfisch, O., & Dornic, S. (1971a). On the problems of perceived difficulty. *Scandinavian Journal of Psychology*, **12**, 249-260.
- Borg, G.A.V., Bratfisch, O., & Dornic, S. (1971b). *Perceived difficulty of an immediate memory task*. Reports from the Institute of Applied Psychology, University of Stockholm, n°15.
- Borg, G.A.V., Bratfisch, O., & Dornic, S. (1971c). *Perceived difficulty of a visual search task*. Reports from the Institute of Applied Psychology, University of Stockholm, n°16.
- Borg, G.A.V., 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**, 69-77.
- Bot, G., & Delignières, D. (1995). *Using physical abilities to predict future performances in tennis*. Communication présentée au IXth European Congress on Sport Psychology, Bruxelles, 4-9 Juillet 1995.
- Bot, G., Delignières, D., & Famose, J.P. (1993). *Identification des aptitudes requises pour la détection des talents en tennis*. Communication présentée aux Vèmes Journées Internationales d'Automne de L'ACAPS, Caen, 28-30 Octobre 1993.
- Botterill, C; (1978). The psychology of coaching. *Coaching Review*, **1**, 1-8.
- Boutcher, S.H., Fleischer-Curtian, L.A., & Gines, S.D. (1988). The effects of self-presentation on perceived exertion. *Journal of Sport and Exercise Psychology*, **10**, 270-280.
- 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.

Brisswalter, J., Durand, M., Delignières, D., & Legros, P. (1995). Optimal and non-optimal demand in a dual task of pedalling and single reaction time: Effects on energy expenditure and cognitive performance. *Journal of Human Movement Studies*, **29**, 15-34.

Burton, D. (1989). Winning isn't everything: examining the impact of performance goals on collegiate swimmers' cognitions and performance. *The Sport Psychologist*, **3**, 105-132.

Campbell, D.J. (1990). Goal levels, complex tasks, and strategy development: A review and analysis. *Human Performance*, **4**, 1-31.

Ceci, R., & Hassmén, P. (1991). Self-monitored exercise at three different RPE intensities in treadmill vs field running. *Medecine and Science in Sports and Exercise*, **23**, 732-738.

Chow, R.J., & Wilmore, J.H. (1984). The regulation of exercise intensity by ratings of perceived exertion. *Journal of Cardiac Rehabilitation*, **4**, 382-387.

Chung C.H., Seong C.H., Hong J.H. & Kim, C.S. (1993). The effects of personality type and attentional direction on ratings of perceived exertion and exercise endurance time. In S. Serpa, J. Alves, V. Ferreira & A. Paula-Brito (Eds.), *Sport Psychology: an integrated approach. Proceedings of the 8th World Congress of Sport Psychology* (pp. 814-816). Lisbonne: I.S.S.P.

Cordier, P., Mendès France, M., Pailhous, J. & Bolon, P. (1994). Entropy as a global variable of the learning process. *Human Movement Science*, **13**, 745-763.

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. (1991a). Risque perçu et apprentissage moteur. In J.P. Famose, P. Fleurance & Y. Touchard (Eds.), *Apprentissage moteur: le rôle des représentations* (pp. 157-171). Paris: EPS.

Delignières, D. (1993a). *Approche psychophysique de la perception de la difficulté dans les tâches perceptivo-motrices*. Thèse de Doctorat S.T.A.P.S., Université Paris V.

Delignières, D. (1993b). Risque préférentiel, risque perçu et prise de risque. In J.P. Famose (Ed.), *Cognition et performance*(pp. 79-102). Paris: INSEP.

Delignières, D. (1995). *Effects of heat stress and time on task on reaction time*. Communication présentée au IXth European Congress on Sport Psychology, Bruxelles, 4-9 Juillet 1995.

Delignières, D. (sous presse). Influence de la chaleur humide sur le traitement de l'information et la performance. In J.F. Stein (Ed.), *Contextes nuisants et performance sportive*. Paris: INSEP.

Delignières, D., & Brisswalter, J. (1994a). *Influence d'une tâche de marche sur le temps de réaction simple: effet de la nature du signal et de l'efficacité de la locomotion*. In M. Audiffren & G. Minvielle (Eds.), *Psychologie des pratiques physiques et sportives* (pp. 205-206). Poitiers: Presses de l'UFR APS de l'Université de Poitiers.

Delignières, D., & Brisswalter, J. (1994b). Influence of an added perceptual motor task on perceived exertion: A test of the dissociation effect. *Perceptual and Motor Skills*, **78**, 855-858.

Delignières, D., & Brisswalter, J. (1995). *Effects of heat stress and physical exertion on simple and choice reaction time*. Communication présentée au IXth European Congress on Sport Psychology, Bruxelles, 4-9 Juillet 1995.

Delignières, D. & Brisswalter, J. (1996). The perception of difficulty: What can be known about perceptive continua through individual psychophysical exponents? *Journal of Human Movement Studies*, **30**, 23-239.

Delignières, D., & Famose, J.P. (1991). Estimation des exigences bioénergétiques des tâches motrices. Influence de l'âge et du sexe. *STAPS*, **12**, 63-72.

Delignières, D., & Famose, J.P. (1992). Perception de la difficulté, entropie et performance. *Science & Sports*, **7**, 245-252.

Delignières, D., & Famose, J.P. (1994). Perception de la difficulté et nature de la tâche. *Science et Motricité*, **23**, 39-47.

Delignières, D., & Raud, I. (1993). *Détermination du profil d'aptitudes et traits de personnalité requis en Badminton*. Communication présentée aux Vèmes Journées Internationales d'Automne de L'A.C.A.P.S., Caen, 28-30 Octobre 1993.

Delignières, D., Brisswalter, J., & Legros, P. (1994). Influence of physical exercise on choice reaction time in sport experts: the mediating role of resource allocation. *Journal of Human Movement Studies*, **27**, 173-188.

Delignières, D., Famose, J.P., & Courty, J.T. (1991). *Contribution à l'étude des différences liées au sexe dans la perception de la difficulté des tâches motrices*. Communication présentée aux IVèmes Journées Internationales d'Automne de L'A.C.A.P.S., Lille, Novembre 1991.

Delignières, D., Famose, J.P., & Genty, J. (1994). Validation d'une échelle de catégories pour la perception de la difficulté. *Revue S.T.A.P.S.*, **34**, 77-88.

Delignières, D., Famose, J.P., Thépaut-Mathieu, C., & Fleurance, P. (1993). A psychophysical study on difficulty ratings in rock climbing. *International Journal of Sport Psychology*, **24**, 404-416.

Delignières, D., Geoffroy, V., Nourrit, D. & Durand, M. (1996). *Energy Expenditure And Efficiency In The Learning Of A Complex Cyclical Skill*. Communication présentée au 1st Annual Congress of ECSS, Nice, 28-31 Mai 1996.

Delignières, D., Legros, P., & Famose, J.P. (1991). Perception de l'effort et difficulté de la tâche. *Science et Motricité*, **13**, 14-18.

- Delignières, D., Marcellini, A., Legros, P., & Brisswalter, J. (1994a). Self-perception of fitness and personality traits. *Perceptual and Motor Skills*, **78**, 843-851.
- Delignières, D., Marcellini, A., Legros, P., & Brisswalter, J. (1994b). *L'auto-évaluation des capacités physiques*. In M. Huteau (Ed.), *Les techniques psychologiques d'évaluation des personnes* (pp. 819-822). Paris: EAP.
- Delignières, D., Thépaut-Mathieu, C., Famose, J.P., & 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.
- den Brinker, B.P.L.M., Stäbler, J.R.L.W., Whiting, H.T.A. & van Wieringen, P.C.W. (1986). The effect of manipulating knowledge of results on the learning of slalom-type ski movements. *Ergonomics*, **29**, 31-40.
- Die, A.H., & Holt, V.R. (1989). Perceptions of the "typical" female, male, female athlete and male athlete. *International Journal of Sport Psychology*, **20**, 135-146.
- Dornic, S. (1986). Traitement de l'information, stress et différences interindividuelles. *Le Travail Humain*, **49**, 61-73.
- 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., 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., 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.
- Durand, M. (1991). *Analyse de la tâche et étude des comportements de l'enfant en sport et en Education Physique*. Note de synthèse en vue de l'obtention du Diplôme d'Habilitation à Diriger les Recherches, Université Montpellier I.
- Durand, M. (1993). Apprentissage, stratégies de recherche et optimisation de la performance. In J.P. Famose (Ed.), *Cognition et Performance* (pp. 61-78). Paris: Publications INSEP.
- 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., Geoffroi, V., Varray, A. & Préfaut, C. (1994). Study of the energy correlates in the learning of a complex self-paced cyclical task. *Human Movement Science*, **13**, 785-799.
- Eisler, H. (1962). Empirical test of a model relating magnitude and category scales. *Scandinavian Journal of Psychology*, **3**, 88-96.
- Eklom, 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. & Akesson, C. (1965). Saltiness, sweetness, and preference. A study of quantitative relations in individual subjects. *Scandinavian Journal of Psychology*, **6**, 241-253.
- Ekman, G., & Künnapas, T. (1962). Measurement of aesthetic value by "direct" and "indirect" methods. *Scandinavian Journal of Psychology*, **3**, 33-39.
- Ekman, G., Hosman, B., Lindman, R., Ljungberg, L. & Akesson, C.A. (1968). Interindividual differences in scaling performance. *Perceptual and Motor Skills*, **26**, 815-823.
- Famose, J.P. (1993). Rôle des valences et des attentes dans la performance motrice. In J.P. Famose (Ed.), *Cognition et performance* (pp. 103-142). Paris: INSEP Publications.
- Fitts, P.M. (1954). The information capacity of the human motor system in controlling the amplitude of movement. *Journal of Experimental Psychology*, **47**, 381-391.
- Fitts, P.M., & Peterson, J.R. (1964). Information capacity of discrete motor responses. *Journal of Experimental Psychology*, **67**, 103-111.
- Fleurance, P., Delignières, D., & Famose, J.P. (1993). *Discrimination et hiérarchisation des aptitudes physiques et psychologiques mises en jeu lors de l'exécution des tâches spécifiques des emplois militaires*. Projet ARMEVAL I, rapport terminal (28 fascicules). Paris: I.N.S.E.P.
- Fleurance, P., Delignières, D., Famose, J.P., Breuil, J., & Benomard, J.J. (1994). *Peut-on évaluer les personnels sans évaluer les demandes de l'emploi?* In M. Huteau (Ed.), *Les techniques psychologiques d'évaluation des personnes* (pp. 823-827). Paris: EAP.
- Fowler, C.A. & Turvey, M.T. (1978). Skill acquisition: An event approach with special reference to searching for the optimum of a function of several variables. In G.E. Stelmach (Ed.), *Information Processing in Motor Control and Learning* (pp. 1-40). New York: Academic Press.
- Gaillard, A.W.K. (1993). Comparing the concepts of mental load and stress. *Ergonomics*, **36**, 991-1005.
- Gallanter, E., & Messick, S. (1961). The relation between category and magnitude scales of loudness. *Psychological Bulletin*, **68**, 363-372.
- Gel'fand, I.M. & Tsetlin, M.L. (1962). Some methods of control for complex systems. *Russian Mathematical Surveys*, **17**, 95-116.
- Gescheider, G.A. (1988). Psychophysical scaling. *Annual Review of Psychology*, **39**, 169-200.
- Glass, S.C., Whaley, M.H., & Wegner, M.S. (1991). Ratings of perceived exertion among standard treadmill protocols and steady state running. *International Journal of Sport Medicine*, **12**, 77-82.
- Gopher, D., & Braune, R. (1984). On the psychophysics of workload: Why bother with subjective measures? *Human Factors*, **26**, 519-532.
- Gould, D. (1986). Goal setting for peak performance. In J. Williams (Ed.), *Applied Sport Psychology: Personal Growth to Peak Performance* (pp. 133-148). Palo Alto, CA: Mayfield.

- 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. (1984). Environmental stressors. In J.S. Warm (Ed.), *Sustained Attention in Human Performance* (pp. 103-142). New York: John Wiley & Sons.
- Hardy, C.J., Hall, E.G., & Prestholdt, P.H. (1986). The mediational role of social influence in the perception of exertion. *Journal of Sport Psychology*, **8**, 88-104.
- 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.
- 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**, 88-92.
- Hick, W.E. (1952). On the rate of gain of information. *The Quartely Journal of Experimental Psychology*, **4**, 11-26.
- Hochstetler, S.A., Rejeski, W.J., & Best, D. (1985). The influence of sex-role orientation on ratings of perceived exertion. *Sex-roles*, **12**, 825-835.
- Holt, K.G., Hamill, J. & Andres, R.O. (1990). Predicting the minimal energy cost of human walking. *Medecine and Science in Sports and Exercise*, **23**, 491-498.
- Houghten, F.C., & Yagloglou, C.P. (1923). Determining lines of equal comfort. *Transactions of the American Society of Heating and Ventilating Engineers*, **29**, 1239-1246.
- Humphreys, M.S., & Revelle, W. (1984). Personality, motivation, and performance: a theory of the relationship between individual differences and information processing. *Psychological Review*, **91**, 153-184.
- Hyman, R. (1953). Stimulus information as a determinant of reaction time. *Journal of Experimental Psychology*, **45**, 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.
- Jones, F.N. & Marcus, M. (1961). The subject effect in judgements of subjective magnitude. *Journal of Experimental Psychology*, **61**, 40-44.
- Jones, F.N. & Woskow, M.H. (1962). On the relationship between estimates of magnitude of loudness and pitch. *American Journal of Psychology*, **75**, 669-671.
- Jourden, F.J., Bandura, A. et Banfield, J.T. (1991). The impact of conception of ability on

self-regulatory factors and motor skill acquisition. *Journal of Sport and Exercise Psychology*, **8**, 213-226.

Kantowitz, B.H., & Knight, J.L. (1976). On experimenter-limited processes. *Psychological Review*, **83**, 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.

Kelso, J.A.S. & Schöner, G. (1988). Self-organization of coordinative movement patterns. *Human Movement Science*, **7**, 27-46.

Kernodle, M.W., & Carlton, L.G. (1992). Information feedback and the learning of multiple-degree-of-freedom activities. *Journal of Motor Behavior*, **24**, 187-196.

Kugler, P.N. & Turvey, M.T. (1987). *Information, natural law, and the self-assembly of rhythmic movement*. Hillsdale, NJ: Erlbaum.

Kukla, A. (1972). Foundations of an attributional theory of performance. *Psychological Review*, **79**, 454-470.

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.

Laplace, D., Audiffren, M. & Alain, C. (1994). *Effet de la compatibilité S-R et de la pression temporelle sur le temps de réaction de choix*. Communication présentée au Congrès International de la Société Française de Psychologie du Sport, Poitiers.

Latham, G.P. & Baldes, J.J. (1975). The practical significance of Locke's theory of goal setting. *Journal of Applied Psychology*, **60**, 122-124.

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.

Leplat, J. (1977). Les facteurs déterminant la charge de travail. *Le Travail Humain*, **40**, 195-202.

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.

Locke, E.A. (1991). Problems with goal-setting research in sport - And their solutions. *Journal of Sport & Exercise Psychology*, **13**, 168-171.

Locke, E.A., & Latham, G.P. (1985). The application of goal setting to sports. *Journal of Sport Psychology*, **7**, 205-222.

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.

Melo, F. & Laurent, M. (1994). Effet de l'état émotionnel sur le contrôle d'un geste de précision. In M. Audiffren & G. Minvielle (Eds.), *Psychologie des Pratiques Physiques et Sportives. Actes du Congrès International de la Société Française de Psychologie du Sport* (pp. 249-250). Poitiers: Presses de l'UFR APS de l'Université de Poitiers.

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

Morgan, D. & Martin, P. (1986). Effects of stride length alteration on racewalking economy. *Canadian Journal of Applied Sport Science*, **11**, 211-217.

Morgan, D., Martin, P., Craib, M., Caruso, C., Clifton, R. & Hopewell, R. (1994). Effect of step length optimization on the aerobic demand of running. *Journal of Applied Physiology*, **77**, 245-251.

Navon, D., & Gopher, D. (1979). On the economy of the human processing system. *Psychological Review*, **86**, 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.

Newell, K.M. & van Emmerik, R.E.A. (1990). Are Gesell's developmental principles general principles for the acquisition of coordination? In J.E. Clarkee & J.H. Humphrey (Eds.), *Advances in Motor Development* (vol 3.). AMS Press.

Newell, K.M. (1986). Constraints on the development of coordination. In M.G. Wade & H.T.A. Whiting (Eds.), *Motor Development in Children: Aspects of Coordination and Control* (pp. 341-360). Dordrecht: Nijhoff.

Newell, K.M. (1991). Motor Skill Acquisition. *Annual Review of Psychology*, **42**, 213-237.

Newell, K.M., Kugler, P.N., Van Emmerick, R.E.A. & McDonald, P.V. (1989). Search strategies and the acquisition of coordination. In S.A. Wallace (Ed.), *Perspectives on the Coordination of Movement* (pp. 85-122). Amsterdam: North Holland.

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.

Pennebaker, J.A., & Lightner, J.M. (1980). Competition of internal and external information in an exercise setting. *Journal of Personality and Social Psychology*, **39**, 165-174.

Priout, P., Temprado, J.J. & Laurent, M. (1994). *Interférence entre les mécanismes structuraux et énergétiques du traitement de l'information: étude préliminaire*. Communication présentée au Congrès International de la Société Française de Psychologie du Sport, Poitiers.

- 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. (1981). The perception of exertion: a social psychophysiological integration. *Journal of Sport Psychology*, **4**, 305-320.
- Rejeski, W.J. (1985). Perceived exertion: an active or passive process? *Journal of Sport Psychology*, **7**, 371-378.
- Rejeski, W.J., & Kenney, B. (1987). Distracting Attentional Focus From Fatigue: Does Task Complexity Make a Difference? *Journal of Sport Psychology*, **9**, 66-73.
- Rejeski, W.J., & Ribisl, P.M. (1980). Expected task duration and perceived exertion: an attributional analysis. *Journal of Sport Psychology*, **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**, 197-207.
- Rejeski, W.J., Best, D.L., Griffith, P., & Kenney, E. (1987). Sex-Role Orientation and the Response to Exercise Stress. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, **58**, 260-264.
- Salvendy, G. (1972). Physiological and psychological aspects of paced performance. *Acta Physiologica, Academia Scientiarum Hungaricae*, **42**, 267-275.
- Sanders, A.F. (1983). Towards a model of stress and human performance. *Acta Psychologica*, **53**, 64-97.
- Seip, R.L., Snaed, D., Pierce, E.F., Stein, P., & Weltman, A. (1991). Perceptual responses and blood lactate concentration: effect of training state. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, **23**, 80-87.
- Smith, M. & Lee, C. (1992). Goal setting and performance in a novel coordination task: mediating mechanisms. *Journal of Sport & Exercise Psychology*, **14**, 169-176.
- Sparrow, W.A. (1983). The Efficiency of Skilled Performance. *Journal of Motor Behavior*, **15**, 237-261.
- Spérandio, J.C. (1977). La régulation des modes opératoires en fonction de la charge de travail chez les contrôleurs de trafic aérien. *Le Travail Humain*, **40**, 249-256.
- Stevens, S.S. (1957). On the psychophysical law. *Psychological Review*, **64**, 153-181.
- Sylva, M., Byrd, R., & Mangun, M. (1990). Effects of social influence and sex on ratings of perceived exertion in exercising elite athletes. *Perceptual and Motor Skills*, **70**, 591-594.
- Teghtsoonian, R. (1971). On the exponents in Stevens' law and the constants in Ekman's law. *Psychological Review*, **78**, 71-80.
- Teghtsoonian, R., Teghtsoonian, M., & Karlsson, J.-G. (1981). The limits of perceived magnitude: comparison among individuals and among perceptual continua. *Acta Psychologica*, **49**, 83-94.

- Thurstone, L.L. (1927). A law of comparative judgement. *Psychological Review*, **34**, 273-286.
- Tiberghien, G. (1984). *Initiation à la psychophysique*. Paris: PUF.
- Vereijken, B. (1991) *The dynamics of skill acquisition*. Amsterdam: Free University Press.
- Vereijken, B. & Whiting, H.T.A. (1990). In defence of discovery learning. *Canadian Journal of Sport Psychology*, **15**, 99-106.
- 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.
- Weinberg, R. & Weigand, D. (1993). Goal setting in sport and exercise: a reaction to Locke. *Journal of Sport & Exercise Psychology*, **15**, 88-96.
- 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**, 283-304.
- Wilkinson, R.T. (1969). Some factors influencing the effect of environmental stressors upon performance. *Psychological Bulletin*, **72**, 260-272.
- Williams, J.M. (1978). Personality characteristics of the successful female athlete. In W.F. Straub (Ed.), *Sport psychology: an analysis of athlete behavior*. Ithaca, New-York: Movement Publishers.
- Winborn, M.D., Meyers, A.W., & Mulling, C. (1988). The Effects of Gender and Experience on Perceived Exertion. *Journal of Sport and Exercise Psychology*, **10**, 22-31.
- Wrisberg, C.A., & Pein, R.L. (1990). Past running experience as a mediator of the attentional focus of male and female recreational runners. *Perceptual and Motor Skills*, **70**, 427-432.
- Wrisberg, C.A., Franks, B.D., Birdwell, M.W., & High, D.M. (1988). Physiological and psychological responses to exercise with an induced attentional focus. *Perceptual and Motor Skills*, **66**, 603-616.
- Zarrugh, M.T., Todd, F.N., & Ralston, H.J. (1974). Optimization of energy expenditure during level walking. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, **33**, 293-306.