

# Vieillesse, mémoire de travail et génération aléatoire

Annick BEERTEN, Martial Van der LINDEN,  
Mauro PESENTI

Selon Baddeley (1986), la tâche de génération aléatoire est très dépendante de l'administrateur central de la mémoire de travail dans la mesure où elle exige une importante flexibilité et une certaine forme de mise à jour (Van der Linden, Brédard, et Beerten, 1994).

Le but de la présente étude est d'examiner l'effet du vieillissement sur les fonctions de l'administrateur central au moyen de la tâche de génération aléatoire (Baddeley, 1966, 1986). Une première expérience a étudié chez des sujets jeunes et âgés l'influence de la cadence de production sur le caractère aléatoire des séquences de réponses. Une seconde expérience a étudié chez des sujets jeunes et âgés l'influence de la complexité d'une tâche secondaire sur la performance en génération aléatoire.

## EXPERIENCE 1

Influence de la cadence de production sur le caractère aléatoire d'une séquence de réponses.

### Sujets

32 sujets ont participé à cette expérience

- 16 sujets jeunes (8 hommes et 8 femmes) âgés de 20 à 30 ans ( $M = 23.2$ , d.s. = 1.67) et ayant effectué des études supérieures, universitaires ou non universitaires,
- 16 sujets âgés (8 hommes et 8 femmes) de 60 à 70 ans ( $M = 66.1$  ans, d.s. = 2.84) et ayant au moins effectué des études de niveau secondaire.

L'efficacité intellectuelle verbale des sujets a été évaluée au moyen du test de vocabulaire de Mill-Hill. Les sujets âgés obtiennent des scores plus élevés ( $M = 30.5$ ) que les sujets jeunes ( $M = 27.5$ ).

## Procédure

La procédure de cette expérience est calquée sur celle utilisée par Baddeley (1966). Le sujet doit produire à haute voix une séquence aléatoire de 100 lettres tirées de l'alphabet, à une cadence de 1, 2 et 4 secondes. Pour aider les sujets à comprendre la tâche, on leur demande d'imaginer qu'ils doivent tirer 1 lettre d'un chapeau, une à la fois, la lire à haute voix et l'y remettre pour que toutes les lettres aient la même chance d'être tirées. Les séquences ainsi produites ne peuvent contenir ni suites alphabétiques, ni mots épelés, ni sigles...

### Mesures du caractère non aléatoire

Suivant Tune (1964, a et b), Wagenaar (1972), Baddeley (1966) et Evans (1978), trois mesures du caractère aléatoire des réponses ont été utilisées.

### Mesures d'ordre 0 :

Ces mesures prennent en compte la fréquence d'occurrence de chaque lettre parmi la séquence des 100 réponses. Suivant la théorie de l'information (Shannon et Weaver, 1949 ; Wiener, 1948 ; cité dans Hick, 1952), une séquence de lettres contient un maximum d'information de premier ordre lorsque chaque lettre est utilisée à la même fréquence ; au plus les fréquences observées diffèrent des fréquences attendues, au plus la séquence devient non aléatoire. L'information est calculée en utilisant la formule suivante :

### INFORMATION H :

$$H = \log_2 n - 1/n \sum (S n_i \log_2 n_i) \quad (1)$$

où H est l'information par lettre exprimée en bits, n est le nombre de réponses dans la séquence et

$n_i$  ( $i = 1, 2, \dots, 26$ ) est la fréquence avec laquelle la lettre  $i$  de l'alphabet est utilisée (Attneave, 1959, p. 24 ; cité dans Baddeley, 1966). Cette mesure est fonction du nombre total d'alternatives ; au plus elle est proche de l'information maximale, au moins le caractère est non aléatoire.

Cette mesure d'information peut être convertie en mesure de redondance, par la formule : REDONDANCE R :

$$R = 1 - H/H_{\max} \quad (2)$$

où  $H$  est l'information calculée par la formule (1) et  $H_{\max}$  l'information maximale si chaque lettre est citée un nombre égal de fois. La redondance varie de 0 à 1 ; plus elle est proche de 1, au plus le caractère non aléatoire est prononcé. Notons qu'avec les mesures d'ordre zéro, aucune dépendance parmi les réponses ne peut être établie.

Mesures d'ordre 1 :

Ces mesures prennent en compte la fréquence d'occurrence de paires de lettres. La première de ces mesures est le nombre de DIGRAMMES et prend en compte la fréquence de la même paire de lettres. Une deuxième mesure d'ordre 1 est le nombre de STEREOTYPES et prend en compte la fréquence de paires de lettres qui suivent l'ordre alphabétique. En outre, Evans (1978) propose une mesure prenant en compte la fréquence des lettres seules et des paires de lettres, le RNG indec (Random Number Generation Index). Le RNG est calculé à l'aide de la formule suivante :

$$RNG = \sum f_{ij} \log_2 f_{ij} / \sum f_i \log_2 f_i \quad (3)$$

où  $f_{ij}$  est la fréquence d'occurrence de chaque digrammes et  $f_i$  la fréquence d'occurrence de chaque lettre dans la séquence des 100 réponses. Cet index varie de 0 à 1 ; au plus il est proche de 1, au plus le caractère non aléatoire est prononcé.

Mesures d'ordre élevé :

Afin de rendre compte des dépendances d'ordre élevé, des séquences significatives sont recherchées. Pour cela, le nombre de MOTS EPELES par le sujet comprenant 5 lettres ou plus est pris en compte.

Mesures globales *a posteriori* :

Enfin, une mesure *a posteriori* intéressante a été posée, le nombre de NON-REPONSES (NR), c'est-à-dire la fréquence avec laquelle le sujet ne répond pas au signal sonore (seuls les sujets âgés présentent des non-réponses).

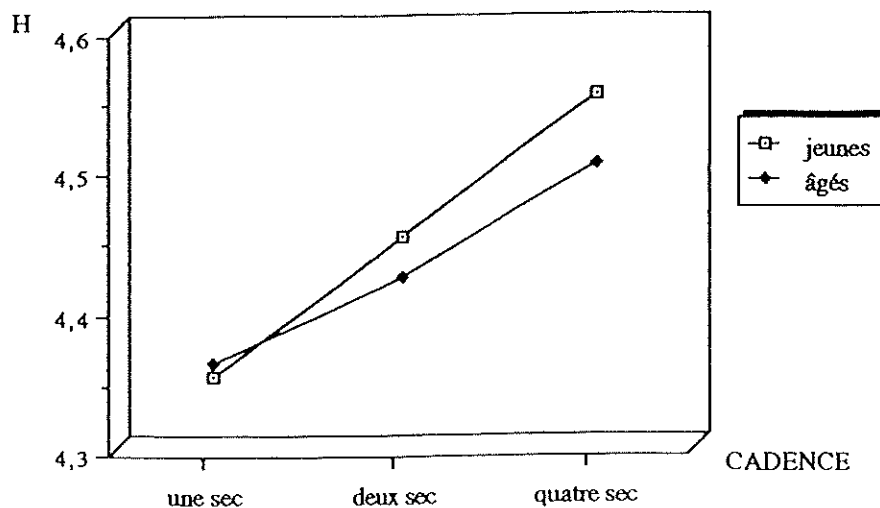
## RESULTATS

Des analyses de variance 2X3 ont été effectuées pour chaque mesure avec l'âge comme facteur inter-sujet et la cadence comme facteur intra-sujet.

Mesures d'ordre 0 : H et R.

Seule la cadence a un effet significatif ( $F(2,58) = 28.95$  ;  $p < .0001$ ) : au plus la cadence est rapide, au moins la séquence de lettres est aléatoire ; l'effet de l'âge et l'interaction entre l'âge et la cadence ne sont pas significatif (voir fig. 1).

Figure 1 : Information moyenne par groupe en fonction de la cadence



Mesures d'ordre 1 : digrammes, stéréotypes et RNG index.

On observe un effet significatif de la cadence pour les 3 mesures (Digr. :  $F(2,58)=26.14$  ; Stéréo. :  $F(2,58)=27.86$  ; RNG :  $F(2,58)=29.46$  ; tous les  $p < .0001$ ) ; un effet significatif de l'âge pour les stéréotypes ( $F(1,29)=4.4$  ;  $p < .05$ ) et les digrammes ( $F(1,29)=3.46$  ;  $p < .07$  : les sujets jeunes présentent moins de stéréotypes et de digrammes que les sujets âgés ; pas d'interaction significative entre l'âge et la cadence.

Mesures d'ordre élevé : non-réponses (NR) et mots épelés (MOTS).

Comme seuls les sujets âgés ont présenté des non-réponses, une ANOVA calculée pour ce groupe seulement a révélé un effet significatif de la cadence ( $F=9.64$  ;  $p < .0008$ ) : le nombre de non-réponses diminue lorsque la cadence est plus lente.

## EXPERIENCE 2

Influence de la complexité d'une seconde tâche sur le caractère aléatoire d'une séquence de réponses.

### Sujets

Les mêmes sujets que ceux de la première expérience ont participé à cette étude.

### Procédure

Comme dans la première expérience, le sujet doit produire à haute voix une séquence aléatoire de 100 lettres tirées de l'alphabet, à une cadence de 2 secondes. Simultanément, il doit classer des

cartes au rythme d'une carte toutes les 2 secondes. Selon la condition, le classement est à effectuer entre 1, 2, 4, ou 8 catégories. Le sujet doit produire 100 réponses pour chacune des 4 conditions, et entre chaque séquence de 100 réponses, une pause de 2 minutes est aménagée. L'ordre de passation des différentes conditions a été préalablement randomisé à travers les sujets avec comme contrainte, qu'aucun sujet ne commence par le classement le plus complexe (8 catégories).

Les mesures utilisées sont identiques à celles adoptées lors de la première expérience. Cependant, une mesure supplémentaire de l'efficacité de la tâche de classement de cartes a été calculée : il s'agit du nombre d'erreurs de classement, c'est-à-dire le nombre de fois où une carte n'a pas été placée dans le compartiment adéquat, et le nombre de cartes restant après les 100 réponses.

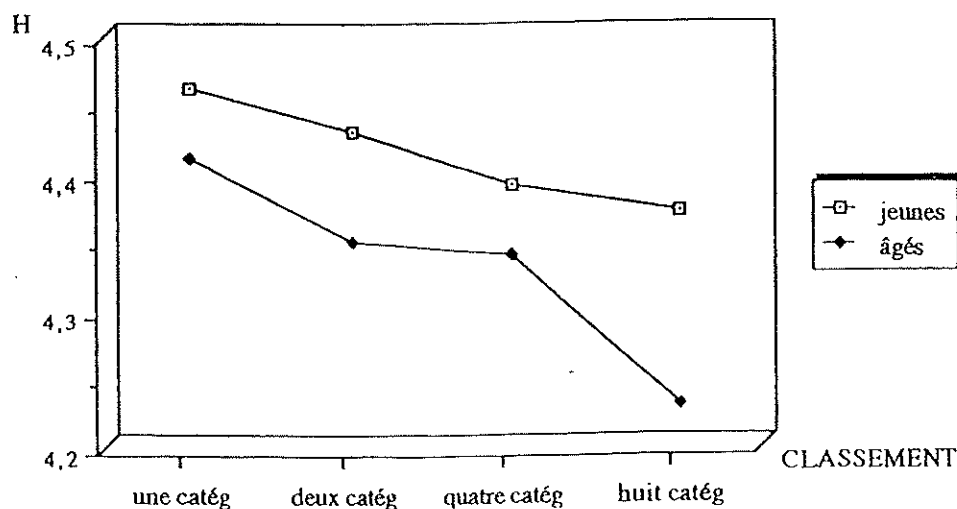
## RESULTATS

Des analyses de variance 2X4 ont été effectuées pour chaque mesure avec l'âge comme facteur inter-sujet et le nombre d'alternatives de classement comme facteur intra-sujet.

Mesures d'ordre 0 : H et R.

On constate un effet significatif marginal de l'âge ( $F(1,29)=3.71$  ;  $p < .06$ ), les sujets âgés produisant des réponses moins aléatoires que les sujets jeunes ; un effet significatif du nombre de catégories de classement ( $F(3,87)=8.84$  ;  $p < .0001$ ) : le caractère non-aléatoire augmente avec le nombre de catégories ; et pas d'interaction de ces 2 facteurs (voir fig.2).

Figure 2 : Information (H) moyenne par groupe en fonction du nombre de catégories de classement



Mesures d'ordre : digrammes, stéréotypes et RNG index.

On observe un effet significatif de l'âge pour les trois types de mesures (Digramme :  $F(1,29)=9.9$  ;  $p < .004$  ; Stéréotypes :  $F(1,29)=11.83$  ;  $p < .002$  ; RNG :  $F(1,29)=5.11$  ;  $p < .02$ ) en défaveur des sujets âgés ; un effet significatif du nombre de catégories pour les stéréotypes seulement ( $F(3,87)=4.1$  ;  $p < .01$ ), le nombre de stéréotypes augmentant avec le nombre d'alternatives de classement ; pas d'interaction entre l'âge et le nombre de catégories.

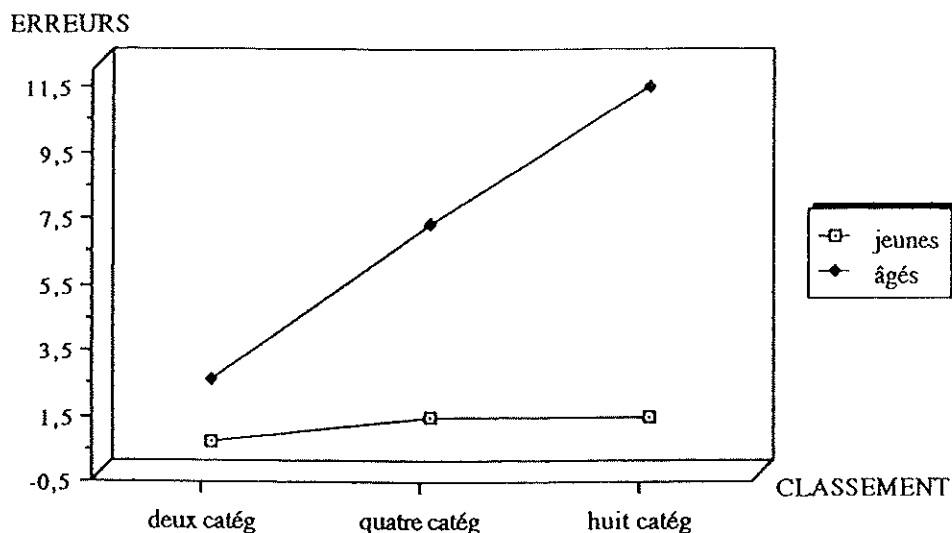
Mesures d'ordre élevé : non-réponses et mots épelés.

Le nombre de non-réponses chez les personnes âgées augmente avec le nombre de catégories de classement mais de manière non significative.

Erreurs de classement.

On constate un effet significatif de l'âge, du nombre de catégories de classement ainsi qu'une interaction entre l'âge et le nombre de catégories (respectivement  $F(1,29)=36.72$ ,  $F(3,87)=54.1$ ,  $F(3,87)=36.41$ ,  $p < .0001$ ) : le nombre d'erreurs de classement augmente avec le nombre de catégories de classement, et ce de façon plus importante chez les sujets âgés (voir fig.3).

Figure 3 : Nombre moyen d'erreurs de classement par groupe en fonction du nombre de catégories



### COMPARAISON DES RESULTATS DES EXPERIENCES 1 ET 2

Effet de la division de l'attention.

Les résultats à la cadence 2 de l'expérience 1 (tâche simple) et ceux du classement à une catégorie dans l'expérience 2 (tâche double) ont été comparés, ce qui a permis d'évaluer l'effet de l'introduction d'une tâche secondaire automatique sur la performance en génération aléatoire.

Cette comparaison révèle un effet significatif de l'âge seulement pour les digrammes ( $F(1,28)=4.93$  ;  $p < .05$ ) et les stéréotypes ( $F(1,28)=7.16$  ;  $p < .01$ ), les sujets âgés produisant plus de digrammes et de stéréotypes que les sujets jeunes. L'effet de l'introduction d'une seconde tâche est significatif pour les stéréotypes ( $F(1,28)=5.1$  ;  $p < .03$ ) et les non-réponses ( $F(1,14)=6.8$  ;  $p < .02$ ), les sujets produisent plus de stéréotypes et de non-réponses dans la condi-

tion avec classement que dans la tâche simple. Finalement, l'interaction entre l'âge et l'attention divisée n'est pas significative.

Effet d'une seconde tâche complexe

Les résultats à la cadence 2 de l'expérience 1 (tâche simple) et ceux du classement à 8 catégories dans l'expérience 2 (tâche double) ont été comparés, ce qui a permis d'évaluer l'effet de l'introduction d'une tâche secondaire complexe sur la performance en génération aléatoire.

Cette comparaison révèle un effet significatif de l'âge pour les digrammes ( $F(1,28)=5.17$  ;  $p < .03$ ) et les stéréotypes ( $F(1,28)=6.13$  ;  $p < .02$ ) et marginalement pour le RNG index ( $F(1,28)=2.97$  ;  $p < .09$ ). L'effet de l'introduction d'une seconde tâche est significatif pour les mesures d'ordre 1 ( $F(1,28)=21.8$  ;  $p < .001$ ) : le caractère non aléatoire est plus marqué dans la double tâche. Finalement, l'interaction entre l'âge et l'attention

divisée est significative pour les mesures d'ordre 1 ( $F(1,28)=3.97$ ;  $p<.05$ ), les digrammes ( $F(1,28)=4.51$ ;  $p<.01$ ) et le RNG index ( $F(1,28)=3.48$ ;  $p<.05$ ): pour ces mesures, la tâche secondaire perturbe plus les sujets âgés que pour les sujets jeunes.

### CONCLUSION

Deux arguments majeurs sont avancés pour expliquer l'absence d'effet de l'âge dans la première expérience et d'interaction dans les deux expériences : l'insuffisance des mesures classiques du caractère aléatoire et l'incapacité des sujets âgés à accomplir correctement la tâche. Le fait que les sujets âgés éprouvent plus de difficultés que les jeunes face à la tâche de génération aléatoire semble apparaître au travers de mesures

indirectes, telles que non-réponses, erreurs de classement et emploi de stratégies systématiques. Les sujets âgés n'ont pas pu faire face aux demandes de la tâche (incapacité à suivre la cadence imposée et à éviter l'emploi de stratégies). Donc, pour autant que l'on accepte de s'écarter quelque peu des mesures plus classiques, la génération aléatoire semble ici permettre d'aborder l'AC et les effets de l'âge sur son fonctionnement. En outre, la comparaison entre les deux expériences montre que l'introduction d'une seconde tâche nécessitant un traitement cognitif profond affecte plus les sujets âgés que les jeunes, contrairement à une seconde tâche de type automatique. Dans l'ensemble ces résultats plaident à la fois en faveur d'une diminution des ressources liées à l'âge et en faveur de difficultés liées à l'âge affectant la flexibilité de l'administrateur central.

### REFERENCES

- BADDELEY (A.D.).— (1966). The capacity for generating information by randomization, *Quarterly Journal of experimental Psychology*, 18, 119-129.
- BADDELEY (A.D.).— (1986). *Working memory*, New York : Oxford University Press.
- EVANS (F.J.).— (1978). Monitoring attention deployment by random number generation : An index to measure subjective randomness. *Bulletin of the Psychonomic Society*, 12, 35-38.
- HICK (W.E.).— (1952). On the rate of gain information. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 4, 11-26.
- SHANNON (C.E.) et WEAVER (W.).— (1949). *The mathematical theory of communication*. Urbana : University of Illinois Press.
- TUNE (G.S.).— (1964a). A brief survey of variables that influence random-generation. *Perceptual and Motor Skills*, 18, 705-710.
- TUNE (G.S.).— (1964b). Response preferences : A review of some relevant literature. *Psychological Bulletin*, 61, 286-302.
- WAGENAAR (W.A.).— (1972). Generation of random sequences by human subjects : A critical survey of literature. *Psychological Bulletin*, 77, 65-72.