

Ce texte est une première version, plus développée, de l'article : Tricot, A., & Chanquoy, L. (1996). La charge mentale, " vertu dormitive " ou concept opérationnel ? Introduction. *Psychologie Française*, 41 (4), 313-318.

## **Introduction : la charge mentale, "vertu dormitive" ou concept opérationnel ?**

### **Introduction**

Depuis les débuts de la psychologie, le fait que notre mémoire immédiate ait une capacité limitée a été souligné (*e.g.* Baldwin, 1894 ; Jacobs, 1887 ; James, 1890). Depuis les débuts de l'ergonomie, l'évaluation de la charge de travail mental a été l'objet de nombreuses recherches (*e.g.* Broadbent, 1958 ; Brown, 1964 ou les numéros spéciaux de revues comme *Le Travail Humain* ou *Ergonomics* en 1977). Avec la naissance de la psychologie cognitive, on a pu quantifier la limite de la mémoire immédiate avec une unité (le *chunk*) inspirée de la théorie de l'information (Miller, 1956), théorie qui permettait aussi de mesurer la variance d'une source (*i.e.* le nombre de bits d'information contenus dans un stimulus). Si bien que l'on a cru, dans des domaines différents de la psychologie (mémoire, perception, apprentissage, résolution de problème, compréhension et production de texte), ou de l'ergonomie, que l'on pourrait quantifier la difficulté imposée par une tâche et, à partir de cette mesure, la difficulté rencontrée par le sujet qui exécute cette tâche. Selon cette perspective donc, la charge mentale mesurerait la capacité de mémoire immédiate mobilisée par un sujet lors de la réalisation d'une tâche.

Pourtant, dès que l'on s'intéresse de près à cette littérature, on constate que :

- des problèmes évidents de définition se posent, aussi bien du point de vue théorique que de son utilisation dans des expérimentations : peu de chercheurs définissent cette charge (1) ; certains essaient de l'évaluer, mais de façon relative : tout juste sont-ils capables de dire que telle tâche implique une charge plus lourde que telle autre tâche ;
- ceux qui essaient de l'évaluer identifient un nombre important de facteurs, très hétérogènes et parfois délicats à manipuler, ayant un effet sur elle (*e.g.* Sweller & Chandler, 1991 ; Welford, 1977;) ;
- pour certains chercheurs, la charge mentale ne sert qu'à expliquer *a posteriori* des variations de performances, ou à étayer un argument : par exemple, l'utilisation d'un schéma narratif ferait baisser la charge mentale lors de la production d'un texte écrit (Chanquoy & Ribaute,

1995) ; on peut même noter, parfois, une utilisation "instrumentale" de cette notion : tel outil abaisse la charge mentale dans telle situation, puisqu'il aide à la réalisation de la tâche.

Au bout du compte, il n'est pas une discussion sur la mémoire de travail ou sur le rôle de contraintes dans les activités cognitives qui ne déplore l'absence de définition, le flou de cette notion (Fayol, 1995), et même son caractère inopératoire. Fondamentalement, on reproche à l'emploi de cette notion de charge de ne pas définir ce qui est mesuré et d'être fondé sur une relation beaucoup trop simple entre les connaissances du sujet et les informations traitées dans la situation : étant donnée une quantité d'information à traiter dans une situation, la charge serait inversement proportionnelle à la connaissance préalable que le sujet a de la situation. Une telle conception fait bien vite oublier la prétention d'une quelconque mesure absolue, et donc d'une véritable mesure.

Mais, le flou qui entoure cette notion de charge qui ne mesure pas grand chose n'empêche pas que la limite de la capacité de traitement caractérise la plupart des modèles symboliques en psychologie et que la charge mentale est un concept omniprésent dans notre discipline (2) : cette notion y jouerait-elle un rôle comparable à celui des "vertus dormitives" chez Molière ? Il reste à se demander si ce flou est inhérent au flou des fondements des sciences cognitives dans leur ensemble (Qu'est-ce qu'une information ? Qu'est-ce qu'une signification ? Qu'est-ce qu'une représentation ? Qu'est-ce qui différencie ces notions ?), donc irréductible pour l'instant, ou si un examen attentif des recherches actuelles et un effort raisonnable de clarification suffiraient à faire de la charge mentale un concept opérationnel (Mendelsohn, 1995). C'est ce second pari que nous tentons dans ce numéro, où sont rapportées 9 recherches récentes sur la charge mentale. Nous proposons, dans cette introduction, de reprendre terme à terme la définition proposée plus haut : "la charge mentale mesurerait la capacité de mémoire immédiate mobilisée par un sujet lors de la réalisation d'une tâche". Dans une première partie, nous examinerons ce que désigne "la réalisation d'une tâche" et dans une seconde partie "la mesure de la capacité de la mémoire immédiate".

### **La réalisation d'une tâche**

Classiquement dans les sciences cognitives comme en ergonomie (Léontiev, 1972 ; Leplat, 1990 ; Simon, 1991), une tâche est définie comme un but à atteindre dans un environnement donné au moyen d'actions ou d'opérations.

Le but est défini comme un état, différent de l'état initial. Un but est atteint par une séquence, prédéterminée ou non, de sous-buts. L'ensemble [état initial -> séquence de sous-buts -> but final], ainsi que la forme de la séquence de sous-buts constituent la structure de but. Il convient, notamment en ergonomie, de distinguer le but de son exploitation : par exemple, le but peut être de trouver une référence ou de calculer une fonction ; son exploitation est l'action ou l'opération effectuée par le sujet avec cette référence ou ce résultat. L'exploitation peut ne pas être effectuée sur le système en question mais influencer la planification ou l'exécution de la tâche. Nous proposons d'écrire que l'exploitation du but définit le contexte de l'activité du sujet.

L'environnement de la tâche est défini comme l'ensemble des paramètres pouvant influencer ou être manipulés lors de la planification ou de l'exécution de l'activité, ou comme l'ensemble des caractéristiques "relativement pertinentes" de la situation dans laquelle est effectuée la tâche.

Les actions et les opérations permettent de passer d'un sous-but  $n$  à un sous-but  $n+1$ . Les actions concernent les aspects physiques de l'activité du sujet tandis que les opérations concernent les aspects mentaux.

La réalisation d'une tâche inclut donc la perception et l'interprétation de la situation (élaboration d'une représentation de la tâche), la planification de l'activité, son exécution, et le contrôle-régulation de l'activité en fonction de l'écart au but, ou, plus précisément, à la représentation de la tâche, qui, en retour, peut évoluer au cours de l'exécution (Fig. 1). Les travaux sur la charge mentale ont pour présupposé que l'on peut mesurer une quantité d'"unités de traitement" impliquée par la réalisation d'une tâche ; cette quantité dépend des connaissances antérieures du sujet mobilisée à chaque "étape" : perception-interprétation, planification, exécution, et contrôle-régulation. La charge mentale mobilisée par un sujet lors de la réalisation d'une tâche dépend donc à la fois de caractéristiques de l'environnement, du but et des moyens nécessaires à l'atteinte de ce but d'une part, et des connaissances du sujet relatives à ces trois niveaux d'autre part. Un des exemples les plus connus concerne l'exécution de la tâche : quand cette exécution est automatique, la charge est quasiment nulle ; quand cette exécution n'est pas automatique (processus contrôlé), la charge n'est pas nulle et augmente quasiment proportionnellement au degré de contrôle.

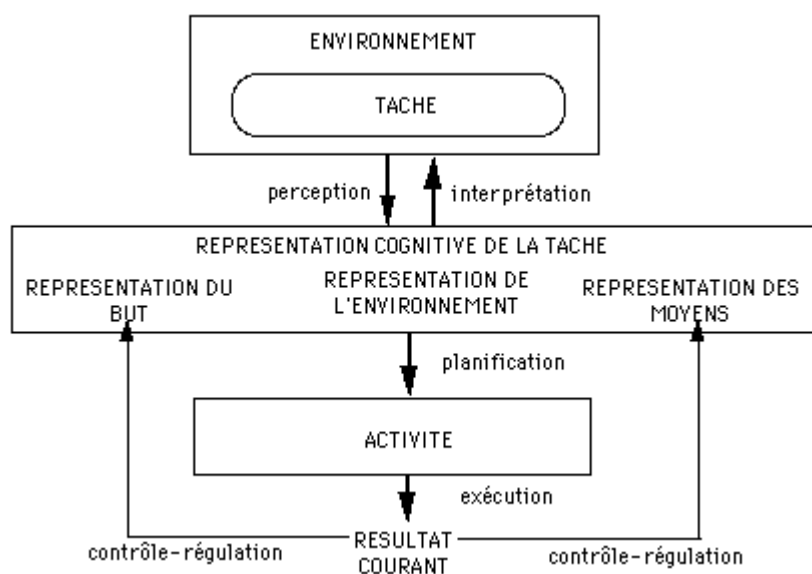


Figure 1. Principe général des relations entre tâche, représentation de la tâche et activité du sujet

Conclusion provisoire (a) : La mesure de la charge mentale impliquée par la réalisation d'une tâche ne peut être que relative à l'interaction cognitive et dynamique entre le sujet et la tâche. Par interaction **cognitive** nous soulignons le fait que lors de la perception et de l'interprétation de la tâche, et lors de la planification et de l'exécution de l'activité, les connaissances préalables du sujet ont un effet sur la charge mentale. Par interaction **dynamique** nous soulignons que cette interaction cognitive évolue, à chaque niveau, au cours de l'activité.

### La mesure de la capacité de la mémoire immédiate

#### Dans les modèles de mémoire

La limitation de la capacité de traitement est le thème de l'article le plus cité en psychologie : le fameux "nombre magique 7 plus ou moins 2" de Miller (1956). Dans cet article, que l'on peut considérer comme un acte de naissance de la psychologie cognitive, Miller examine la possibilité d'étudier certains aspects de l'activité mentale comme si cette activité consistait à traiter de l'information ou des chunks. L'argument principal de Miller est que de nombreux résultats

antérieurs de la psychologie (particulièrement sur l'estimation absolue et sur la capacité de la mémoire immédiate) peuvent s'interpréter comme étant dus à une limitation de notre capacité à traiter des stimuli, la limite étant de 2 à 3 bits (3), soit  $7 \pm 2$  unités (signaux ?) traitées pour les expériences sur l'estimation absolue et de  $7 \pm 2$  items pour la capacité de la mémoire immédiate. Or, note Miller, "la capacité de la mémoire immédiate semble être quasi indépendante du nombre de bit par chunk (...) le contraste entre les termes bit et chunk permet également de souligner le fait que nous ne saurions dire très précisément en quoi consiste un chunk" (p. 351). Le chunk est un bloc d'information intégré, relativement indépendant du nombre de bits contenus car le chunk dépend du recodage de l'information par le sujet, donc, de sa façon à lui d'organiser la variance de la source.

Ainsi, dès l'article princeps de Miller, les données du problème sont claires :

- on sait mesurer une quantité (d'information) qui se trouve dans le stimulus (le stimulus est une source dont on sait mesurer la variance) ;
- on sait que le système de traitement humain est quantitativement limité ( $7 \pm 2$  unités), sans savoir ce que sont ces unités : on dira plus tard, de façon bien pratique, "unités de traitement" ou "*cognitive units*" (e.g. Anderson, 1983) ;
- il se trouve que dans certains cas (expériences sur les seuils notamment) on peut inférer le nombre d'unités que traite le sujet à partir de la mesure des unités contenues dans le stimulus ;
- dans d'autres cas, ces deux mesures ne correspondent pas, mais, en changeant d'unité, on retrouve la même limitation de la capacité ; le changement d'unité dépend de la signification que le sujet attribue au matériel traité ;
- on admet donc, qu'à de rares exceptions près (matériel sans signification), il n'est pas possible d'inférer le nombre de chunks que va traiter le sujet de la mesure du nombre de bit d'informations contenus dans le stimulus.

Pourtant Miller conclut son article en écrivant "qu'il y a là quelque chose qui nous provoque afin que nous le découvriions" (p. 363). Or "nous" n'avons pas découvert "quelque chose". "Nous" avons mis en place le paradigme cognitiviste (4). A l'intérieur de ce paradigme parlons-nous d'une seule chose (information = unité de traitement) ou de deux choses différentes (information \_ unité de traitement) ? L'information et les unités de traitement ont-elles des relations ? Les seules expériences sur la redondance (Chandler & Sweller, 1991 ; Reder & Anderson, 1982) tendraient à prouver que non : la redondance, qui est une absence d'information, augmente la difficulté de traitement, donc, pense-t-on, le nombre d'unités traitées.

Cet article de Miller n'est, bien entendu, pas le premier à évoquer la capacité limitée de la mémoire immédiate. On sait que Jacobs (1887), par exemple, utilisait des protocoles de rappel de listes dans l'ordre pour mesurer l'"empan" de ses élèves. Tout au long du XXème siècle, ces études se poursuivront, pour devenir partie intégrante de l'élaboration des modèles généraux de mémoire. Par exemple, dans célèbre article de Collins & Quillian (1969) sur la mémoire sémantique, le principe d'économie cognitive (la capacité de la mémoire immédiate serait tellement limitée qu'elle fonctionnerait systématiquement à l'économie) est explicite : il serait plus coûteux de récupérer une propriété générale qu'une propriété particulière d'un concept donné. Peut-on croire Abdi (1986) quand il fait remarquer que ce trait de la théorie ne tient probablement qu'à la faible puissance des ordinateurs de la fin des années 60 sur lesquels les auteurs pouvaient implémenter leurs modèles ?

Le modèle de Baddeley de la MDT est, lui aussi, fondé sur le concept de capacité limitée (Baddeley, 1986). La MDT serait équipée d'un administrateur central, soit un système attentionnel à capacité limitée. Cet administrateur central qui serait en mesure de soulager les systèmes esclaves (*i.e.* le calepin visuo-spatial et la boucle phonologique) d'une part de leur charge mnésique en cas de débordement de ces derniers, ceci au détriment d'une partie des ressources originellement allouées au traitement de l'information. Gathercole et Baddeley (1993) ont publié une synthèse sur la mémoire de travail et le langage, à laquelle nous renvoyons le lecteur pour une approche complète du problème de l'implication de la charge mentale dans la compréhension du langage. Pourtant, aujourd'hui, ces conceptions sont nuancées, voire critiquées. D'une part, on reproche à Baddeley d'avoir fait un modèle du maintien temporaire des informations (MCT) et non du fonctionnement de ce module (MDT), notamment dans le cadre des activités complexes comme la résolution de problème (Roulin & Monnier, *in press*). On regrette aussi la focalisation des travaux sur la boucle phonologique et la négligence pour le calepin visuo-spatial (Monnier & Roulin, 1994). D'autre part, Conway et Engle (1994), après Daneman et Carpenter (1980), ont mis en évidence des différences interindividuelles importantes quand à la taille de la MDT et à son fonctionnement (les différences interindividuelles se manifesteraient notamment dans la capacité à inhiber ou à supprimer des informations non-pertinentes en MDT), différences qui empêcheraient toute possibilité de mesure de la charge mentale à partir de caractéristiques de la tâche. Ehrlich et Delafoy (1990) remarquent que, peu à peu, on identifie un nombre important de sous-fonctionnalités, qui vont même être prises en compte par Baddeley (1993). "On voit donc imploser la structure tripartite initiale en un ensemble de composants fonctionnels ou structuraux qui pourraient rendre invalide ou infalsifiable la structure d'ensemble que l'on cherche à préserver" (Roulin, 1995). Cet auteur propose d'envisager que "la MDT ne serait plus un des systèmes explicatifs contraignant les activités intellectuelles, mais serait à l'inverse la conséquence du fonctionnement cognitif : on ne maintient plus pour traiter, mais le maintien résulte du traitement (ou du fonctionnement) et de ce fait, la capacité de MDT devient spécifique à des groupes d'activités intellectuelles".

Les modèles de mémoire obéissent donc à un principe largement étayé empiriquement : la mémoire immédiate a une capacité limitée. Mais ces modèles ne fournissent pas d'instruments précis de mesure de cette capacité. L'unité de mesure semble être le chunk, bloc d'information intégré, dépendant de la relation de connaissance entre le sujet et la situation traitée.

*Conclusions provisoires (b) et (c) :* (b) L'unité de mesure elle-même est relative à l'interaction sujet - tâche. (c) La taille de la MDT est différente selon les sujets.

### **Dans les modèles "classiques" du fonctionnement cognitif**

Les modèles de mémoire élaborés depuis quelques dizaines d'années vont, malgré les réserves formulées ci-dessus, apporter une meilleure connaissance des contraintes de la MDT sur le fonctionnement cognitif, ou, tout du moins, un principe (l'existence d'une module de traitement à capacité limitée) qui va être intégré dans les modèles généraux de l'activité cognitive.

Par exemple, dans le modèle de la compréhension de texte de Kintsch et van Dijk (1978), un texte est traité selon une suite de cycles, chaque cycle traitant un groupe limité de propositions. Ces propositions sont retenues dans une "mémoire tampon" (*buffer*) de la MDT ; le nombre de propositions est limité par la capacité de cette mémoire tampon (3 ou 4 propositions sont traitées par cycle). Le groupe de propositions va être traité de façon à en construire une représentation cohérente. S'il y a un recouvrement entre cette représentation et les représentations précédemment élaborées lors des précédents cycles de traitement, alors le texte est accepté comme cohérent. Si cet

appariement n'est pas possible, un traitement inférentiel mobilisant des connaissances en mémoire à long terme est nécessaire, ce qui entraîne une augmentation de la charge mentale. Selon ce modèle à capacité de MDT constante et limitée, plus le traitement est difficile, plus le nombre de propositions maintenues en MDT sera petit. Cette difficulté de traitement peut relever aussi bien d'aspects syntaxiques que sémantiques du texte. Dans un autre article (Miller & Kintsch, 1980), la limite de la capacité de la MDT dans le fonctionnement du modèle sera légèrement "assouplie" en fonction de la structure des propositions (une relation d'emboîtement pourra être retenue "en plus") et de leur position dans le texte (au début de la lecture il y a plus de place dans le MDT). En revanche, dans le modèle "construction-intégration" (Kintsch, 1988), utilisant un formalisme connexionniste, la limitation de la capacité de traitement disparaît, même si une "quantité d'activation" est toujours présente. Dans ce modèle, la MDT passe elle-même au second plan... pour réapparaître au premier plan chez Ericsson et Kintsch (1995) : les sujets pourraient acquérir, dans certains domaines spécifiques, des habiletés mémorielles constituant une "MDT à long terme"(MDT-LT). Dans ce dernier modèle, les auteurs prennent en compte deux catégories de résultats contradictoires avec la conception classique de la MDT : les sujets experts en situation de travail manifestent des capacités de MDT très différentes des sujets en laboratoire (voir plus bas le paragraphe sur l'ergonomie) ; une activité peut être interrompue et reprise sans effet majeur sur les performances. Pour Ericsson et Kintsch, des indices de récupération seraient maintenus en MCT lors de l'activité. Un certain nombre d'informations utiles dans la conduite de l'activité seraient accessibles en MLT. Cette part accessible constituerait la MDT-LT. La taille, la structure et le contenu de cette MDT-LT lors d'une activité dépendrait directement de l'expertise du sujet pour cette activité.

La théorie des modèles mentaux (Johnson-Laird, 1983) intègre également une capacité de MDT limitée. Un point important de cette théorie est que, pour un sujet humain, une inférence est satisfaisante "si et seulement si il n'y a pas d'interprétation des prémisses qui viennent falsifier la conclusion". Et la recherche d'éléments venant éventuellement falsifier la conclusion ne se fait pas systématiquement ou rationnellement mais "un peu au hasard"... en fonction des ressources que le sujet peut allouer à cette recherche. Sur certains aspects de sa théorie de la production d'inférences, la limite de la capacité de la MDT a une valeur d'"à-point". Par exemple, à propos des enfants, Johnson-Laird note qu'ils apprennent en premier "la contribution des connecteurs, des quantificateurs, et d'autres comme des termes de ces conditions de vérité. Et, jusqu'à ce qu'ils aient acquis ces connaissances à propos de leur langue, ils ne sont pas en position de faire des inférences verbales. Une fois qu'ils ont appris des conditions de vérités, il peut y avoir des obstacles qui gênent leur compétence à faire des inférences. La raison pour laquelle les enfants de 12 ans sont incapables de se confronter à des syllogismes complexes pourrait dépendre, par exemple, d'une capacité de traitement limitée de leur mémoire de travail." (Johnson-Laird, 1983, p.144, notre traduction).

Dans ses ouvrages classiques, Anderson (1980, 1983, 1990, 1993) consacre toujours un passage à la MDT. Il insiste fortement sur l'intérêt et sur les limites de la notion de chunk, et en propose chaque fois une définition en termes de taille, de structure interne et d'organisation. Le plus intéressant est probablement que le changement d'orientation d'Anderson à la fin des années 80, ne l'a pas fait évoluer sur un point au moins : un des fondements de tout modèle de l'activité cognitive est que la capacité de la MDT est limitée (Anderson, 1990, p. 29). Cette version extrême de l'approche externaliste évacue les représentations cognitives du sujet... mais la limite de la capacité de traitement demeure.

*Conclusions provisoires (c) et (d) :* Dans les activités mentales en général : (c) la capacité de la MDT varie selon les sujets et selon l'unité choisie (entre 3 et 9) ; (d) le choix de l'unité dépend de l'expérimentateur et/ou du niveau de traitement.

## La charge cognitive chez Sweller

Sweller s'intéresse depuis des années à la charge cognitive dans la résolution de problèmes et à ses effets sur l'apprentissage (voir en particulier Sweller 1983, 1988 et Chandler & Sweller 1991, 1994). Il pose le problème ainsi : ce qui différencie les novices des experts, ce sont les schémas. Or, la résolution d'un problème entraîne une charge cognitive trop lourde, qui gêne l'acquisition de schémas. Un schéma permet, dans la résolution d'un problème, de reconnaître le problème, d'identifier le but à atteindre et les états du problème, de choisir les procédures appropriées. Un novice ne se sert pas du bon schéma, ne reconnaît ni le problème, ni les états du problème. Par exemple, des physiciens experts classent un ensemble de problèmes physiques par le mode de résolution de ces problèmes, tandis que des novices les classent par des indices de surfaces. Dans la résolution d'un problème pour lequel le sujet ne dispose d'aucun schéma, la stratégie se réduit à un certain nombre de tentatives qui aboutissent le plus souvent à des impasses. Peu à peu, le sujet établit des relations entre tel et tel état du problème, tel sous-but atteint, identifie le but à atteindre, si bien que la charge est trop lourde pour acquérir un schéma de résolution. Mais cela n'explique pas précisément pourquoi et comment cette charge est trop lourde. Les propositions de Sweller sont les suivantes : la charge cognitive est corrélée avec le nombre de propositions en mémoire de travail, le nombre de productions (application de règles) requises pour apparier les propositions en MDT, le nombre de pas pour atteindre la solution et le nombre de conditions apparées.

Sweller et Chandler ont aussi identifié quatre effets principaux sur la charge cognitive :

- l'analyse moyens-fins impose une charge cognitive plus lourde qu'une procédure sans but spécifique ;
- l'étude d'exemples appliqués abaisse la charge ;
- la disparité des sources d'information traitées (présentation du problème) augmente la charge ;
- l'intégration de sources d'information redondantes augmente la charge.

Après avoir conduit un certain nombre d'expériences et implémenté un modèle, l'auteur conclut que les stratégies moyens-fins sont faites pour résoudre des problèmes, pas pour apprendre à les résoudre. Sweller et Levine (1982) ont même montré que, plus les apprenants avaient de connaissances sur l'état but, moins ils apprenaient sur la structure du problème. Quand on veut apprendre la résolution de problème, les problèmes sans but spécifique ou les exemples appliqués sont sûrement plus efficaces. Des travaux ultérieurs modéreront la conclusion sur les exemples appliqués : ils sont efficaces si les sources d'information sont peu nombreuses. Dans une publication plus récente (Sweller, Chandler, Tierney & Cooper, 1990), l'argumentation est plus précise : il est important dans l'acquisition de schémas de résolution de ne pas dévier l'attention de cette acquisition et de ne pas imposer une charge cognitive trop lourde. Les auteurs proposent d'étudier le rôle de la présentation matérielle d'un support destiné à l'apprentissage de schémas de résolution. Selon eux, il ne faut pas que ce support intègre des sources disparates d'informations mutuellement référées. Les auteurs présentent six expérimentations sur le rôle de la présentation. Ils concluent sur l'efficacité des "présentations intégrées" : par exemple, pour une équation, l'écriture de l'équation, la courbe et les commentaires sur les points importants sont sur le même graphique. Ces résultats seront reproduits par Bétrancourt (1992), qui montre que les *pop up windows* dans la présentation intégrée ont un effet encore plus positif sur le temps d'apprentissage et les performances. Ces derniers résultats sont contradictoires avec ceux de Wright (1991), mais dans le premier cas il s'agit de *pop up windows* texte dans un document image tandis que dans le cas de

Wright, il s'agit de *pop up windows* texte sur du texte. Enfin, Pierce, Duncan, Gholsn, Ray & Kambi (1993) confirment la théorie de Sweller : "deux déterminants importants d'un transfert analogique sont la somme de mise en relief du cheminement vers le but et la somme d'exploration de l'espace problème. Sweller affirme qu'il y a une relation inverse entre l'étendue du cheminement vers le but qui est mis en relief et la qualité du schéma acquis pendant la résolution du problème. La théorie dit aussi qu'il y a une relation directe entre les transferts réussis et la familiarité avec les états du problème et les opérateurs de déplacement qui résultent de l'exploration de l'espace problème. Ainsi, la théorie de la charge mentale prédit qu'une exploration relativement libre de l'espace problème, sans contrainte de cheminement vers le but, pourrait produire un schéma de base de meilleure qualité qu'une exploration contrainte (cheminement dirigé vers le but). Cette prédiction est confirmée par la présente étude. De plus, parce que la théorie dit que le transfert est accru par la familiarité avec les états du problème et les opérateurs de déplacement, elle prédit que quand le cheminement vers le but est mis en relief, l'exploration complète de l'espace problème sur des essais pré-critères pourraient produire un meilleur transfert qu'une exploration minimale. Cette prédiction a aussi été vérifiée" (Pierce & al., 1993, p.73, notre traduction).

*Conclusion provisoire* : Ou bien on accepte les points de conclusion a, b, c et d. Ou bien le terme d'unité de mesure est inadéquat ici ; il s'agit d'évaluer la difficulté relative rencontrée par un sujet, difficulté qui dépend : e) de la capacité du sujet à identifier / reconnaître la situation, planifier une stratégie économique, mobiliser les habiletés adéquates à l'exécution, contrôler cette exécution ; f) du nombre de propositions à maintenir MDT, du nombre de règles à appliquer pour apparier ces propositions en MDT, du nombre de pas pour atteindre la solution, et du nombre de conditions appariées.

### **La charge de travail mental en ergonomie**

L'ergonomie est la discipline appliquée qui a le plus utilisé la notion de charge mentale, ou de "charge de travail mental" (voir Morray, 1976;). L'évaluation de cette charge est plus ou moins prise en compte dans certaines grilles d'analyse des conditions de travail (RNUR, LEST, ANACT) et dans certains modèles de tâches (ALG). Sperandio (1980; p. 15) définit la charge de travail mental ainsi : "il s'agit de la définition des seuils dans le niveau de contrainte de tâches particulières, au delà desquels l'astreinte qui en résulte pour les opérateurs lors de l'exécution de ces tâches est excessive et se traduit par une baisse de la performance (principalement du point de vue de la qualité), une apparition de symptômes de fatigue, une augmentation des risques d'incidents ou d'accidents, une insatisfaction accrue pour les opérateurs...". Un fait remarquable est constant dans les études sur charge de travail mental : il est difficile, voire impossible, de reproduire une quantification voisine de  $7 \pm 2$ . Il est surtout non pertinent de le faire : il est plus pertinent d'étudier **quelles** informations sont utilisées dans la conduite d'une activité que **combien** sont maintenues en MDT. En effet, les travaux sur la charge de travail mental ont conduit les ergonomes a, par exemple, aborder la différence qualitative entre l'information traitée par l'expert et celle traitée par le novice (Bisseret, 1970) plutôt que la quantification de ces informations. On a pu étudier des aspects plus fonctionnels de la mémoire à court terme (Sperandio, 1972). On a pu lister les différents facteurs affectant la charge de travail mental, à des niveaux qui dépassent largement le cognitif (Leplat, 1977); : facteurs liés aux exigences de la tâche (exigences temporelles, structure de la séquence d'opération, pauvreté du contenu du travail), anatomo-physiologiques (biométriques, biomécaniques, fatigue, âge, etc.), d'ambiance physique (bruit, éclairage, vibrations, etc.), psychologiques (compétence, traits de personnalité, motivations, etc.), sociaux (organisation et conditions de travail), et autres (durée et qualité du sommeil pour les postés par exemple).

*Conclusion provisoire* : La quantification en termes d'unités de traitement de la charge mentale ne peut recouvrir qu'un aspect limité de l'évaluation de cette charge.

### **Conclusion : un concept est-il destiné à être utilisé ou à être défini ?**

Dans cet introduction nous avons fait le pari qu'un "examen attentif des recherches actuelles et un effort raisonnable de clarification suffisent à faire de la charge mentale un concept opérationnel".

Nous venons d'examiner la définition proposée : "la charge mentale mesurerait la capacité de mémoire immédiate mobilisée par un sujet lors de la réalisation d'une tâche", à travers une revue des quelques modèles les plus célèbres de la psychologie cognitive. D'autres auteurs auraient pu être évoqués, même parmi les "non-classiques", comme Sperber et Wilson (1986), sans que cela ne change la place prépondérante et floue de la notion de charge mentale au sein de notre discipline.

Selon nous, la **mesure** de la charge mentale en termes absolus pose trop de problèmes pour être envisagée sérieusement. Certaines situations peuvent, dans certaines conditions et selon un point de vue clairement défini, être décrites comme "contenant certaines informations" voire un "certain nombre d'informations". Un sujet peut être décrit comme possédant certaines connaissances. La charge mentale dépend de ces deux paramètres quand ce sujet rencontre cette situation. Or, le sujet attribuera à la situation un certain nombre de significations : ce phénomène est trop "sujet dépendant" et le terme de signification trop peu défini pour que l'on puisse mesurer une quantité associée à la réalisation de la tâche. Autrement dit, les problèmes posés par la mesure de la charge mentale la dépassent largement. Ces problèmes sont inhérent au cognitivisme en général en ce sens qu'ils sont dus à une confusion (ou au moins à un certain flou notionnel) entre information, signification et représentation. Bruner, qui a fondé en 1960 le premier laboratoire de psychologie cognitive avec Miller, prétendait même 30 ans plus tard que cette confusion avait "embarqué" la recherche en psychologie cognitive sur une fausse route. Selon lui, Miller aurait découvert / formalisé une limite biologique de la mémoire immédiate (limite qui se manifeste dans les expériences sur la perception de matériel sans signification)... "mais nous avons construit des outils symboliques pour dépasser ces limites : ce sont les systèmes codés, les moyens mnémotechniques ou les jeux de langues" (Bruner, 1990, p. 36). On peut penser, à l'inverse, que cette limite n'est qu'une construction expérimentale, l'activité mentale n'étant pas confrontée (sauf dans certaines expériences de laboratoire) au maintien en parallèle de nombreuses informations : selon le renversement de perspective proposé par Roulin et Monnier (in press) le maintien d'informations en MDT n'est que le résultat du traitement et non un *buffer* qui vient contraindre le traitement. Ces problèmes sont également inhérents à la mesure en psychologie. Lors de la préparation de l'atelier SFP consacré à la charge mentale, Jean-François Richard nous faisait remarquer que cette mesure lui rappelait la mesure de l'intelligence par le test de QI : là aussi, la mesure ne masque-t-elle pas des choses beaucoup plus importantes, que l'on ne sait voir ?

En revanche, le concept de charge mentale est tout à fait opérationnel dans la perspective de Sweller, c'est-à-dire une visée comparatiste-évaluative. La charge mentale mobilisée par un sujet lors de la réalisation d'une tâche dépend de la perception-interprétation de la situation, de la planification, de l'exécution et de la régulation de l'activité par le sujet, soit de caractéristiques des connaissances du sujet et de la tâche à réaliser. Un essai de synthèse est présenté dans la figure 2.

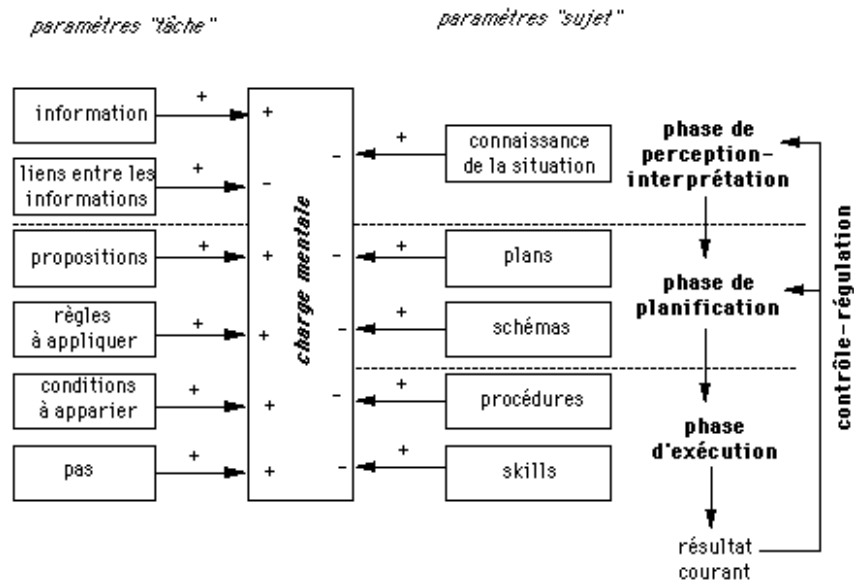


Figure 2. Effet des paramètres "tâche dépendants" et des paramètres "sujet dépendants" sur la charge mentale

Chaque module ("information", "connaissance de la situation", etc.) est représenté comme ayant un effet sur la charge mentale. Par exemple, à propos du module "connaissance de la situation" il faut lire : "plus la connaissance de la situation par le sujet est importante plus la charge mentale est faible".

Selon nous, il est aussi important de ne pas confondre la tâche avec le contexte de l'activité car une baisse de la charge mentale dans la réalisation de la tâche (e.g. résolution de problème) peut avoir un effet négatif dans le contexte de l'activité (e.g. apprentissage). Valot et Amalberti (1989) rapportent des résultats sur la redondance beaucoup plus fins que ceux de cités plus haut : la redondance, si elle peut "alourdir" une tâche dans l'absolu, peut avoir un rôle tout à fait favorable dans le contexte de l'activité de pilotage d'avion. Dans ce contexte, la redondance représente des sources multiples utilisées pour des fonctionnalités différentes. Ainsi, la notion de quantité (d'information, d'unités de traitement) ne constitue-t-elle pas qu'une "première approche" dans l'étude de certaines activités cognitives, le but final étant la description fonctionnelle du traitement ? La théorie de la charge cognitive est clairement présentée par Sweller et Chandler (1991) comme un outil ayant permis de générer des expériences qui ont mis en évidence des effets sur l'apprentissage lors d'une résolution de problème.

Enfin, il faut noter que les modèles utilisant un formalisme connexionniste semblent renouveler considérablement notre appréhension de la MDT et négliger le problème de la charge mentale. S'agit-il d'une nouvelle perspective qui s'ouvre ou d'une négligence momentanée ?

### Références bibliographiques

Abdi, H. (1986). La mémoire sémantique. In C. Bonnet, J.-M. Hoc & G. Tiberghien (Eds.), *Psychologie, Intelligence Artificielle et Automatique*. Bruxelles : Mardaga (pp. 139-151).

Anderson, J.R. (1980). *Cognitive psychology and its implications*. San Francisco, CA: Morgan Freeman.

- Anderson, J.R. (1983). *The architecture of cognition*. Cambridge, MA: HUP.
- Anderson, J.R. (1990). *The adaptative character of thought*. Hillsdale, NJ: LEA.
- Anderson, J.R. (1993). *Rules of the mind*. Hillsdale, NJ: LEA.
- Baddeley, A. (1992). *La mémoire humaine. Théorie et pratique*. Grenoble: PUG.
- Baddeley, A. (1993). Short-term phonological memory and long term learning: a single case study. *European Journal of Cognitive Psychology*, 5, 129-148
- Bétrancourt, M. (1992). Interaction texte / figure : effet de leur disposition spatiale relative sur l'apprentissage. *Rapport de Recherche INRIA n°1781*, Grenoble.
- Bisseret, A. (1970). Mémoire opérationnelle et structure de travail. *Bulletin de Psychologie*, XXIV (5/6), 280-294.
- Bruner, J. (1990). *Acts of meaning*. (trad. fr. "...car la culture donne forme à l'esprit". Paris, ESHEL, 1991).
- Case, R. (1985). *Intellectual development: birth to adulthood*. New York: Academic Press.
- Chandler, P., & Sweller, J. (1991). Cognitive load theory and the format of instruction. *Cognition and Instruction*, 8, 293-332.
- Chandler, P., & Sweller, J. (1994). Why some material is difficult to learn. *Cognition and Instruction*, 12 (3), 185-233.
- Collins, A.M., & Quillian, M.R. (1969). Retrieval time for semantic memory. *Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior*, 8, 240-247.
- Conway, A.R.A., & Engle, R.W. (1994). Working memory and retrieval: a resource dependent inhibition model. *Journal of Experimental Psychology: General*, 123 (4), 354-373.
- Daneman, M., & Carpenter, P.A. (1980). Individual differences in working memory and reading. *Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior*, 19, 450-466.
- Ehrlich, M.-F., & Delafoy, M. (1990). La mémoire de travail : structure, fonctionnement, capacité. *L'Année Psychologie*, 90 (3), 403-427.
- Fayol, M. (1995). Conclusion of the "Working memory and writing symposium". *EARLI'95 Conference*, Nijmegen, August 26-31.
- Gathercole, S.E., & Baddeley, A.D. (1993). *Working memory and language*. Hillsdale, NJ: LEA.
- Jacobs, J. (1887). Experiments on prehension. *Mind*, 12, 75-79.
- James, W. (1890). *Principles of psychology, Vol. I*. New-York: Holt.
- Johnson-Laird, P.N. (1983). *Mental models*. Cambridge: CUP.

- Kintsch, W., & van Dijk, T.A. (1978). Toward a model of text comprehension and production. *Psychological Review*, 85 (5), 363-394.
- Kintsch, W. (1988). The role of knowledge in discourse comprehension: a Construction-Integration model. *Psychological Review*, 95 (2), 163-182.
- Léontiev, A. (1972). *Le développement du psychisme*. Paris: Editions Sociales.
- Leplat, J. (1977). Les facteurs déterminants de la charge de travail. *Le Travail Humain*, 40 (2), 195-202.
- Leplat, J. (1990). Task, activity, and error analysis. *Ergonomics*, 33 (10/11), 1389-1402.
- Miller, G.A. (1956). The magical number seven plus or minus two: Some limits on our capacity for processing information. *Psychological Review*, 63, 81-97. (les numéros de pages sont ceux de la trad. fr. in J. Mehler & G. Noizet (Eds.), (1974). Textes pour une psycholinguistique (pp. 337-364). Paris : Mouton).
- Miller, J.R., & Kintsch, W. (1980). Readability and recall of short prose passages: a theoretical analysis. *Journal of Experimental Psychology: Human Learning and Memory*, 6 (4), 335-354.
- Monnier, C. & Roulin, J.-L. (1994). A la recherche du calepin visuo-spacial en mémoire de travail. *L'Année Psychologique*, 94 (3), 425-460.
- Murray, N. (Ed.), (1976). *Mental workload*. New York: Plenum Press.
- Paas, F. (1992). Training strategies for attaining transfer of problem-solving skill in statistics : a cognitive-load approach. *Journal of Educational Psychology*, 84 (4), 429-434.
- Pierce, K.A., Duncan, M.K., Gholsn, B., Ray, G.E., & Kambi, A.G. (1993). Cognitive load, schema acquisition, and procedural adaptation in nonisomorphic analogical transfer. *Journal of Educational Psychology*, 85 (1), 66-74.
- Reder, L., & Anderson, J. (1982). Effects of spacing and embellishment on memory for main points of a text. *Memory and Cognition*, 10, 97-102.
- Roulin, J.-L., & Monnier, C. (in press). La mémoire de travail. In F. Eustache & B. Lechevalier (Eds.), *Mémoire et amnésies*. Bruxelles : De Boeck.
- Simon, H.A. (1991). Cognitive architectures and rational analysis : comment. In K. van Lehn (Ed.), *Architectures for intelligence*. Hillsdale, NJ: LEA.
- Sperandio, J.-C. (1972). Charge de travail et régulation des processus opératoires. *Le Travail Humain*, 35 (1), 85-93.
- Sperandio, J.-C. (1980). *La psychologie en ergonomie*. Paris : PUF.
- Sperber, D., & Wilson, D. (1986). *Relevance*. (trad. fr. : La pertinence. Communication et cognition. Paris, Editions de Minuit, 1989).

- Sweller, J. (1983). Control mechanisms in problem solving. *Memory & Cognition*, 11 (1), 32-40
- Sweller, J. (1988). Cognitive load during problem solving, effects on learning. *Cognitive Science*, 12, 257-285.
- Sweller, J., & Levine, M. (1982). Effects of goal specificity on means-ends analysis and learning. *Journal of Experimental Psychology : Learning, Memory and Cognition*, 8 (5), 463-474.
- Sweller, J., Chandler, P., Tierney, P., & Cooper, M. (1990). Cognitive load as a factor in the structuring of technical material. *Journal of Experimental Psychology: General*, 119 (2), 176-192.
- Tricot, A. (1995). *Modélisation des processus cognitifs impliqués par la navigation dans les hypermédias*. Thèse de Doctorat de l'Université de Provence, spécialité Psychologie Cognitive. Aix-en-Provence.
- Valot, C., & Amalberti, R. (1989). Les redondances dans le traitement des données. *Le Travail Humain*, 52 (2), 155-174.
- Wright, P. (1991). Cognitive overheads and protheses: some issues in evaluating hypertexts. *Hypertext'91 Proceedings*, (pp. 1-12). New York: ACM Press.

=====

## Notes

- 1 Il y a des exceptions, comme Spérandio (1980), que nous rapportons plus loin, ou comme Paas (1992) qui fait la distinction suivante : la charge mentale est imposée par les paramètres de la tâche, l'effort mental correspond à la capacité allouée en fonction de la tâche : la charge cognitive est composée de la charge mentale et de l'effort mental.
- 2 On pourra se demander si l'absence de cette notion de la plupart des modèles utilisant un formalisme connexionniste est fondée théoriquement ou n'est qu'un moyen d'éluder la question.
- 3 Le bit d'information, précise Miller, n'est qu'une unité pour mesurer la variance de la source.
- 4 A ce propos, Bruner (1990, p. 19) rapporte une phrase que Miller aurait prononcé quelques années plus tard : "nous avons épinglé notre nouveau credo à notre porte et nous avons attendu de voir ce qui se produirait. Tout s'est très bien passé, si bien même que nous avons peut-être fini par être victimes de notre propre succès".
- 5 En gros, passage d'un cognitivisme classique "procédural", à un néo-behaviorisme non-connexionniste.
- 6 Traduit par "bulles d'aide" dans l'environnement Macintosh.