

Multimédia et Interaction Homme Machine

Modèles cognitifs

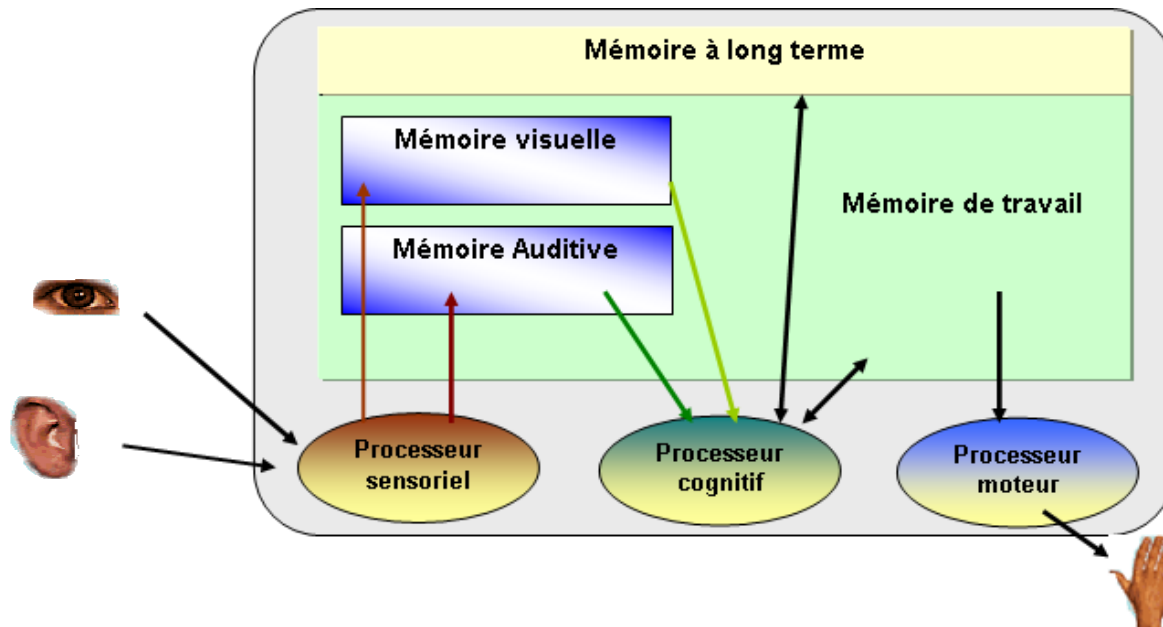
Préparé et présenté par
Pr. N. ASSAD

Modèle du Processeur Humain (MPH)

- Les humains sont des processeurs d'information
 - Entrée : le visuel et l'auditif sont important pour IHM
 - Processeurs : cognitifs, perceptuels et moteurs
 - Sortie : poignet, bras, jambe, etc. mouvements
- Modéliser le processeur d'information humain pour :
 - Valider la compréhension de nous-mêmes
 - Concevoir des meilleures interfaces utilisateur
- La loi de Fitts modélise le comportement moteur habile.
- Loi de Hicks modélise le temps de réaction.

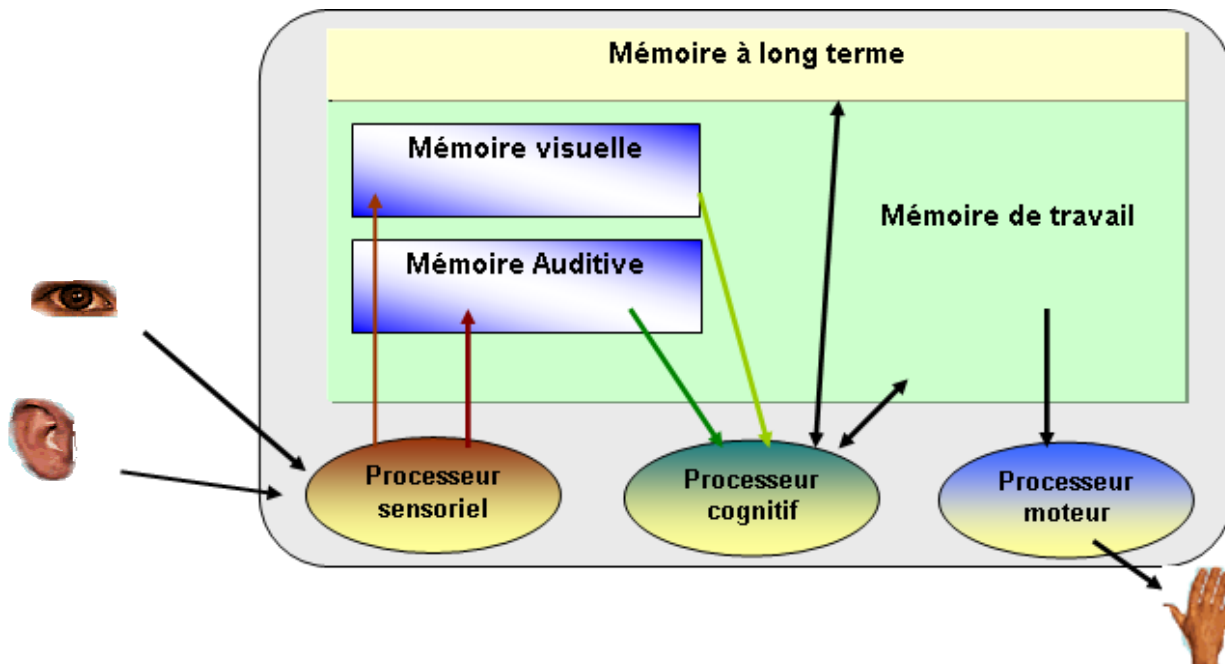
Modèle du Processeur Humain (MPH)

- Contient trois systèmes interactifs : système perceptif, cognitif et moteur
 - Pour certaines tâches, les systèmes fonctionnent en série (en appuyant sur une touche en réponse à un stimulus)
 - Pour les autres tâches, les systèmes fonctionnent en parallèle (conduire, parler au passager, écouter la radio)



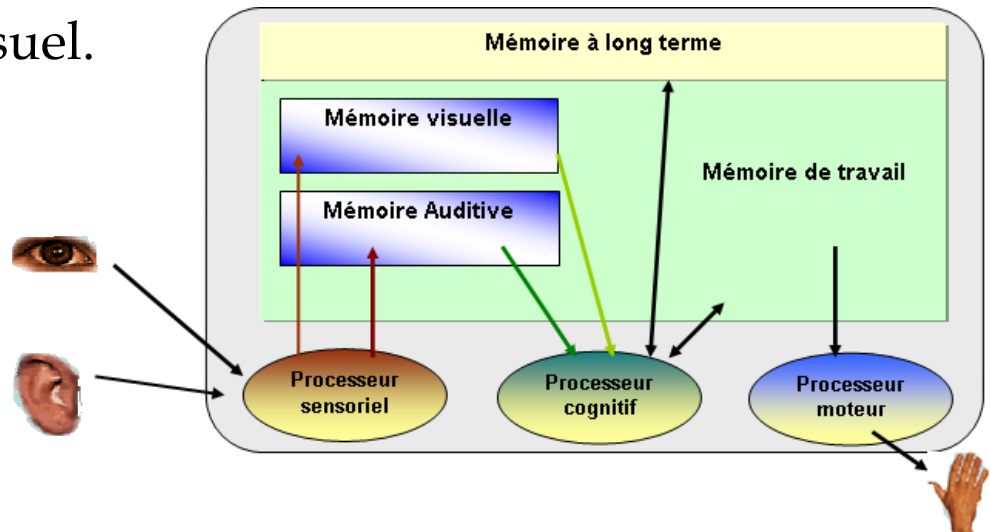
Modèle du Processeur Humain (MPH)

- Chaque système a sa propre mémoire et son propre processeur
 - Mémoire: capacité de stockage et temps de décroissance
 - Processeur: temps de cycle (inclut le temps d'accès)
- Chaque système est guidé par des gègles de fonctionnement



Modèle du Processeur Humain (MPH)

- **Mémoire à long terme :**
 - Durée de vie infinie.
 - Capacité infinie.
 - Codage sémantique.
- **Mémoire à court terme :**
 - Durée de vie inférieure à 7 secondes.
 - Capacité : 7 items.
 - Codage acoustique ou visuel.



Pourquoi le MPH est-il utile?

- En se basant sur des études empiriques pour valider le modèle
- Utilisez le modèle pour prévoir et comparer l'utilisabilité de différentes conceptions d'interface
 - Performances des tâches, apprentissage et taux d'erreur
 - Aucun utilisateur ou prototype fonctionnel requis!
- Développer des lignes directrices pour la conception d'interface comme : couleur, disposition spatiale, rappel, taux de réponse, etc.
- Pour être utile, un modèle doit :
 - Etre facile à utiliser et à apprendre
 - Produire des résultats raisonnablement et précis

Modèle du Processeur Humain (MPH) : Système Sensoriel

- Responsable de la transformation de l'environnement externe en une forme que le système cognitif peut traiter.
- Composé de **mémoire perceptuelle** et de **processeur**.

Modèle du Processeur Humain (MPH) : Système Sensoriel

Processeur sensoriel :

- Code les informations dans la mémoire perceptuelle pendant environ 100 ms puis récupère le stimulus suivant :

Temps de cycle = ~ 100ms

- Le processeur ne peut pas coder toutes les informations avant l'arrivée du prochain stimulus.
- Type et ordre de codage influencé par :
 - Principes de la Gestalt (percevoir la forme à partir des parties atomiques)
 - Attention - dirige le traitement ou les informations sur les filtres

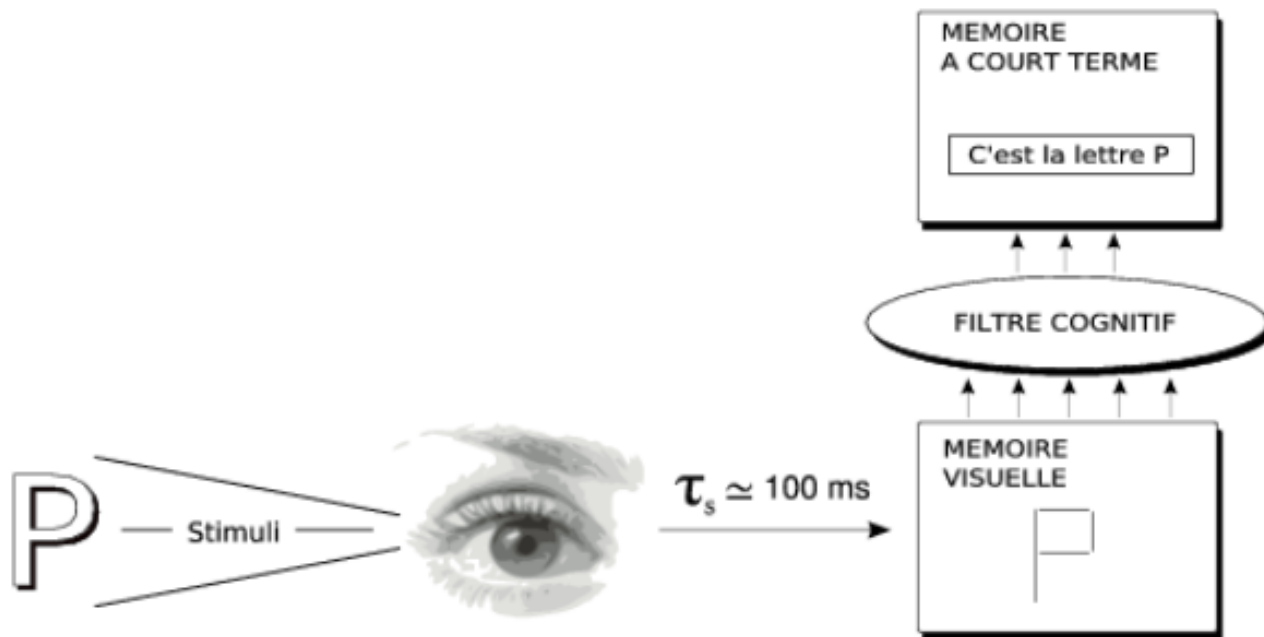
Modèle du Processeur Humain (MPH) : Système Sensoriel

Mémoire perceptuelle :

- Peu de temps après le début du stimulus, la représentation du stimulus apparaît dans la mémoire perceptuelle
 - La représentation est physique (non symbolique)
 - Par exemple, "7" est juste le motif, pas le chiffre reconnu.
- Comme les contenus de la mémoire perceptuelle sont codés symboliquement, ils sont transmis à la mémoire de travail
- Temps de décroissance
 - 200ms pour le visuel
 - 1500ms pour l'auditif

Modèle du Processeur Humain (MPH) : Système Sensoriel

Le système sensoriel visuel et sa relation avec le système cognitif (tiré et adapté de (Coutaz, 1990))



Modèle du Processeur Humain (MPH) : Système Sensoriel

Exercice :

Supposons que le temps de cycle perceptuel = 100ms

- Si 20 clics par seconde sont joués pendant 5 secondes, environ combien de clics une personne peut-elle entendre?*
- Si 30 clics par seconde sont joués pendant 5 secondes, environ combien de clics une personne pourrait-elle entendre?*

Modèle du Processeur Humain (MPH) : Système Sensoriel

Exercice :

- *Combien d'images par seconde doit-on jouer pour donner une illusion de mouvement?*
- *Dans une vidéo à tête parlante, dans quelle mesure l'audio et la vidéo peuvent-ils être éloignés avant qu'une personne perçoive la vidéo comme non synchronisée?*
- *Dans une simulation d'un jeu de billard, quand une balle se heurte à une autre, combien de temps l'application peut-elle prendre pour calculer le chemin de la balle?*

Modèle du Processeur Humain (MPH) : Système Cognitif

- Le processeur cognitif utilise le contenu de la mémoire de travail et de la mémoire à long terme pour prendre des décisions et pour programmer des actions avec le système de moteur.
- Composé d'un processeur et de deux mémoires
 - mémoire de travail
 - mémoire à long terme

Modèle du Processeur Humain (MPH) : Système Cognitif

Mémoire de travail :

- Détient des produits intermédiaires de la pensée et des représentations produites par le système perceptif
- Composé de sections activées de la mémoire à long terme appelées « morceaux »
- Un morceau est une structure de symbole hiérarchique, *7 +/- 2 morceaux actifs à un moment donné*

Modèle du Processeur Humain (MPH) : Système Cognitif

Mémoire de travail :

- Détient des produits intermédiaires de la pensée et des représentations produites par le système perceptif
- Composé de sections activées de la mémoire à long terme appelées « morceaux »
- Un morceau est une structure de symbole hiérarchique, *7 +/- 2 morceaux actifs à un moment donné*

XOFVTMCBN

Modèle du Processeur Humain (MPH) : Système Cognitif

Mémoire de travail :

- Détient des produits intermédiaires de la pensée et des représentations produites par le système perceptif
- Composé de sections activées de la mémoire à long terme appelées « morceaux »
- Un morceau est une structure de symbole hiérarchique, *7 +/- 2 morceaux actifs à un moment donné*

Modèle du Processeur Humain (MPH) : Système Cognitif

Mémoire de travail :

- Détient des produits intermédiaires de la pensée et des représentations produites par le système perceptif
- Composé de sections activées de la mémoire à long terme appelées « morceaux »
- Un morceau est une structure de symbole hiérarchique, *7 +/- 2 morceaux actifs à un moment donné*

NBCMTVFOX

Modèle du Processeur Humain (MPH) : Système Cognitif

Mémoire de travail :

- Decay causé par :
 - Temps : environ 7s pour trois morceaux, mais variance élevée
 - Interférence : plus difficile de rappeler un élément s'il y a d'autres éléments similaires (morceaux activés) dans la mémoire.
- Principe de discrimination
 - Difficulté de récupération déterminée par les candidats qui existent en mémoire par rapport aux indices de récupération
- Pas une section fixe de la mémoire à long terme, mais une séquence dynamique de morceaux activés (peut-être pas besoin de transfert)

Modèle du Processeur Humain (MPH) : Système Cognitif

Mémoire à long terme :

- Détient une masse de connaissances; faits, procédures, historique
- Se compose d'un réseau de morceaux liés où le bord du réseau est une association (réseau sémantique)
- Lecture rapide, écriture lente
- Capacité de stockage infinie, mais vous pouvez oublier parce que :
 - Impossible de trouver des indices de récupération efficaces
 - Des associations similaires à d'autres fragments interfèrent avec la récupération du morceau cible (principe de discrimination)

Modèle du Processeur Humain (MPH) : Système Cognitif

Mémoire à long terme : exemple

- Supposons qu'on vous donne verbalement 12 noms de fichiers arbitraires à retenir. Dans quel ordre devriez-vous écrire les noms de fichiers pour maximiser le rappel ?
- Que se passe-t-il si on vous donne 3 ensembles de noms de fichiers, où chaque ensemble commence avec les mêmes caractères?

Modèle du Processeur Humain (MPH) : Système Cognitif

Mémoire à long terme : exemple

- Supposons qu'on vous donne verbalement 12 noms de fichiers arbitraires à retenir. Dans quel ordre devriez-vous écrire les noms de fichiers pour maximiser le rappel ?
- Que se passe-t-il si on vous donne 3 ensembles de noms de fichiers, où chaque ensemble commence avec les mêmes caractères?

Par exemple, Class1, Class2, Class3, Class4; Jour1, Jour2, Jour3, Jour4, etc.

Modèle du Processeur Humain (MPH) : Système Cognitif

Basé sur le cycle de reconnaissance-acte

- **Reconnaître** : activer des fragments liés par association dans la mémoire à long terme
- **Agir** : modifier le contenu de la mémoire de travail
- Temps de cycle = $\sim 70\text{ms}$

Modèle du Processeur Humain (MPH) : Système Cognitif

- **Principe incertain**

Le temps de décision augmente avec l'incertitude sur le jugement à faire, nécessite plus de cycles cognitifs

- **Principe du taux variable :**

Le temps de cycle T_c est plus court lorsqu'un effort plus important est induit par une augmentation des demandes de tâches ou des charges d'informations; il diminue également avec la pratique.

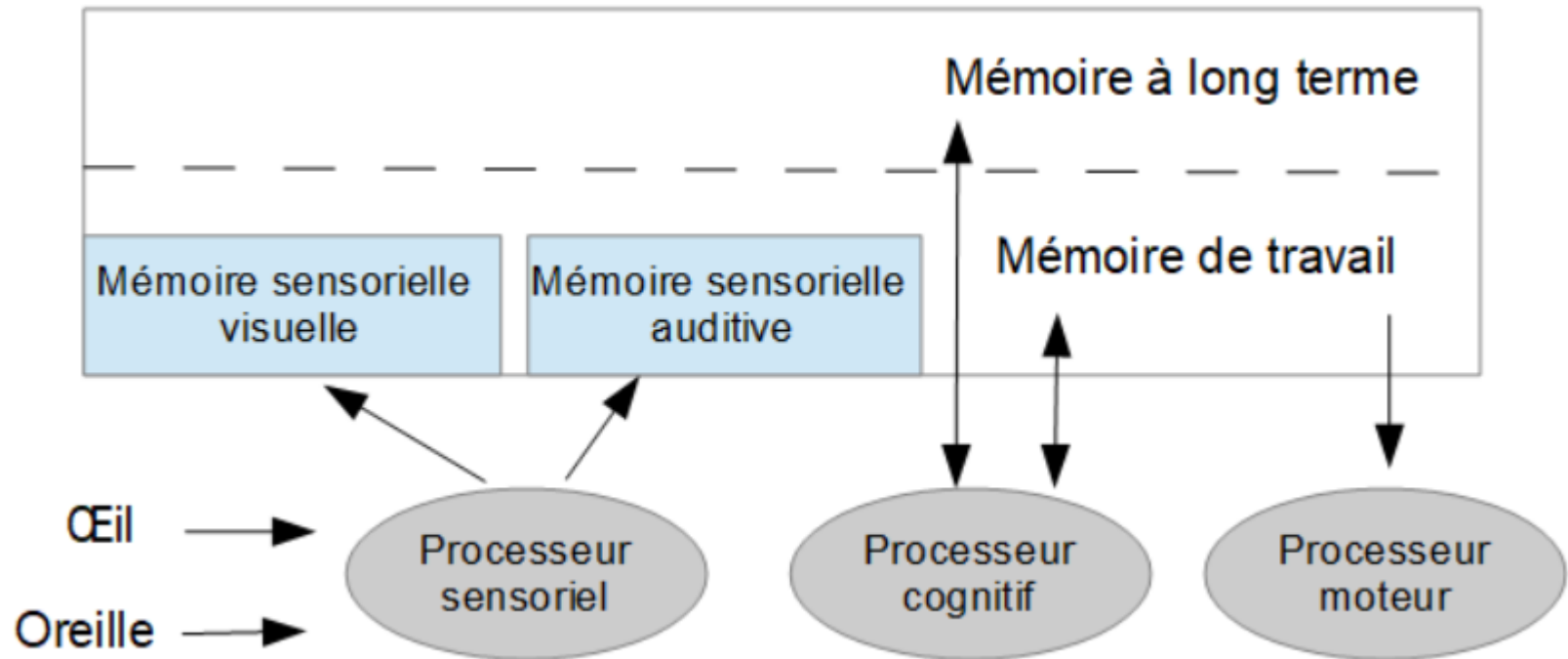
- Loi de la pratique de l'énergie : $T_n = T_1 * n^{-\alpha}$
où alpha apprend constamment

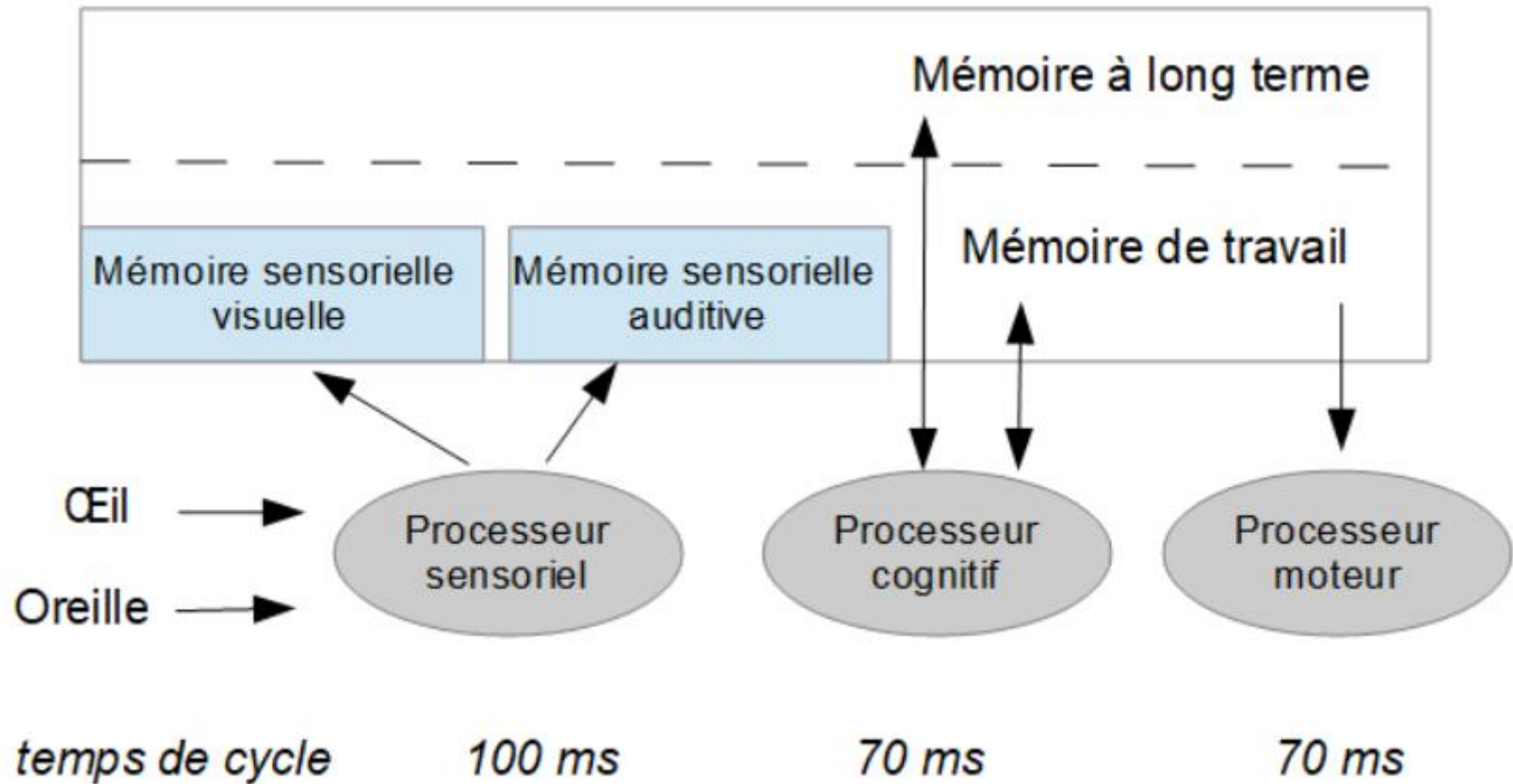
Modèle du Processeur Humain (MPH) : Système Moteur

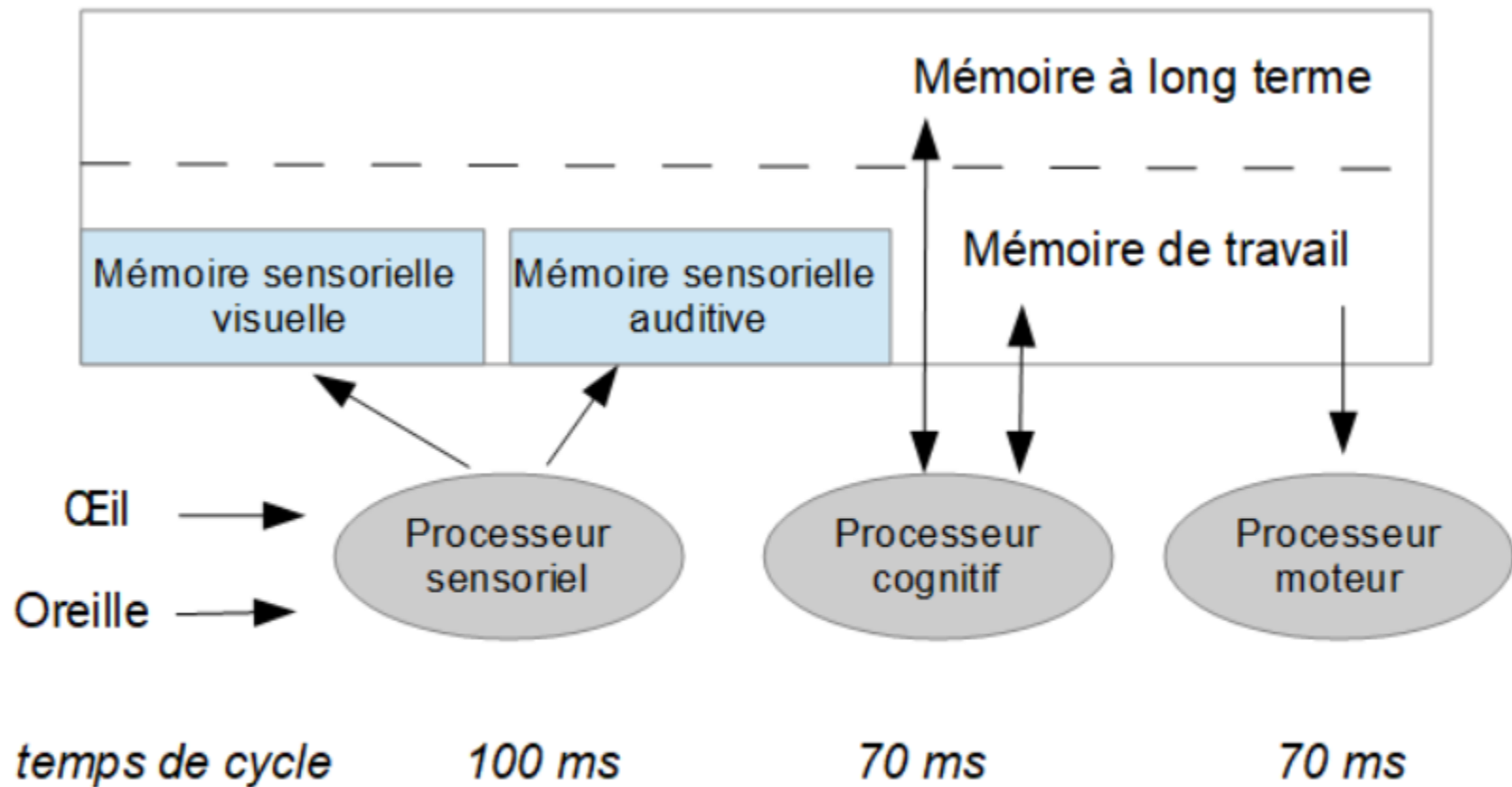
- Traduit des pensées en actions
- Actions tête-cou et bras-main-doigt

Modèle du Processeur Humain (MPH) : Système Moteur

- Contrôle les mouvements du corps
 - Mouvement composé de micro-mouvements discrets
 - Le micro-mouvement dure environ 70ms
 - Temps de cycle du processeur de moteur environ 70ms
- Met en cache les comportements courants tels que la dactylographie et la parole
 - Aucune mention de ce cache dans le modèle







Cycle de percevoir-reconnaître-agir \approx 240 ms

Utiliser un modèle pour calculer le temps de réaction pour une tâche de correspondance simple :

Un utilisateur est assis devant un terminal informatique. Chaque fois qu'un symbole apparaît, il doit appuyer sur la barre d'espace. Quel est le délai entre le stimulus et la réponse ?

Utiliser un modèle pour calculer le temps de réaction pour une tâche de correspondance simple :

Un utilisateur est assis devant un terminal informatique. Chaque fois qu'un symbole apparaît, il doit appuyer sur la barre d'espace. Quel est le délai entre le stimulus et la réponse ?

$$\mathbf{T_p + T_c + T_m = 240\ ms}$$

Utiliser un modèle pour calculer le temps de réaction pour une tâche de correspondance simple :

Deux symboles apparaissent sur le terminal de l'ordinateur. Si le second symbole correspond au premier, l'utilisateur appuie sur "Y" et appuie sur "N" sinon. Quel est le délai entre le deuxième signal et la réponse ?

Utiliser un modèle pour calculer le temps de réaction pour une tâche de correspondance simple :

Deux symboles apparaissent sur le terminal de l'ordinateur. Si le second symbole correspond au premier, l'utilisateur appuie sur "Y" et appuie sur "N" sinon. Quel est le délai entre le deuxième signal et la réponse ?

$$\mathbf{T_p + 2T_c \text{ (compare + decide) + } T_m = 310 \text{ ms}}$$

Cas général

- Besoin d'un pont entre la structure de tâches et le Modèle du Processeur Humain
 - Active l'analyse descendante par opposition à l'analyse ascendante.
- Analyser la structure de but de la tâche, puis pour chaque étape :
 - Analyser les actions de l'utilisateur requises (système moteur);
 - Analyser la perception de l'utilisateur de la sortie (système perceptif);
 - Analyser les étapes mentales pour passer de la perception à l'action (système cognitif).
- Somme les temps de traitement de chaque étape pour obtenir une prédiction raisonnablement et précise des performances de la tâche.

GOMS – Goals Operators Methods Selection

Modèle de structure de tâche (objectifs) et actions de l'utilisateur (opérateurs, méthodes, règles de sélection)

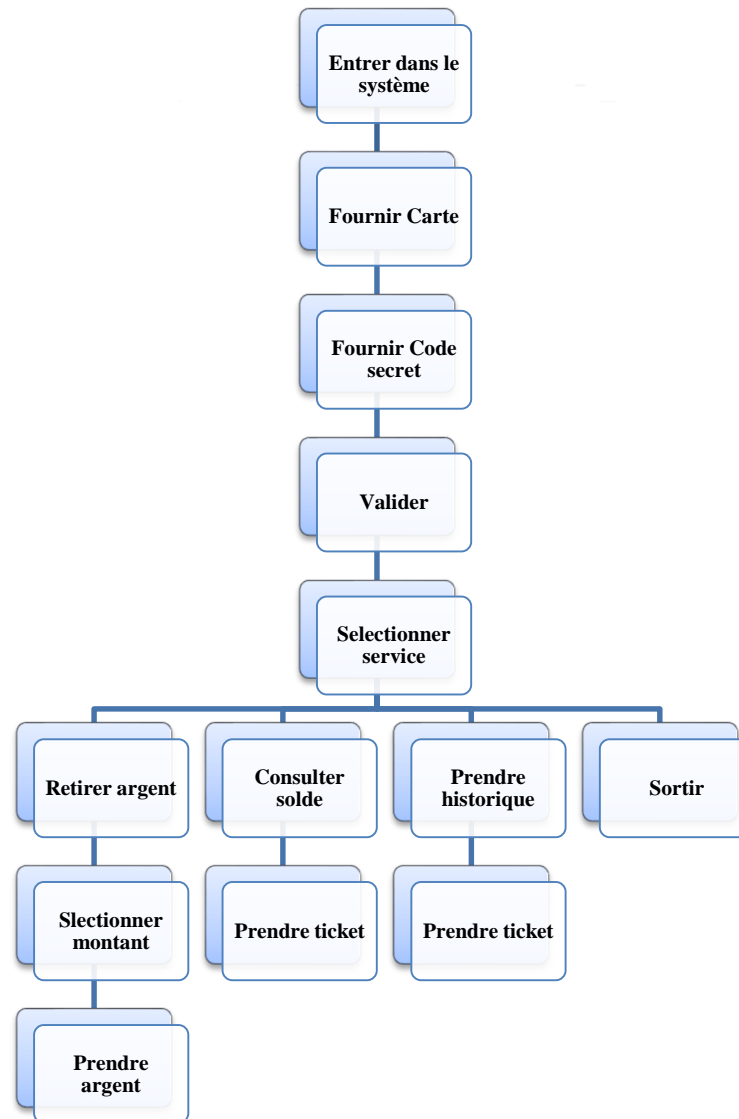
- **Objectifs** : structure cognitive d'une tâche
- **Opérateurs** : les actes élémentaires qui changent l'état de l'utilisateur ou l'environnement de la tâche
- **Méthodes** : ensembles de séquences d'opérateurs de but pour accomplir un sous-but
- **Sélection** : règles pour sélectionner une méthode

Suppose un comportement sans erreur et rationnel

GOMS – Goals Operators Methods Selection

- Se concentre sur les utilisateurs experts
- Se concentre sur la performance sans erreur
- Bon outil d'analyse pour comparer les conceptions
- Engendre de nombreuses techniques similaires
- Faire un GOMS complet d'interface simple dans quelques semaines

GOMS – Goals Operators Methods Selection



GOMS – Goals Operators Methods Selection

Exemple : Consultation de Dictionnaire en Ligne

Objectif : Récupérer la définition d'un mot

- Objectif : Accéder au dictionnaire en ligne
 - Opérateur : Tapez la séquence d'URL
 - Opérateur : appuyez sur Entrée
- Objectif : définition de recherche
 - Opérateur : Tapez le mot dans le champ de saisie
 - Objectif : Soumettre le mot
 - Opérateur : Déplace le curseur du champ vers le bouton de recherche
 - Opérateur: sélectionnez Rechercher
 - Opérateur : Lire la sortie

GOMS - Avantages

- Permet la comparaison quantitative des performances de la tâche avant la mise en œuvre
 - Les données empiriques montrent que le modèle fournit une bonne approximation des performances réelles
- Pourrait être intégré dans l'outil de simulation de performance
 - Designer fournit des modèles GOMS et croquis d'interface, l'outil retourne une prédiction de la performance

GOMS - Désavantages

- Buts non utilisés dans la prédiction de la performance :
 - Définir la structure de la tâche, pas le comportement de l'utilisateur;
 - Difficile de déterminer quand un utilisateur change d'objectif et comment les objectifs sont liés aux opérateurs.
- Nécessite qu'un concepteur définisse une tâche au niveau des opérateurs élémentaires; pourrait résoudre ce problème en :
 - Définition de la tâche à un niveau plus grossier et dérivation empirique des temps pour les opérateurs de haut niveau;
 - Regrouper / réutiliser les résultats d'autres interfaces;
 - Automatisation de la génération de modèles de tâches;

GOMS - Désavantages

- Prédire le temps de mouvement en fonction du niveau de micro-mouvements non plausible.
- Besoin d'une méthode de plus haut niveau pour prédire le temps de mouvement.



- Deux lois qui sont toujours avec nous :
 - Loi Fitts : temps de mouvement
 - Loi de Hicks : choix du temps de réaction

Loi de Fitts

- Modèles de performance du moteur humain
 - Destiné au mouvement bras-main
 - Modèle original développé en 1954
- Permet la prédiction du temps de mouvement (TM)
 - Mouvement supposé rapide, sans erreur et ciblé
- TM est une fonction de la distance et de la largeur de la cible

Loi de Fitts - Origines

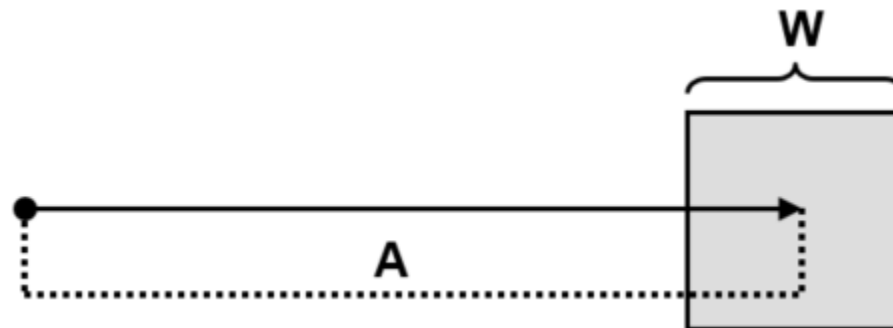
Psychologues utilisant la théorie de l'information pour modéliser les compétences perceptives, cognitives et motrices

- Théorie de l'information développée par *Shannon* à la fin des années 1940 chez Bell Labs
- Transformer les informations en séquence de chiffres binaires et les transmettre sur un canal

Environnement de Tâche

Modélise le mouvement du bras-main vers une cible

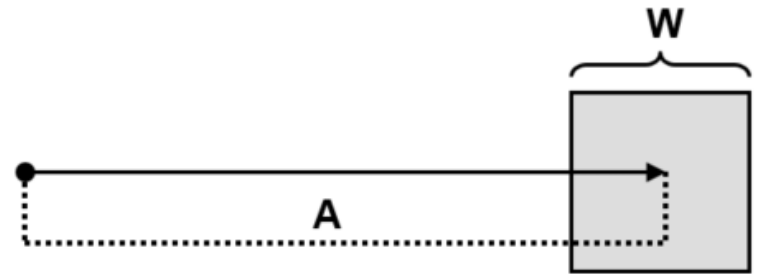
- La main est A cm de la cible (Amplitude)
- La cible mesure W cm de large (tolérance)
- Supposons que le mouvement suit un chemin horizontal droit



Modèle de Temps de Mouvement - TM

TM (Temps de Mouvement) linéaire par rapport à l'indice de difficulté

$$TM = a + b * I_d$$



- a et b : sont deux constantes
- I_d : Indice de difficulté (bits / msec)
- À l'origine : $I_d = -\log_2(W / 2A) = \log_2(2A / W)$
 - $I_d = \log_2(A / W + 1)$
 - $I_d = \log_2(A / W + 0.5)$ si $I_d < 3$ bits

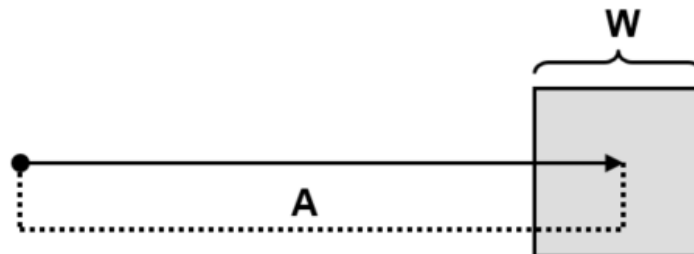
Interprétation de $\log_2(A/W + 1)$

Le mouvement bras-main nécessite plus de temps

- La distance par rapport à la cible (A) augmente
- La tolérance d'erreur (W) diminue
- La cible est plus éloignée et de plus petite taille

Le mouvement bras-main nécessite moins de temps

- La distance par rapport à la cible (A) diminue
- La tolérance d'erreur (W) augmente
- La cible est plus proche et de plus grande taille



Ajustement du modèle de TM

- $MT = a + b * I_d$
Trois paramètres doivent être remplis (a, b et I_d)

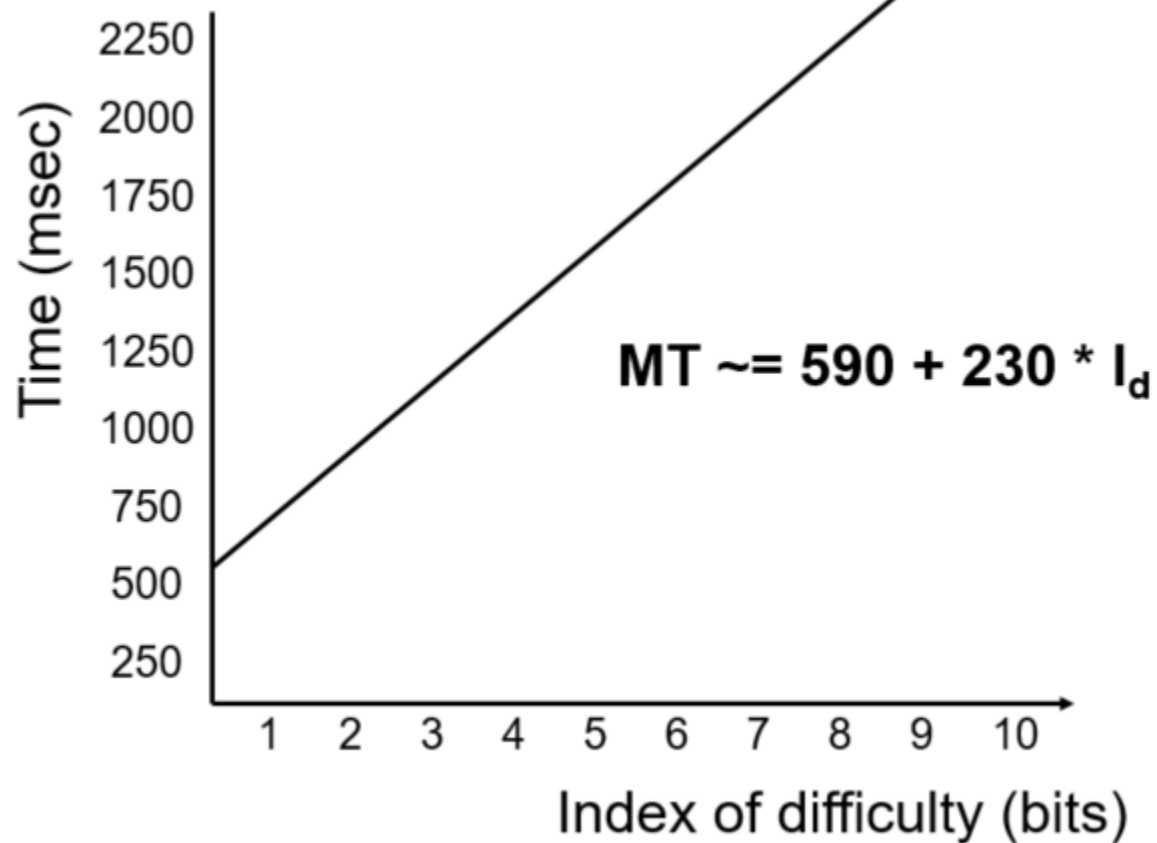
- I_d calculé à partir de l'environnement de tâche

$$I_d = \text{Log}_2(A / W + 1)$$

- a et b sont des paramètres pouvant être déterminés empiriquement par *régression linéaire*

$$MT \sim = 590 + 230 * I_d$$

Graphique commun de la loi Fitts



Modèle de TM

Exercice :

Prévoir le temps pour un utilisateur de déplacer le curseur de l'emplacement actuel vers un bouton

- Le bouton est à 400 pixels à droite du curseur
- Le bouton a une largeur de 50 pixels

Adaptation du modèle aux tâches 2D

Qu'est-ce qui se passe pour :

- Des mouvements verticaux ou diagonaux aux cibles ?
- Des cibles qui ne sont pas rectangulaires ?
- La loi de Fitts ne correspond pas bien à ces environnements.

Solutions possibles :

- Utiliser la zone de la cible;
- Utiliser le périmètre de la cible;
- Utilisez plus petit de largeur et de hauteur;
- Mesurer la largeur le long de l'angle d'approche.

Modèle de TM

Exercice :

1. Prévoir le temps pour l'utilisateur de déplacer le curseur de l'emplacement actuel vers un menu déroulant
 - Le menu est 400 pixels vers le haut et à droite du curseur
 - Le menu fait 40 pixels de large sur 20 pixels de haut

$$MT \sim 590 + 230 * \log_2(A / W + 1)$$

2. Dériver un modèle approximatif de loi de Fitts à l'aide du modèle Processeur Humain

Comparer les périphériques d'entrée

- Les dispositifs d'entrée sont des transducteurs.
- Comparez les performances des tâches avec les périphériques d'entrée pour optimiser les performances des tâches.
- Des études montrent que la souris est un dispositif quasi optimal
 - Peut expliquer pourquoi il est encore avec nous aujourd'hui;
 - Mais le stylet peut surclasser la souris dans certains cas, en particulier lorsque des gestes sont utilisés.

Loi de Hicks – Choix du temps de réaction

- Modélise le temps de réaction humain dans l'incertitude
- Le temps de décision T augmente avec l'incertitude sur le jugement ou la décision à prendre

$$T = k H$$

où H est l'entropie de la décision et k est une constante.

$$H = \sum_{i=1} p_i \log_2(1/p_i + 1)$$

$H = \log_2(n + 1)$, si les probabilités sont égales

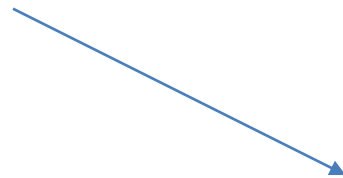
Exercice :

Un opérateur d'appel téléphonique a 10 boutons. Lorsque la lumière derrière l'un des boutons s'allume, l'opérateur doit appuyer sur le bouton et répondre à l'appel.

Quand une lumière s'allume, combien de temps faut-il à l'opérateur pour décider quel bouton appuyer ?

GOMS - variantes

- GOMS est souvent combiné avec une analyse de niveau de frappe
 - KLM - Modèle de niveau **Keystroke**
 - Analyser seulement les comportements observables tels que les pressions de touches, les mouvements de la souris
- Tâches divisées en deux phases
 - Acquisition de la tâche - l'utilisateur construit un représentant mental.
 - Exécution de tâches - utilisation des installations du système

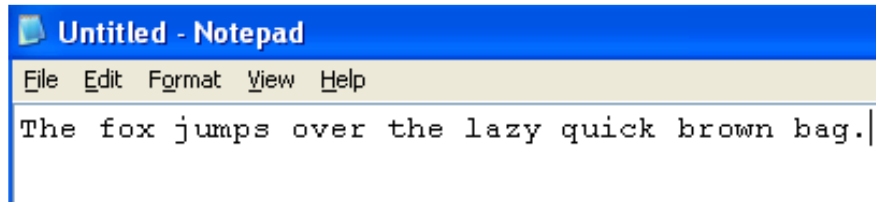


KLM predicts

GOMS : Keystroke-Level Model (KLM)

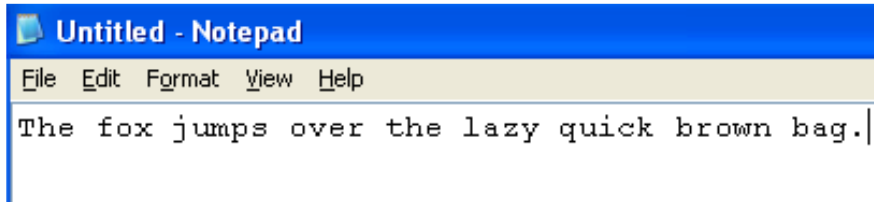
- Technique la plus simple des techniques de GOMS
 - Constitue une base de toutes les autres techniques GOMS
 - Prévoit le temps d'exécution
- Nécessite des méthodes fournies par l'analyste
- Suppose que les compétences cognitives de routine peuvent être décomposées en une séquence, en série d'opérations cognitives de base et d'activités motrices, qui sont :
 - **K** : Une frappe (280 msec)
 - **M** : Un seul opérateur mental (1350 msec)
 - **P** : Pointant sur une cible sur un petit écran (1100 msec)
 - **H** : passer les mains du clavier à une souris (400 msec)

GOMS – KLM : exemple



- BUT : Modifier le manuscrit (déplacez “quick brown” avant « fox”)
- Sous-but : Surligner le texte
- Opérateurs :
 - Déplacer le curseur
 - Cliquez sur le bouton de la souris
 - Tapez les caractères (raccourcis clavier)
- Méthodes :
 1. Supprimer-mot-et-retaper (méthode retapper)
 2. Couper-et-coller-par-raccourcis-clavier (méthode des raccourcis)
 3. Couper-et-coller-par-menus (méthode des menus)

GOMS – KLM : exemple



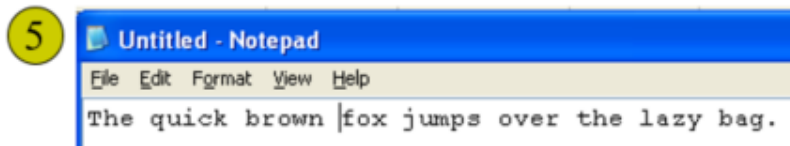
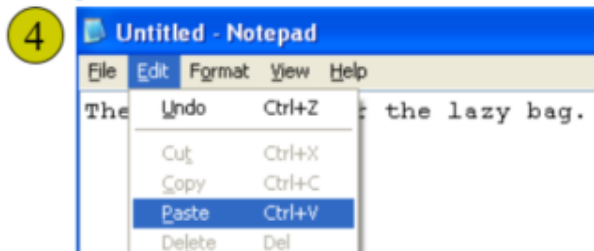
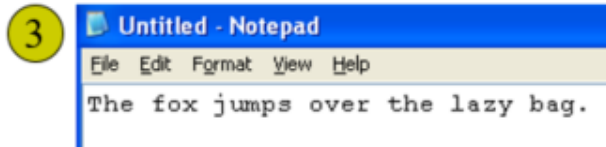
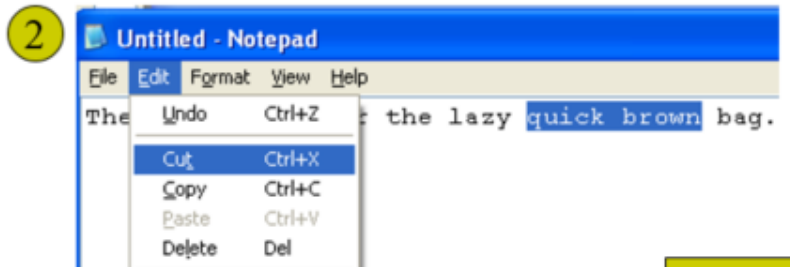
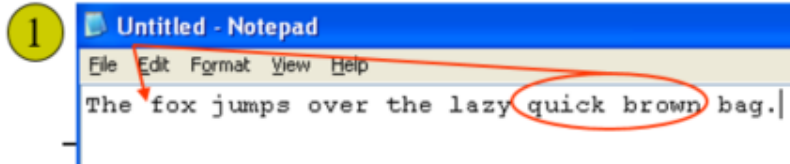
- Règles de sélection :

Si le texte à déplacer comporte un ou deux caractères, utilisez la méthode retaper

Sinon, si vous vous souvenez des raccourcis, utilisez la méthode des raccourcis

Sinon, utilisez la méthode des menus

Couper-et-coller-par-menus (méthode des menus)



M=1.35
P=1.10
K=0.20

| Description | Operator | Duration (sec) |
|--------------------------------|----------|----------------|
| Mentally Prepare | M | 1.35 |
| Move cursor to "quick" | P | 1.10 |
| Double-click mouse button | K | 0.40 |
| Move cursor to "brown" | P | 1.10 |
| Shift-click mouse button | K | 0.40 |
| Mentally Prepare | M | 1.35 |
| Move cursor to Edit Menu | P | 1.10 |
| Click mouse button | K | 0.20 |
| Move cursor to Cut menu item | P | 1.10 |
| Click mouse button | K | 0.20 |
| Mentally Prepare | M | 1.35 |
| Move cursor to before "fox" | P | 1.10 |
| Click mouse button | K | 0.20 |
| Mentally Prepare | M | 1.35 |
| Move cursor to Edit menu | P | 1.10 |
| Click mouse button | K | 0.20 |
| Move cursor to Paste menu item | P | 1.10 |
| Click mouse button | K | 0.20 |
| TOTAL PREDICTED TIME | | 14.90 |

GOMS – KLM : procédure

Comment KLM fonctionne ?

- Affectation de temps à différents opérateurs
- Plus : Règles pour l'ajout de M (préparations mentales) dans certains endroits
- La charte est illustrée dans le slide suivant

Table 8.1 Performance times for keystroke-level operators; from Card et al (1983).

| Operator | Description and remarks | Time (sec) |
|---------------|---|------------------|
| K | PRESS KEY OR BUTTON. Pressing the SHIFT or CONTROL key counts as a separate K operation. Time varies with the typing skill of the user; the following shows the range of typical values: | |
| | Best typist (135 wpm) | .03 |
| | Good typist (90 wpm) | .12 |
| | Average skilled typist (55 wpm) | .20 |
| | Average non-secretary typist (40 wpm) | .28 |
| | Typing random letters | .50 |
| | Typing complex codes | .75 |
| | Worst typist (unfamiliar with keyboard) | 1.20 |
| P | POINT WITH MOUSE TO TARGET ON A DISPLAY. The time to point varies with distance and target size according to Fitt's Law, ranging from .8 to 1.5 sec, with 1.1 being an average. This operator does not include the (.2 sec) button press that often follows. Mouse pointing time is also a good estimate for other efficient analogue pointing devices, such as joysticks (see Chapter 7). | 1.10 |
| H | HOME HAND(S) ON KEYBOARD OR OTHER DEVICE. | .40 |
| $D(n_D, l_D)$ | DRAW n_D STRAIGHT-LINE SEGMENTS OF TOTAL LENGTH l_D CM. This is a very restricted operator; it assumes that drawing is done with the mouse on a system that constrains all lines to fall on a square .56cm grid. Users vary in their drawing skill; the time given is an average value. | $.9n_D + .16l_D$ |
| M | MENTALLY PREPARE. | 1.35 |
| R(t) | RESPONSE BY SYSTEM. Different commands require different response times. The response time is counted only if it causes the user to wait. | t |

Begin with a method of encoding that includes all physical operations and response operations. Use Rule 0 to place candidate **M**'s, and then cycle through Rules 1 to 4 for each **M** to see where it should be deleted.

- Rule 0. Insert **M**'s in front of all **K**'s that are not part of text or numeric argument strings proper (e.g., text or numbers). Place **M**'s in front of all **P**'s that select commands (not arguments).
- Rule 1. If an operator following an **M** is fully anticipated in an operator **P** or previous to **M**, then delete the **M** (e.g., **PMK** → **PK**).
- Rule 2. If a string of **MK**'s belongs to a cognitive unit (e.g., the name of a command), then delete all **M**'s but the first.
- Rule 3. If a **K** is a redundant terminator (e.g., the terminator of a command immediately following the terminator of its argument), then delete the **M** in front of it.
- Rule 4. If a **K** terminates a constant string (e.g., a command name), then delete the **M** in front of it; but if the **K** terminates a variable string (e.g., an argument string) then keep the **M** in front of it.