CHAPITRE 15

Avec l'âge, il existe un lien entre fonctionnement sensoriel ou sensori-moteur et fonctionnement cognitif [1]

Ulman LINDENBERGER

1. Le rapport entre variables sensorielles ou sensori-motrices, la cognition et l'âge : résultats de méta-analyses

2. Hypothèses explicatives

3. Alternatives empiriques récentes pour expliquer le lien entre variables sensorielles ou sensori-motrices, la cognition et l'âge
   - 3.1. La simulation expérimentale
   - 3.2. Le paradigme des tâches duelles : mémorisation et locomotion
   - 3.3. Analyses longitudinales des relations entre changements cognitifs et sensoriels
   - 3.4. L'hypothèse de la cause commune : formalisation connectioniste

4. Approche globale et approche spécifique peuvent cohabiter

[1] Ce chapitre est basé sur des conférences tenues à la Cognitive Aging Conference (Atlanta, USA, 23-26 avril 1998) et aux 5es Journées d'Étude du Vieillissement Cognitif (Montpellier, 2-3 octobre 1998). Je remercie Paul B. Baltes et Shu-Chen Li pour les nombreuses discussions à propos des questions présentées dans ce chapitre, et Françoise Weber pour son aide à la traduction.

Ce chapitre comporte trois sections majeures. Tout d'abord il est fait mention de méta-analyses qui explorent le lien qui existe avec l'âge entre le fonctionnement sensoriel ou sensori-moteur et la cognition. Les difficultés méthodologiques et théoriques liées à l'interprétation de ce lien sont abordées. Ensuite des hypothèses, avancées par Baltes & Lindenberger (1997), Lindenberger & Baltes (1994) pour expliquer ce lien sont examinées. Pour finir, sont évoquées quelques tentatives récentes qui permettent d'explorer ce lien avec des moyens plus directs comme l'expérimentation, les études longitudinales et la formalisation connectioniste.

1. Le rapport entre variables sensorielles ou sensori-motrices, la cognition et l'âge : résultats de méta-analyses

Les capacités sensorielles ou sensori-motrices sont évaluées essentiellement à partir de la force manuelle et de l'acuité visuelle et auditive. Ces mesures peuvent être considérées comme des caractéristiques de base du fonctionnement sensoriel et sensori-moteur. Elles ont été utilisées dans plusieurs études couvrant un large éventail d'âges. En ce qui concerne la cognition, nous avons considéré des mesures de l'intelligence au sens

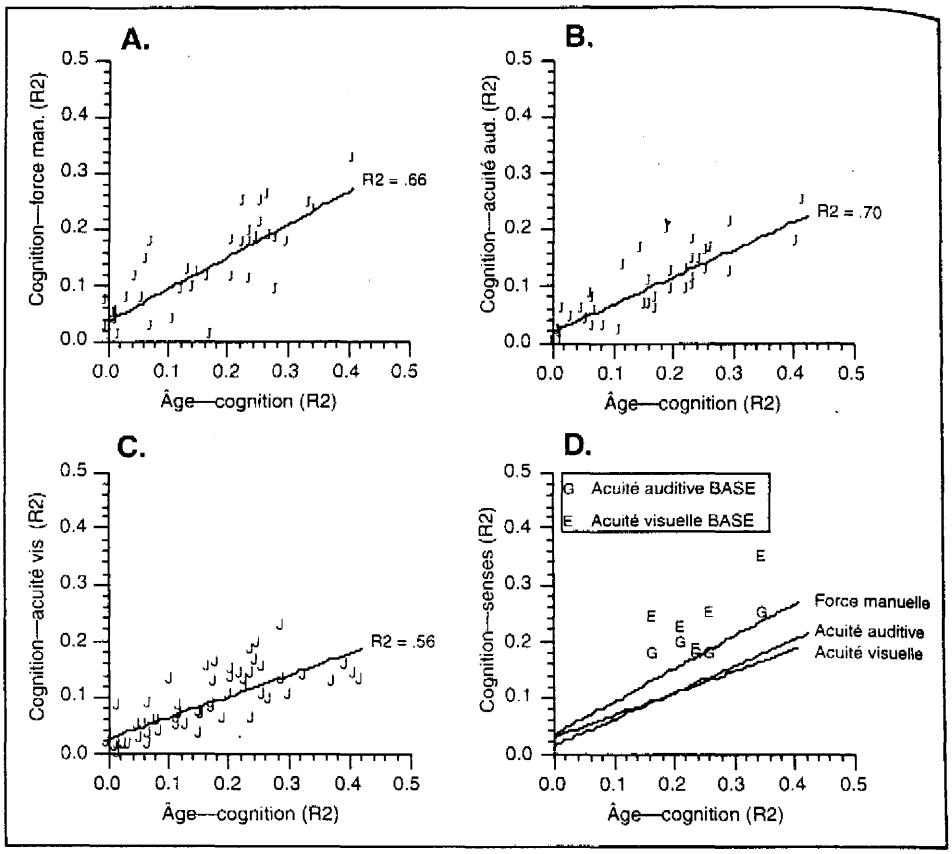

Figure 15.1
Représentations méta-analytiques informelles de la connexion liée à l'âge entre la force manuelle, l'acuité auditive, l'acuité visuelle et des mesures de l'intelligence fluide au sens large du terme *

large du terme (Horn, 1989). Dans chaque cas, nous avons visuellement représenté le carré de la corrélation entre la variable sensorielle ou sensori-motrice et la variable cognitive comme fonction du carré de la corrélation entre la variable cognitive et l'âge.

La Figure 15.1A représente les résultats de la force manuelle. Afin de contrôler les différences de niveau de la force manuelle entre hommes et femmes, les données ont été analysées séparément pour les

* Les figures représentent le carré de la corrélation entre la variable sensorielle ou sensorimotrice et la variable cognitive comme fonction du carré de la corrélation entre la variable cognitive et l'âge. Elles sont nommées informelles parce qu'elles ne prennent pas compte du fait que les études représentées contribuent à un nombre variable d'observations. (1a) Les résultats concernant la force manuelle ; basé sur Dirken (1972), Heron & Chown (1962), Baltes & Lindenberger (pas publié). Les données sont représentées separément pour les deux sexes. (1b) Les résultats concernant l'acuité auditive ; basé sur Anstey, Stankov, & Lord (1993), Baltes & Lindenberger (1997, échantillon jeune), Clark (1960), Cohn, Dustman, & Bradford (1984), Dirken (1972), Heron & Chown (1962), Marsiske, Margrett, & Allaire (1998), et Salthouse et al. (1996). (1c) Les résultats concernant l'acuité visuelle ; basé sur Anstey, Stankov, & Lord (1993), Baltes & Lindenberger (1997, échantillon jeune), Clark (1960), Cohn, Dustman, & Bradford (1984), Dirken (1972), Heron & Chown (1962), Marsiske, Margrett, & Allaire (1998), et Salthouse et al. (1996). (1d) Différences entre les résultats précédents et les résultats rapportés par Baltes & Lindenberger (1997, échantillon âgé).

deux sexes. On observe une relation linéaire positive importante : plus la variance liée à l'âge pour la variable cognitive est étendue, plus forte est la relation à la force manuelle. On note par ailleurs que le point d'intersection avec l'ordonnée se trouve au-dessus de zéro. Il apparaît donc que l'association entre la force manuelle et la cognition est faiblement positive quand la variance liée à l'âge est absente. Pour l'acuité auditive (Figure 15.1B) et l'acuité visuelle (Figure 15.1C), les relations sont semblables à la force manuelle.

Nous pouvons donc conclure à une relation linéaire entre le lien des variables sensorielles ou sensori-motrices, avec la cognition et la variance liée à l'âge. Cette variance liée à l'âge observée dans les mesures cognitives peut avoir de nombreuses causes, par exemple l'amplitude des âges à l'intérieur de chaque échantillon ou des différences liées aux relations et au contenu des mesures. Nous avons contrôlé quelques-uns de ces facteurs de manière informelle et avons eu l'impression qu'ils n'avaient pas d'effets différentiels sur la fonction mise en évidence : quel que soit le facteur augmentant le rapport entre l'âge et la cognition, il a tendance à augmenter le rapport entre la cognition et les trois variables non cognitives considérées.

Il faut souligner cependant que nous avons constaté une particularité concernant les données recueillies à partir de la Berlin Aging Study, BASE (Baltes & Mayer, 1999). Nous avons laissé ces données de côté jusqu'à présent, parce que les relations entre acuité visuelle et auditive et les cinq capacités intellectuelles mesurées par BASE sont plus fortes que celles prédites (Figure 15.1D ; cf. Lindenberger & Baltes, 1994 ; Baltes & Lindenberger, 1997). Il est possible que cette différence provienne de la moyenne d'âge très élevée de l'échantillon de BASE. Bien que quelques études antérieures aient été réalisées avec des échantillons de personnes relativement âgées, BASE est la seule étude dont la moyenne d'âge est de 85 ans.

La connexion liée à l'âge est-elle un artefact statistique ?

Du point de vue statistique, il est nécessaire de se demander si la relation entre le fonctionnement sensoriel et la cognition n'est pas « artefactuelle ». Une relation artefactuelle, au sens statistique du terme, se réfère à une situation dans laquelle deux variables sont liées entre elles par l'intermédiaire d'une troisième. Dans le cas présent, il semble naturel de chercher à identifier cette troisième variable comme liée à l'âge. Dès lors, la relation entre cognition et variables sensorielles ou sensori-motrices devrait être examinée après le contrôle des différences individuelles liées à l'âge (par exemple à l'aide des corrélations partielles ou semi-partielles).

Cependant, les résultats obtenus en procédant ainsi ne fournissent pas une réponse à la question de savoir s'il existe un rapport lié à l'âge entre le fonctionnement sensoriel, sensori-moteur et la cognition. L'âge en soi ne serait pas une variable explicative. Après avoir éliminé statistiquement l'effet de l'âge, on ne connaît toujours pas l'identité des facteurs qui lient la force manuelle, l'acuité visuelle, l'acuité auditive et la cognition, et on ne sait toujours pas si ces facteurs sont, en partie, communs aux domaines sensoriels, sensori-moteurs et cognitifs. Autrement dit, si nous contrôlons l'âge, nous nous comportons comme si les sources et l'étendue des changements ontogénétiques étaient identiques aux sources et à l'étendue des différences individuelles orthogonales à l'âge, ce qui est un présupposé fort et contestable.

Au lieu du contrôle statistique de l'âge, on pourrait utiliser des procédures de régression hiérarchiques linéaires pour répondre à la question. Les modèles de pistes causales et la régression hiérarchique linéaire au sens propre sont des exemples typiques de cette approche. Avec ces procédures, il est possible d'examiner si les différences d'âge dans la cognition sont liées aux différences individuelles dans le fonctionnement sensoriel. En collaboration avec Paul B. Baltes entre autres, nous avons utilisé de telles procédures (Lindenberger & Baltes, 1994, 1997 ; Baltes & Lindenberger, 1997). Sans exception, de grandes proportions (jusqu'à 100 %) de la variance liée à l'âge dans la cognition ont été expliquées par des différences individuelles dans le fonctionnement sensoriel et sensori-moteur.

Incontestablement, les procédures de régression hiérarchique permettent de rendre compte de la colinéarité du rapport entre la cognition et le fonctionnement sensoriel avec l'âge. Mais elles présentent une limitation fondamentale : ces procédures nous montrent ce qu'il en serait si la présuppositon d'un rôle causal de la variable médiatrice était vraie, mais elles ne n'apportent pas de preuve sur la vérité de cette présomption (cf. Lindenberger & Pötter, 1998).

Nous allons illustrer ce problème à l'aide d'un exemple numérique aux trois variables, âge, A et B (Lindenberger & Pötter, 1998). Âge est la variable exogène, B la variable médiatrice et A la variable dépendante. Selon la logique de la régression hiérarchique linéaire, le modèle indique jusqu` à quel point la variance liée à l'âge dans A reste inexpliquée après que l'on ait contrôlé l'influence de la variable B. Dans l'exemple représenté sur la Figure 15.2A, la corrélation avec l'âge est de $r = .25$ pour A et de $r = .75$ pour B, et la corrélation partielle entre A et B contrôlée pour l'âge est de zéro. Le modèle suggère que B n'est pas une variable médiatrice parfaite des différences dues à l'âge dans A.

Il est possible de décomposer les effets de B et de l'âge sur A en effets uniques et communs pour calculer la fraction des effets communs

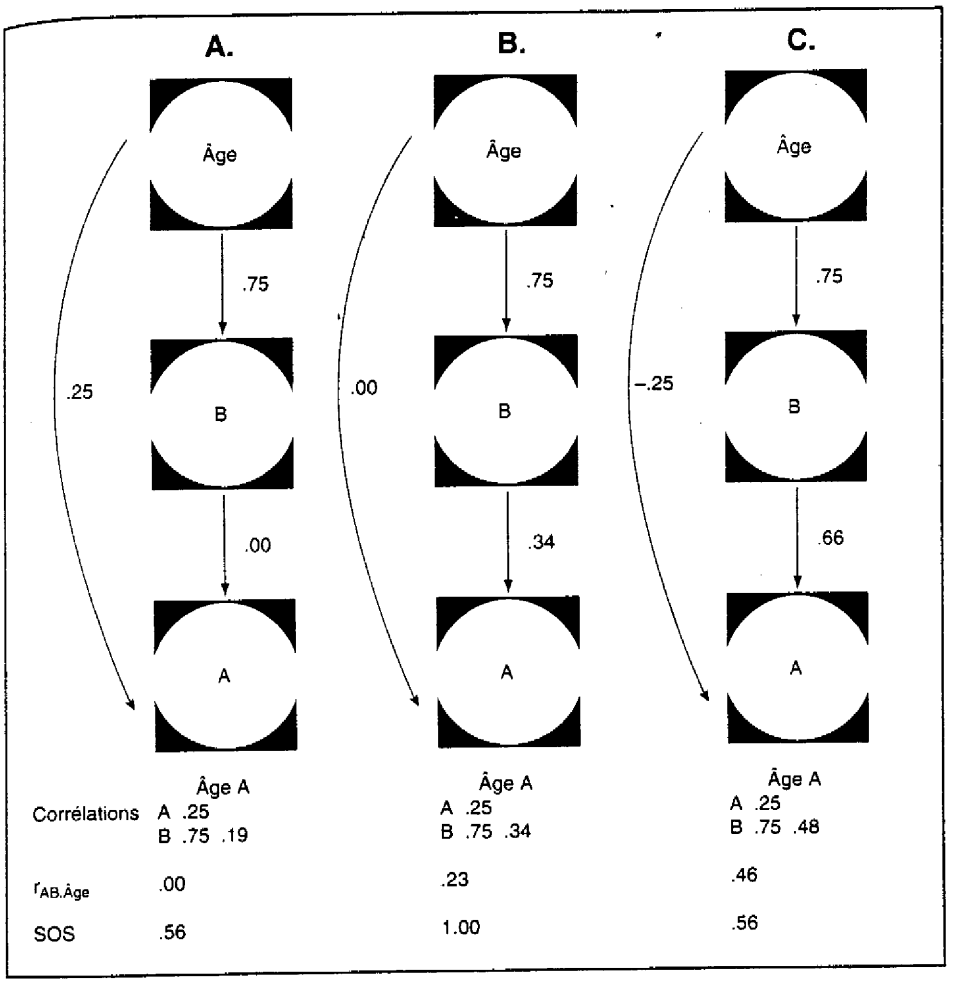

Figure 15.2
Trois modèles de pistes causales fictifs. Les modèles servent à illustrer l'influence de la corrélation partielle entre la variable médiatrice et la variable dépendante sur la capacité de la variable médiatrice à prédire la variance liée à l'âge dans la variable dependante. SOS se réfère aux effets communs sur les effets simples (voir texte). Cf. Lindenberger & Pötter (1998)

sur des effets simples. Cette fraction, appelée SOS (« shared over simple ») sur la Figure 15.2, indique la proportion de la variance liée à l'âge dans A prédite par B. Dans le cas présent, 56 % de la variance liée à l'âge dans A est prédite par des différences individuelles dans B.

La Figure 15.2B montre une autre situation fictive. Maintenant, la corrélation partielle entre A et B est passée de zéro à $r_{AB.Âge}$ = .23. En conséquence, la corrélation simple entre A et B est maintenant de .34 au lieu de .19. Mais les relations des deux variables avec l'âge n'ont pas été modifiées. La conséquence du changement de la corrélation partielle, B est devenue une médiatrice parfaite de la variance liée à l'âge ; 100 % de la variance due à l'âge dans A est déterminée par des différences individuelles dans B.

La Figure 15.2C ajoute un troisième modèle. La corrélation partielle entre A et B a continué à augmenter, passant de .23 à .46. En conséquence, la piste causale directe de l'âge à A est réapparue avec un signe négatif : maintenant, elle est de –.25 au lieu de +.25. En dépit du fait que

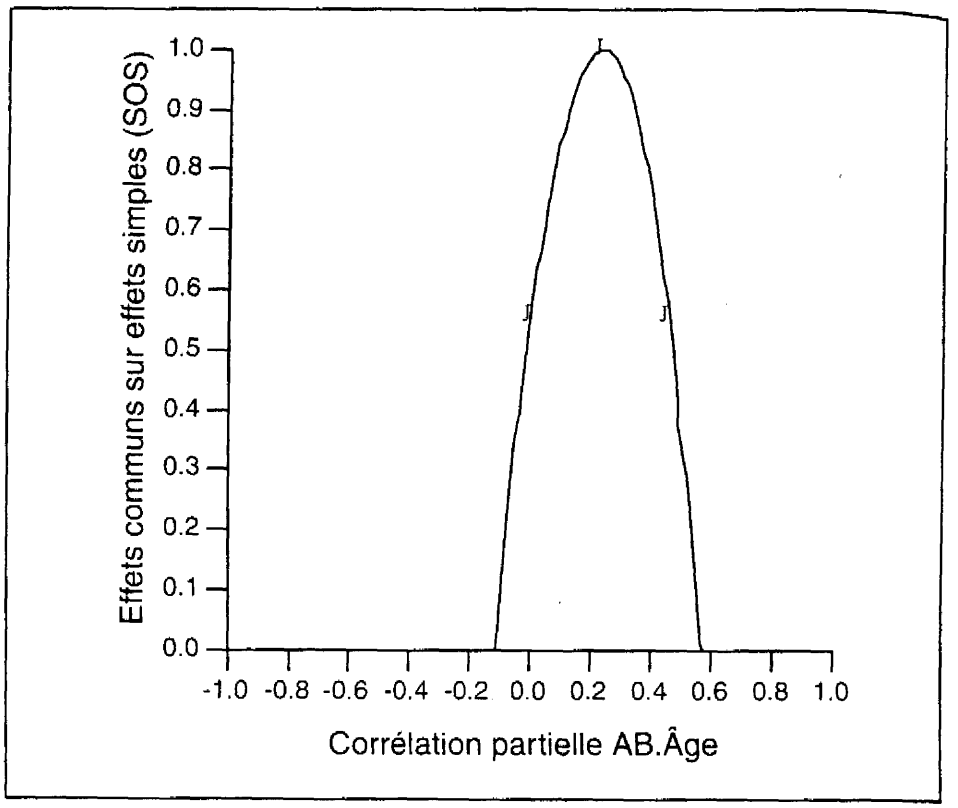

Figure 15.3
Effets communs sur effets simples (SOS), quand la relation d'âge de la variable médiatrice est de .75, et la relation d'âge de la variable dépendante est de .25. Cf. Lindenberger & Pötter (1998)

les trois corrélations simples sont positives, nous observons donc un cas de suppression négative. SOS atteint de nouveau .56.

Sur la Figure 15.3, nous avons représenté les effets communs sur les effets simples comme fonction de la corrélation partielle entre A et B, lorsque la relation de B avec l'âge est de .75 et la relation de A avec l'âge est de .25. Comme suggéré par les trois exemples précédents (marqués par des cercles sur la figure), la relation entre les effets communs sur les effets simples et la corrélation partielle est quadratique. En d'autres termes, les effets directs de l'âge sur A s'accroissent et décroissent comme fonction quadratique de la corrélation partielle entre A et B. La formule mathématique correspondante a été présentée dans un article récent (Lindenberger & Pötter, 1998).

À notre avis, cette analyse limite l'utilité des procédures de régression hiérarchiques linéaires pour la psychologie du développement en général, et l'étude de la relation entre le fonctionnement sensoriel, la cognition et l'âge, en particulier. À moins de vouloir faire de fortes présomptions causales, la valeur principale de telles analyses est de réitérer la colinéarité parmi ces trois variables, et non de clarifier les chaînes causales ontogénétiques. Cet argument s'applique à tous les programmes de recherche qui s'appuient en premier lieu sur ce type d'ana-

lyse statistique, comme par exemple les travaux de Salthouse sur le rôle de la vitesse du traitement dans le vieillissement cognitif (1996 ; voir aussi la « corrélation quasi partielle » introduite par Salthouse, 1994, et critiquée par Lindenberger & Pötter, 1998).

En conséquence, nous nous trouvons dans une impasse méthodologique. Lorsque nous contrôlons l'âge dans les études transversales, nous éliminons le phénomène qui nous intéresse. Lorsque nous gagnons trop de confiance dans les résultats de la régression hiérarchique linéaire, nous refusons de reconnaître que les résultats de ces analyses sont fortement influencés par les relations partielles entre variable médiatrice et variable dépendante.

2. Hypothèses explicatives

Avant de proposer des méthodes empiriques alternatives pour nous aider à surmonter cette impasse, il est utile de discuter le problème des relations futiles sur le plan conceptuel. Lorsque nous affirmons qu'une relation est futile, nous voulons dire que la relation ne nous intéresse pas du point de vue théorique. En effet, il est possible que la troisième variable influençant les domaines sensoriels, sensori-moteurs et cognitifs se situe à un niveau tellement général que la recherche sur le vieillissement cognitif ne peut apporter de réponse suffisamment précises. La Figure 15.4 représente une caricature de cette situation. Elle distingue trois niveaux : âge, organes et fonctions. Au niveau des organes se trouvent le cerveau et les reins, et au niveau des fonctions la cognition et la purification du sang. (partons du principe que ces relations sont correctes.) La figure suggère que les causes proximales des changements d'âge dans la cognition et les causes proximales des changements d'âge dans la purification du sang n'ont rien à voir les unes avec les autres. Les deux processus de vieillissement n'ont pas de base organique commune.

Cependant, la situation semble s'avérer plus intéressante dans le cas du fonctionnement sensoriel, sensori-moteur et cognitif. De nombreuses études suggèrent que les différences sensorielles et sensori-motrices dues à l'âge ne sont pas limitées aux aspects non-neuraux des organes sensoriels mais sont dues, en grande partie, au vieillissement du système nerveux (Fozard, 1990). Il semble donc qu'une partie plus au moins étendue des facteurs causaux du vieillissement cognitif, sensoriel et sensori-moteur soit commune à ces trois domaines fonctionnels. Cette conjecture nous a amené à formuler l'hypothèse de la cause commune (*common-cause hypothesis* ; cf. Baltes & Lindenberger, 1997 ; Lindenberger &

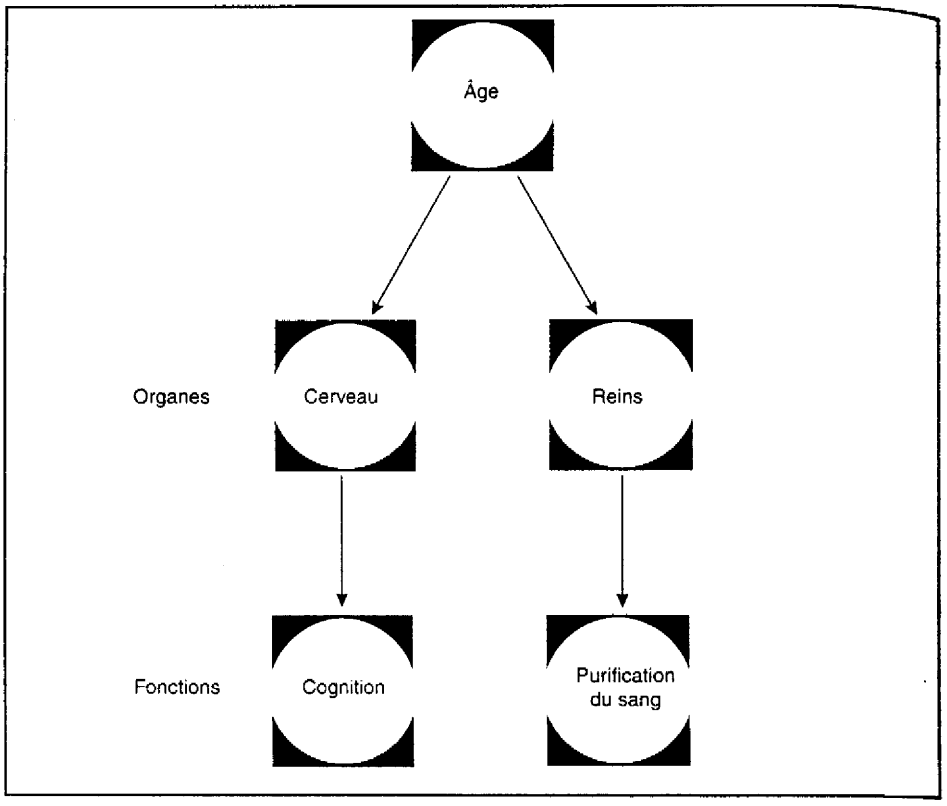

Figure 15.4
Que pourrait signifier : nommer une connexion liée à l'âge entre deux variables, futile ou fausse ? La figure donne un exemple fictif ; nous ne présupposions pas qu'il corresponde à la réalité

Baltes, 1994). L'hypothèse de la cause commune fait appel à une troisième variable, parce qu'elle identifie la cause commune avec des variations de l'intégrité fonctionnelle du cerveau, dues préalablement à l'âge.

Cependant, l'hypothèse de la cause commune ne spécifie pas la nature de cette cause commune (ou de cet ensemble de causes communes). Ce manque de spécification peut être considéré comme une limitation, et nous avons récemment proposé une forme plus précise de notre hypothèse pour répondre à cette critique (Li & Lindenberger, sous presse) que nous reprendrons plus loin. D'autre part, la recherche sur la cause commune est encore à un stade où la base empirique du phénomène doit être établie. De nombreuses recherches peuvent être entreprises pour arriver à cerner l'existence probable d'une telle cause, même si nous ignorons son identité. En particulier, nous refusons d'assimiler des indicateurs au niveau du comportement, qu'ils soient sensoriels ou cognitifs, avec la cause commune elle-même. Si nous le faisions, nous aurions tendance à égaliser des changements dans l'indicateur d'une fonction spécifique avec des changements dans l'organe servant cette fonction, et ceci nous semble injustifié en ce moment. Par exemple, il semble désormais bien clair que la vitesse de traitement mesurée à l'aide de tests psychométriques n'est pas un indicateur direct de la vitesse neurale (Bashore, Ridderinkhof & van der Molen, 1997).

Le développement de l'hypothèse de la cause commune était, nous l'admettons, en grande partie un processus inductif lié aux résultats transversaux et corrélatifs de BASE. Plus précisément, trois caractéristiques de ces données nous ont forcé à formuler cette hypothèse (cf. Baltes & Lindenberger, 1994 ; Lindenberger & Baltes, 1994, 1997) : premièrement, la dédifférentiation de la direction, c'est-à-dire le fait que toutes les facultés intellectuelles, les facultés « cristallisées » (Horn, 1989) ou « pragmatiques » (Baltes, 1997) incluses, montrent des relations négatives avec l'âge ; deuxièmement, la dé-différentiation des covariances intra-systémiques, ou le fait que les cinq facultés intellectuelles mesurées dans BASE montrent des inter-corrélations beaucoup plus élevées et homogènes pour un âge avancé que durant l'âge adulte ; et, troisièmement, la dé-différentiation de la covariance inter-systémique, ou le fait que les acuités visuelle et auditive sont plus étroitement liées au fonctionnement intellectuel pour un âge avancé que pour l'âge adulte.

En plus de l'hypothèse de la cause commune, plusieurs autres hypothèses ont été proposées pour expliquer la connexion liée à l'âge entre le fonctionnement sensoriel, sensori-moteur et intellectuel (cf. Lindenberger & Baltes, 1994). Nous voudrions évoquer trois d'entre elles : l'hypothèse de la privation sensorielle et l'hypothèse de la saturation cognitive.

D'après l'hypothèse de la privation sensorielle, des changements négatifs dans le fonctionnement sensoriel réduisent la probabilité d'échanges intellectuels significatifs avec l'environnement. Avec le temps, ce manque de stimulation sensorielle conduit à des changements négatifs dans le cerveau, comparables à un muscle qui s'atrophie lorsqu'il est insuffisamment stimulé. D'un point de vue de l'intervention pratique, cette hypothèse a un côté positif, car les changements fonctionnels au niveau des organes sensoriels sont probablement plus facilement remédiables que les changements qui ont affecté l'intégrité du cerveau.

Selon l'hypothèse de la privation sensorielle, nous devrions observer des relations longitudinales asymétriques entre les fonctions sensorielles et cognitives car le statut sensoriel antérieur prédit plus facilement des détériorations cognitives que ce que le statut cognitif antérieur prédit des détériorations sensorielles. Nous devrions aussi nous attendre à ce que la prescription d'aides auditives, par exemple, ait des effets bénéfiques à long terme sur le fonctionnement cognitif. Cependant, à notre connaissance, il n'y a pas beaucoup de données qui soutiennent ces prédictions.

L'hypothèse de la saturation cognitive des performances sensorielles et sensori-motrices due au vieillissement cérébral (Lindenberger, Marsiske, & Baltes, 1998) s'appuie sur l'observation que le vieillisse-

ment est souvent associé à des réductions de la précision et de l'automaticité des aspects élémentaires et de la coordination des processus sensoriels et sensori-moteurs. En conséquence, il est postulé que l'aspect attentionnel dans l'exécution des tâches sensorielles et sensori-motrices devient de plus en plus important avec l'âge pour atténuer les conséquences de ces réductions. C'est ainsi que, pour traverser la rue à un carrefour, une personne âgée de 80 ans aura besoin en moyenne de beaucoup plus d'attention qu'un sujet de 20 ans. Notons au passage que l'hypothèse de la saturation cognitive et celle de la cause commune ne s'excluent pas : les aspects neuraux sous-jacents au déclin des systèmes sensoriels et sensori-moteurs engendrent une saturation cognitive des habiletés sensorielles et sensori-motrices se prêtent bien à une interprétation en termes d'une cause commune.

3. Alternatives empiriques récentes pour expliquer le lien entre variables sensorielles ou sensori-motrices, la cognition et l'âge

Nous allons à présent examiner la plausibilité des hypothèses énoncées, d'abord en utilisant des méthodes empiriques qui échappent à la critique des analyses corrélationnelles présentées plus haut. Pour cela, nous présenterons des exemples illustrant l'utilité de trois types de recherche: (a) la simulation expérimentale ; (b) le paradigme des tâches duelles (voir aussi de Ribaupierre, ce volume) ; (c) les modèles de pistes causales longitudinaux.

3.1. La simulation expérimentale

Une interprétation plus ou moins triviale des données qui rendent compte de l'existence d'une corrélation entre fonctionnement sensoriel et cognitif dans l'âge avancé consiste à dire qu'une grande partie de cette relation est la conséquence de variables sensorielles qui compromettent l'évaluation des mesures intellectuelles. En effet, si un sujet n'est pas en mesure d'entendre les instructions ni de voir les items d'un test cognitif, il n'obtiendra pas un bon résultat. À partir d'une analyse de l'ensemble de nos données corrélatives transversales (cf. Lindenberger & Baltes, 1994), nous avons de bonnes raisons de rejeter cette interprétation. Par exemple, l'association entre cognition et fonctionnement sensoriel ne diffère pas entre des sujets avec des performances visuelles et

auditives inférieures au médian de l'échantillon, et des sujets avec des performances supérieures à ce médian. En outre, la relation entre l'acuité visuelle, l'acuité auditive et la cognition ne dépendent pas ou très peu, de la modalité sensorielle impliquée dans les tests cognitifs. Par exemple, les tests de la fluidité verbale, aux exigences sensorielles extrêmement basses, étaient aussi fortement liés aux acuités visuelle et auditive que d'autres tests avec une composante sensorielle plus importante.

Néanmoins, nous avons réalisé une étude expérimentale qui respecte la logique de la simulation développementale pour obtenir des informations plus concluantes sur ce problème (Lindenberger & Baltes, 1995). En particulier, nous avons réduit l'acuité visuelle des sujets d'âge moyen avec des lunettes opaques et l'acuité auditive avec des casques anti-bruit (Lindenberger, Scherer & Baltes, 1998). En condition expérimentale, l'acuité sensorielle des sujets ne différait pas de l'acuité sensorielle d'un

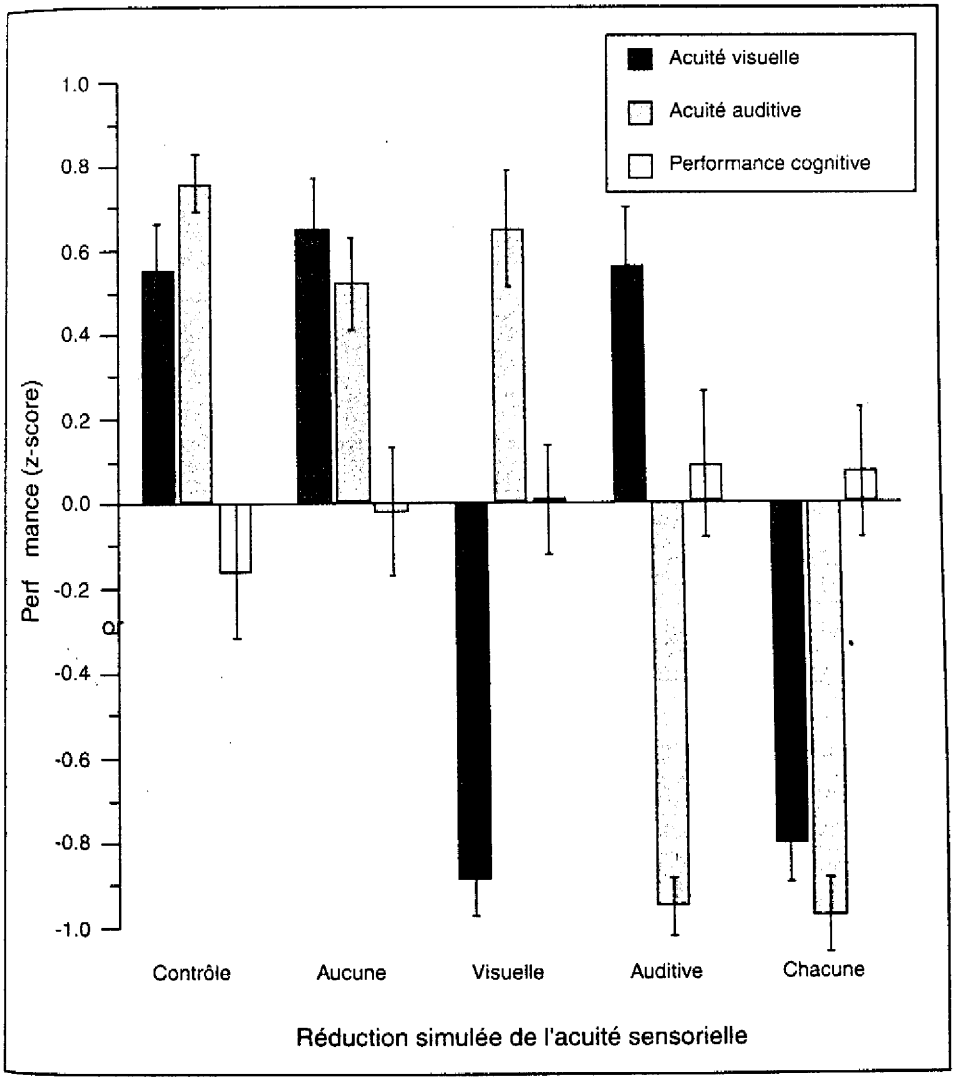

Figure 15.5
Les réductions simulées de l'acuité visuelle et de l'acuité auditive n'exercent pas d'effet negatif sur les performances cognitives, ce qui suggère que les facteurs de performance sensoriels opérant durant l'administration des tests cognitifs utilisés dans nos recherches ne représentent pas une explication plausible du lien entre fonctionnement sensoriel et cognition dans l'âge avancé. Cf. Lindenberger, Scherer & Baltes (1998)

échantillon de personnes âgées (Marsiske, Delius, Maas, Lindenberger, Scherer, & Tesch-Römer, 1999). Ensuite, les performances intellectuelles des sujets ont été examinées avec les mesures que nous avons utilisées dans nos travaux précédents pour établir la relation corrélationnelle entre fonctionnement sensoriel et cognition. Si les facteurs relatifs aux variables sensorielles jouaient un rôle important, les sujets à l'acuité sensorielle réduite devraient montrer des performances cognitives inférieures à celles des groupes contrôle. Ce n'est pas le cas (Figure 15.5). On peut en conclure que les variables sensorielles qui opèrent durant l'administration des tests cognitifs utilisés dans nos recherches, ne peuvent pas constituer une explication plausible du lien entre fonctionnement sensoriel et cognition dans l'âge avancé.

3.2. Le paradigme des tâches duelles : mémorisation et locomotion

Selon l'hypothèse de la saturation cognitive, la chute des performances associée à l'exécution simultanée d'une tâche cognitive et d'une tâche sensori-motrice comparée à l'exécution séparée de ces tâches devrait augmenter avec l'âge. Pour étudier ce phénomène, nous avons combiné une tâche de mémorisation et une tâche de locomotion (les détails de cette étude sont décrits dans Lindenberger, Marsiske, & Baltes, 1998). Nous avons tout d'abord entraîné des adultes de trois catégories d'âge (20-30 ans, 40-50 ans et 60-70 ans) à utiliser la méthode des lieux, une méthode mnémotechnique pour l'encodage et le rappel sériel de listes de mots (Bower, 1970). Tous les sujets ont été entraînés jusqu'à atteindre un critère de performance établi par l'expérimentateur. Par conséquent, le nombre des séances d'entraînement différait selon la catégorie d'âge, les sujets les plus âgés ayant besoin de plus de séances pour atteindre le critère. Pendant la phase d'entraînement de la méthode mnémotechnique, les sujets étaient assis.

Au post-test, l'encodage avait lieu sous quatre conditions expérimentales différentes : en position assise, debout, en marchant sur un circuit ovale ou en marchant sur un circuit à forme apériodique. De la même manière, la vitesse et la précision de la marche ont été évaluées avec et sans tâche d'encodage. La Figure 15.6 représente les coûts de tâche duelle dans le domaine de la mémoire, c'est-à-dire la chute des performances mnémoniques quand les sujets marchaient sur l'un des deux circuits par rapport à la performance moyenne en position assise et en position debout (qui ne se distinguaient pas l'une de l'autre). Nous observons une augmentation nette des coûts cognitifs avec l'âge. Cette augmentation est déjà visible dans le groupe d'âge moyen (40-50 ans) et ne s'accentue pas de façon significative par la suite. Il faut noter ici que

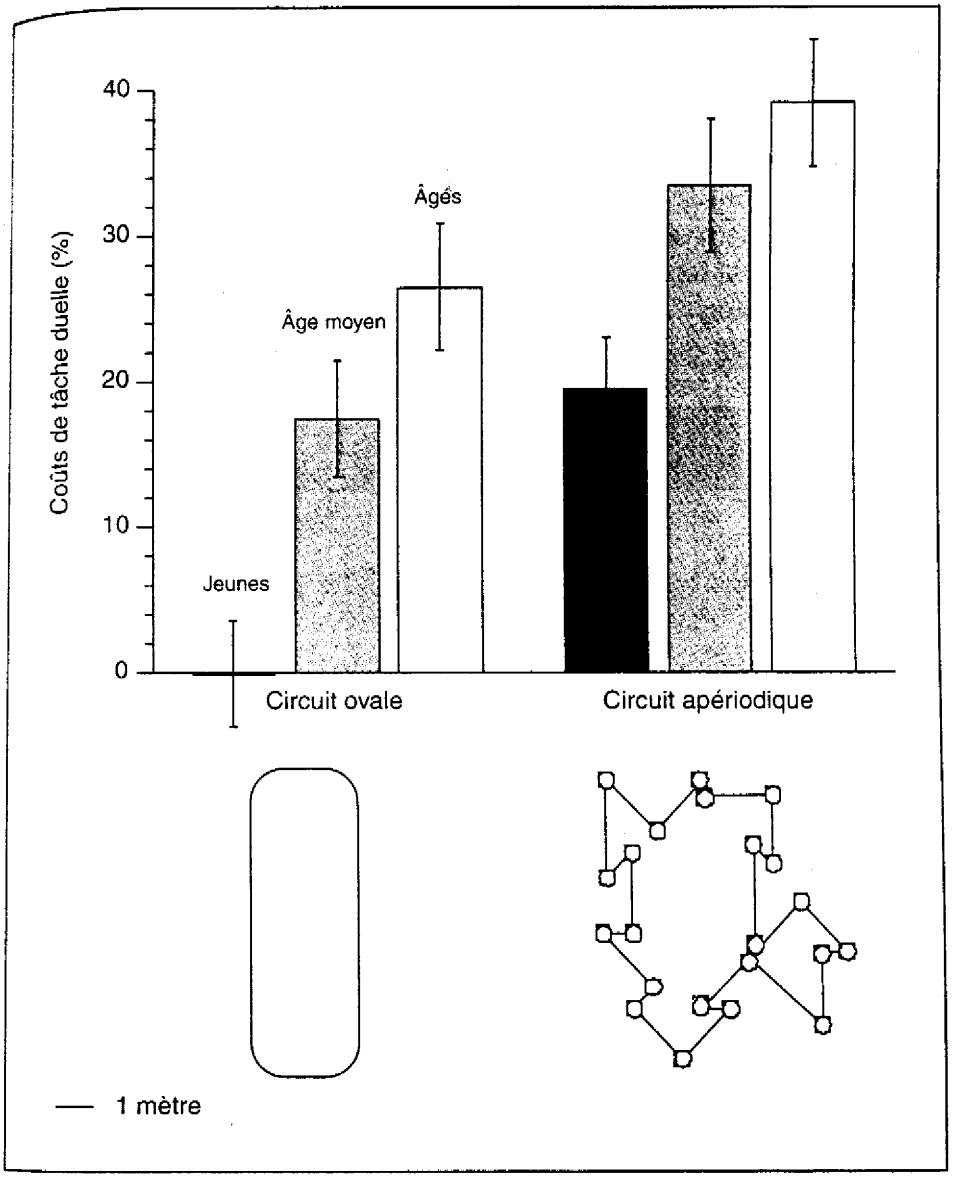

Figure 15.6
Différences liées à l'âge des coûts de tâche duelle dans le domaine de la mémoire quand les sujets marchent en même temps. Cf. Lindenberger, Marsiske & Baltes (1998)

24 des 72 sujets dans le groupe plus âgé n'ont pas participé au post test car ils n'avaient pas atteint le critère de performance. Pour cette raison, le manque de différences entre les sujets d'âge moyen et les sujets âgés est probablement dû, en partie, au fait que les sujets âgés sont positivement sélectionnés. Il est à noter aussi que les jeunes sujets ne montrent pas de coûts de la tâche duelle dans le domaine de la mémoire lorsqu'ils marchent sur le circuit ovale, qui est à priori moins complexe et, par conséquent, cognitivement moins exigeant.

La Figure 15.7 révèle les coûts des tâches duelles pour deux aspects du fonctionnement sensori-moteur, la vitesse et la précision du comportement locomoteur.[2] En ce qui concerne la vitesse de marche du sujet,

[2] La précision de la marche se réfère à la capacité du sujet de ne pas marcher en dehors de la piste. Le score correspondant se base sur le nombre de pas au dehors du circuit ; ce nombre a été inversé et transformé pour obtenir une variable gaussienne de la précision de la marche. L'instruction donnée pour la marche traitait pareillement vitesse et précision.

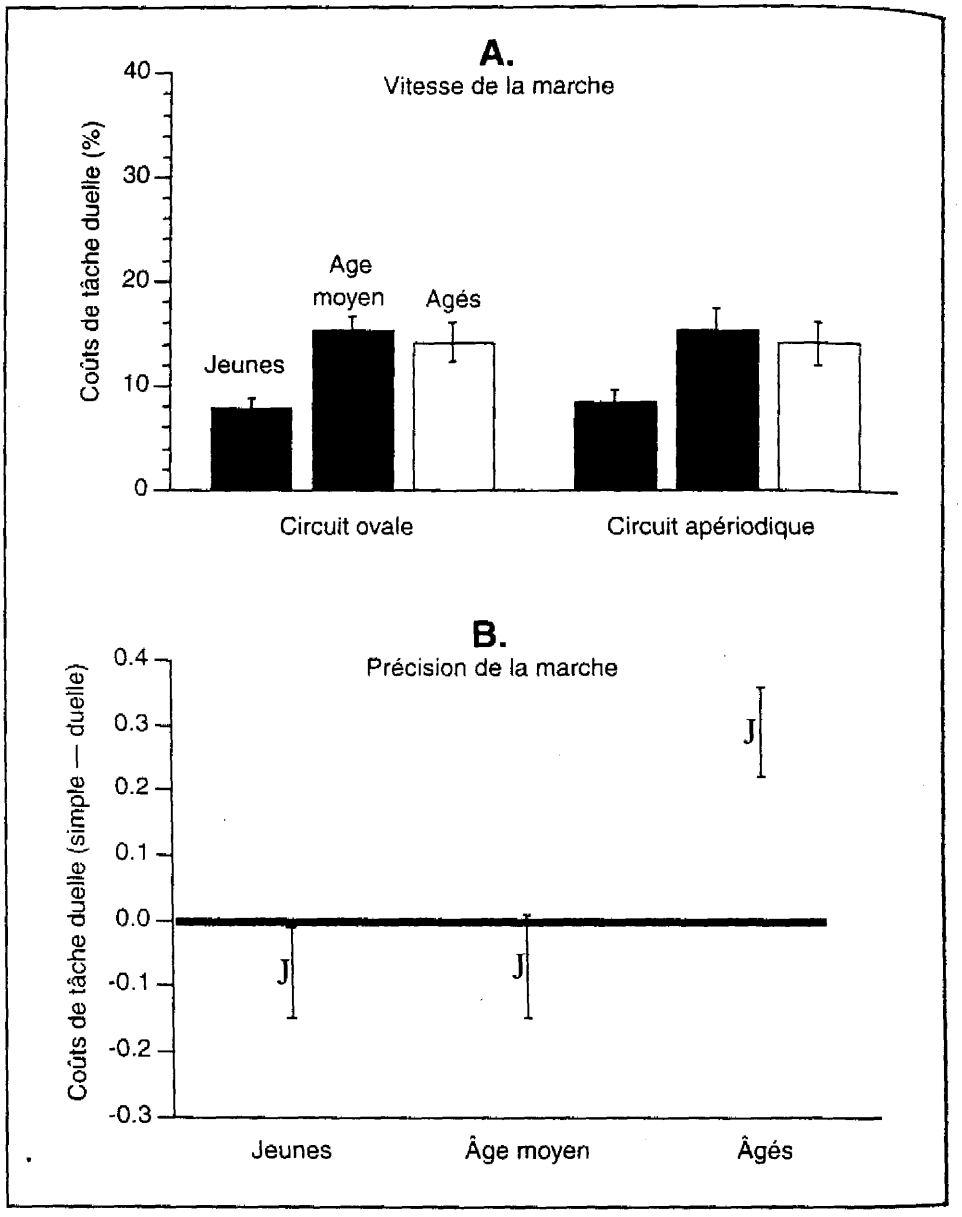

Figure 15.7
Différences liées à l'âge des coûts de tâche duelle dans le domaine sensorimoteur quand les sujets memorisent en même temps.
Cf. Lindenberger, Marsiske & Baltes (1998)

les différences d'âge dans les coûts ressemblent aux différences observées dans le domaine de la mémoire, mis à part que les jeunes sujets sont sensibles au circuit ovale. En ce qui concerne la précision, c'est-à-dire la capacité d'éviter de marcher en dehors du circuit, on constate que la plus grande différence se situe entre les sujets d'âge moyen et les sujets âgés, et non entre les sujets jeunes et ceux d'âge moyen. La tendance des sujets âgés à sortir du circuit en situation de tâche duelle, nous paraît particulièrement importante dans une perspective appliquée, notamment pour la prévention des chutes (cf. Lundin-Olsson, Nyberg & Gustafson, 1997).

Le paradigme des tâches duelles sert à étudier les changements liés à l'âge dans les exigences attentionnelles du comportement sensori-moteur. Les résultats obtenus sont en accord avec l'hypothèse de la saturation cognitive. Cela n'implique pas que toute performance sensori-motrice se réalise sans effort cognitif chez les adultes jeunes ; il suffit d'imaginer un jeune alpiniste essayant d'appliquer la méthode des lieux en escaladant une montagne ! Disons plutôt que le degré de saturation cognitive et l'étendue des tâches sensori-motrices qui sont affectées par cette saturation s'accroissent durant l'âge adulte. Ce processus se manifeste déjà quand on demande aux adultes d'âge moyen d'effectuer une tâche de mémorisation et de marcher en même temps.

3.3. Analyses longitudinales des relations entre changements cognitifs et sensoriels

Après avoir montré l'utilité du paradigme expérimental des tâches duelles, afin d'étudier la relation entre fonctionnement sensori-moteur et cognitif, nous allons maintenant envisager l'intérêt que présente la méthode d'analyse des changements longitudinaux. L'hypothèse de la cause commune exige que les différences interindividuelles dans les changements sensoriels et cognitifs soient corrélées, surtout chez les sujets âgés où l'influence de la cause commune devrait être grande, comparée aux influences spécifiques. Par exemple, des sujets qui vivent un plus grand déclin de l'acuité visuelle devraient souffrir d'un plus grand déclin des performances cognitives et vice versa.

Les analyses suivantes sont basées sur la première et la troisième série d'observation longitudinale de BASE (Lindenberger, Li & Baltes, 1999). Sur les 516 sujets testés lors de la première série, 206 ont été testés à nouveau, quatre ans plus tard environ. Les analyses préliminaires présentées ici se concentrent sur ces 206 sujets et se bornent à trois facteurs : la vitesse de traitement, la fluidité verbale et l'acuité visuelle. Chacun de ces facteurs a été mesuré par deux indicateurs.[3] La fluidité verbale a été prise en considération, car les exigences sensorielles des tests mesurant cette capacité sont minimes, dés lors les relations entre fluidité verbale et acuité visuelle ne s'expliquent pas facilement par des facteurs de performance sensorielle.

L'hypothèse de la cause commune s'intéresse aux intercorrélations des changements sensoriels et intellectuels, c'est-à-dire à l'intercorrélation des différences individuelles. Du point de vue statistique, le problème majeur lors de l'établissement de ces intercorrélations c'est que l'information sur les différences interindividuelles ne peut être mise en relation quand elle est basée sur deux séries seulement. Plus précisément, la solution optimale de ce problème est d'augmenter le nombre

[3] Notons que trois indicateurs seraient préférables à deux, pour assurer l'identification locale du modèle.

des observations pour obtenir des estimations plus reliables et valides des trajectoires du changement de chaque individu (cf. MacCallum, Kim, Malarkey, & Kiecolt-Glaser, 1997). Il existe cependant une méthode, décrite par McArdle et Nesselroade (1994), pour minimiser le problème lié à la difficulté de relier des scores de différences basés sur deux séries. L'application de cette méthode au problème actuel est représentée sur la Figure 15.8. Le triangle symbolise le fait que le modèle inclut les moyennes, et pas seulement les covariances. L'idée clé de la méthode est qu'on soustrait la performance de la deuxième série à celle de la première au niveau des facteurs plutôt qu'au niveau des variables observables. Les facteurs latents établis de cette manière sont une représentation directe et reliable du changement, et les variances de ces facteurs représentent les différences interindividuelles dans le changement intra-individuel. La Figure 15.8 montre seulement la partie du modèle qui se réfère à la vitesse du traitement (dans le modèle, l'acuité visuelle, la fluidité verbale et l'âge ont également été pris en compte.

Nous sommes désormais en mesure d'examiner les intercorrélations des changements entre les trois facteurs (Tableau 15.1). Selon l'hypothèse de la cause commune, ces relations devraient être significatives et fortes. En réalité, les relations sont statistiquement significatives mais pas très prononcées. Par exemple, les changements dans l'acuité visuelle et dans

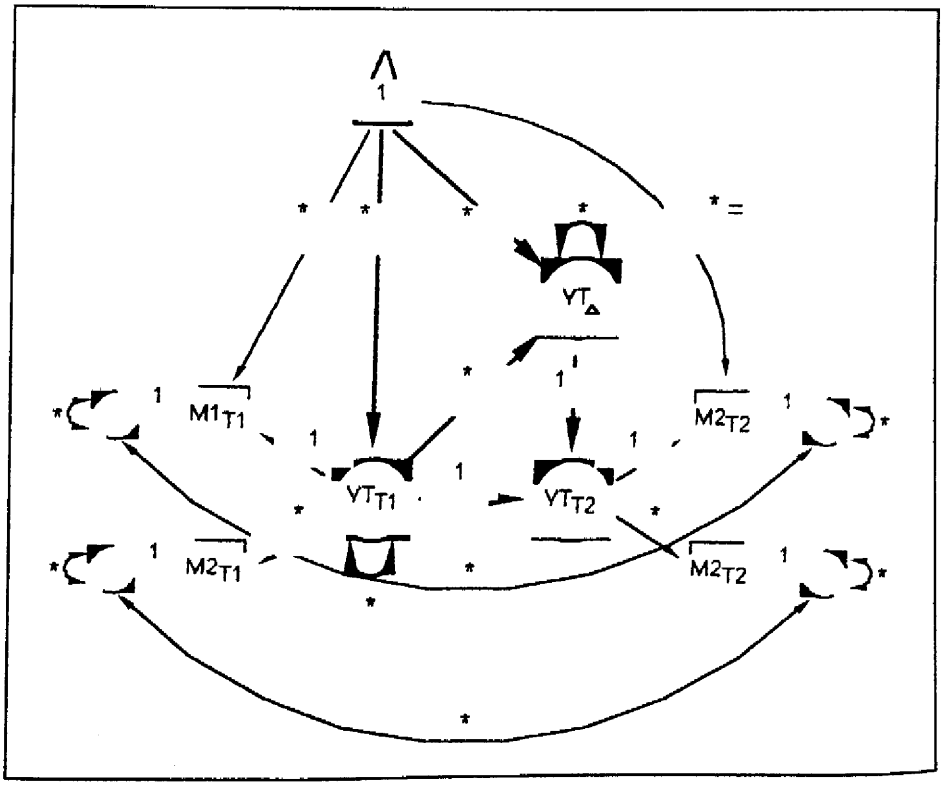

Figure 15.8
La partie d'un modèle longitudinal de pistes causales, pour étudier les corrélations entre les changements sensoriels et cognitifs au niveau des construits latents. VT = Vitesse de traitement ; T1 = première occasion ; T2 = deuxième occasion ; = différence longitudinale au niveau des construits latents ; M1, M2 = variables observées. La structure du modèle est basée sur le travail de McArdle & Nesselroade (1994)

Tableau 15.1
Intercorrélations des changements au niveau des construits latents dans la vitesse du traitement, la fluidité verbale et l'acuité visuelle

	Changement		
	Vitesse du traitement	**Fluidité verbale**	**Acuité visuelle**
Changement			
Vitesse du traitement			
Fluidité verbale	**.35**		
Acuité visuelle	**.32**	**.42**	
Première occasion			
Vitesse du traitement	−.16	.11	.01
Fluidité verbale	.02	−.02	.05
Acuité visuelle	−.04	−.13	−.04
Deuxième occasion			
Vitesse du traitement	**.54**	**.33**	.22
Fluidité verbale	**.19**	**.48**	.25
Acuité visuelle	.13	.09	**.46**
Âge	−.16	−.11	−.09

Note : Indices d'ajustement du modèle, χ^2= 65.59, df = 42, p = 0.01, CFI = 0.98. Le modèle est basé sur deux occasions d'observation longitudinale. La moyenne d'âge est de 79.9 ans à la première et de 83.7 ans à la deuxième occasion. N = 206. Les chiffres en gras indiquent des relations significatives (p < .05).

la fluidité verbale sont corrélés à r = .42. Il est probable que les corrélations des changements sensoriels et cognitifs seront plus prononcées quand les analyses prendront en compte deux exigences méthodologiques additionnelles : (a) un nombre plus élevé et une étendue temporelle plus grande d'observations longitudinales ; (b) une considération simultanée des changements chez les sujets encore en vie et des différences entre ces sujets encore en vie et les sujets décédés (pour éviter qu'une partie croissante de la cause commune nous échappe car il existe une corrélation entre mortalité et vieillissement cognitif (Lindenberger, Gilberg, Little, Nuthmann, Pötter & Baltes, 1999 ; cf. Siegler & Botwinick, 1979).

3.4. L'hypothèse de la cause commune : formalisation connectioniste

Jusqu'ici nous avons présenté des alternatives empiriques à l'analyse corrélative des données pour étudier le rapport lié à l'âge entre fonctionnement sensoriel et cognitif : la simulation expérimentale, les tâches duelles et l'analyse des intercorrélations des changements longitudinaux. Ces approches servent à explorer la base empirique du

lien entre le vieillissement cognitif, sensoriel et sensori-moteur. Cependant, ces approches ne nous permettent pas de préciser le contenu théorique de l'hypothèse de la cause commune. Il est donc nécessaire de compléter ces travaux empiriques avec une approche plus conceptuelle.

La formalisation est une méthode qui permet de transformer une hypothèse heuristique en une théorie précise. En ce qui concerne l'hypothèse de la cause commune, avec ma collègue Shu-Chen Li, nous avons commencé à aborder cette question en utilisant des simulations connectionistes (Li & Lindenberger, sous presse). Le programme de recherche qui sous-tend ces simulations a deux objectifs. Le premier objectifs correspond à une volonté de démontrer l'existence possible de la cause commune : à travers la simulation, nous voulons démontrer qu'une grande partie des phénomènes centraux du vieillissement cognitif peuvent être simulés en modifiant un seul paramètre. Bien sûr, une telle démonstration ne prouvera pas que la structure causale est unidimensionelle, mais elle indique que cette possibilité ne peut pas être exclue a priori. Le deuxième objectif est plus hasardeux ; il consiste à donner une signification concrète et biologique au paramètre que nous modifions. En particulier, nous avons proposé que le paramètre en question correspond à l'atténuation de la transmission dopaminergique avec l'âge (Li & Lindenberger, sous presse).

En bref, la stratégie générale de nos simulations peut être décrite de la façon suivante : plusieurs réseaux de neurones, de structures identiques, mais avec des valeurs d'activation initiales différentes « travaillent » à une tâche. À chaque réseau « âgé » correspond un réseau « jeune » et, parfois, un réseau « d'âge moyen ». La différence entre les réseaux représentant les différents âges concerne le paramètre qui règle le gain des unités du réseau ; si non l'architecture des réseaux et tous les autres paramètres sont identiques.

Dans les réseaux neuronaux, le gain traduit la valeur du signal qui vient modifier (*input activation*) l'activation du neurone (*output activation*). L'activation du neurone correspond à une fonction sigmoïde du signal. À la différence des travaux de Servan-Schreiber, Printz et Cohen (1990) dont le but est de simuler les effets de la schizophrénie, nos réseaux fonctionnent avec une étendue de gains stochastiques, et non avec un gain fixe. Par exemple, dans une de nos simulations, le gain des réseaux « jeunes » varie entre 0.6 et 1.0, celui des réseaux « d'âge moyen » entre 0.4 et 0.8, et celui des réseaux « âgés » entre 0.2 et 0.6. Bien que l'étendue et la distribution des gains soient identiques pour les trois groupes de réseaux, les différences de valeurs ont des conséquences fondamentales pour le fonctionnement des unités et le comportement des réseaux : quand on baisse la moyenne des gains stochastiques l'activations des neurones devient moins forte et plus variable.

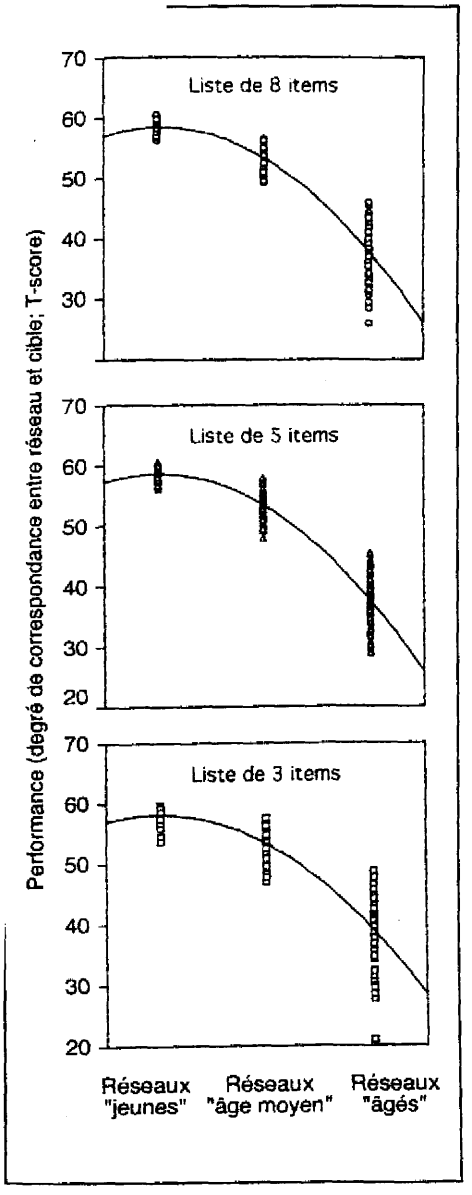

Figure 15.9

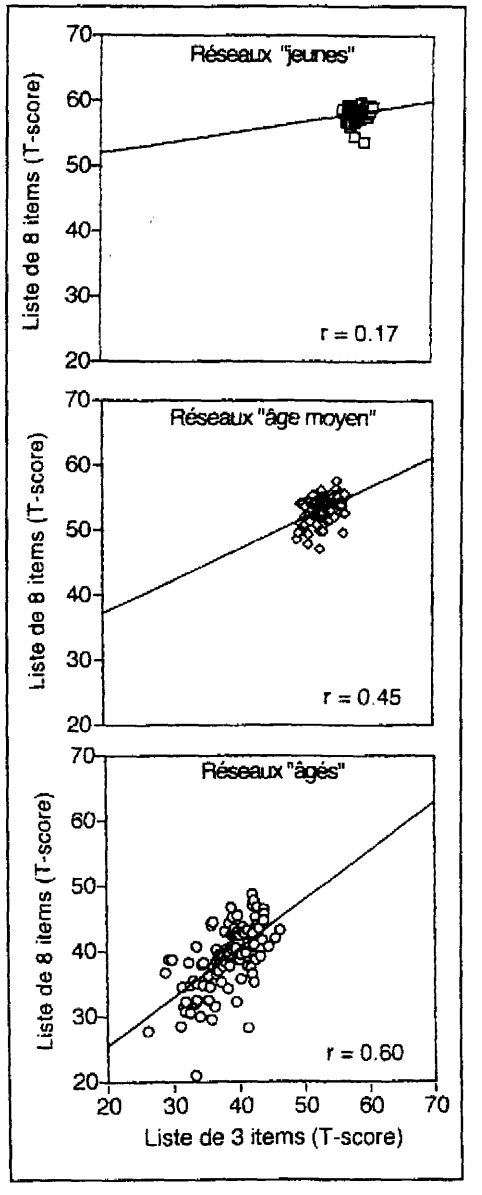

Figure 15.10

Figure 15.9
Différences de niveau et de variabilité dans trois tâches de mémorisation entre trois groupes de réseaux connectionistes. Les trois groupes se distinguent seulement dans le gain stochastique des unités du réseau. Cf. Li & Lindenberger (sous presse)

Figure 15.10
Différences de covariance dans trois tâches de mémorisation entre trois groupes de réseaux connectionistes. Les trois groupes se distinguent seulement dans le gain stochastique des unités du réseau. Cf. Li & Lindenberger (sous presse)

En partant de cette idée de base, nous avons simulé un grand nombre de tâches cognitives. Nous nous contentons de présenter ici les résultats pour le rappel des listes de trois, cinq et huit items (pour les détails, voir Li & Lindenberger, sous presse). Cent réseaux de chaque « âge » ont été comparés aux données empiriques correspondant à cette tâche. En plus de l'augmentation de la variabilité intra-individuelle (c'est-à-dire, intra-réseau), la réduction du gain stochastique se traduit par trois résultats : (a) une chute des performances (Figure 15.9) ; (b) une augmentation de la variabilité interindividuelle (Figure 15.9) ; et (c) une augmentation de la

covariation entre les tâches et l'âge (Figure 15.10). Ainsi, la modification d'un seul paramètre a effectivement simulé trois aspects centraux du vieillissement cognitif.

On pourrait objecter à ces résultats que les différences dues au gain pour ce qui est des corrélations entre les tâches ne sont que l'expression des différences observées au niveau de la variabilité. Ceci est probablement vrai. Cependant, les différences dans la variabilité liées au gain possèdent un sens conceptuel précis : les simulations suggèrent, en accord avec les données empiriques, que l'accroissement de la variabilité intra- et inter-individuelle est un fait fondamental du vieillissement, et non pas un artefact méthodologique.

Plus récemment (Li, Lindenberger & Frensch, 1998), nous avons montré que la réduction du gain stochastique est capable de simuler des différences liées à l'âge pour ce qui est de : a) la susceptibilité à l'interférence, b) l'indice d'apprentissage, c) le niveau asymptotique de l'apprentissage. En outre, nous avons trouvé que les tâches plus difficiles produisent de plus grandes différences entre les âges que les tâches moins difficiles, ce qui correspond à l'interaction bien connue entre difficulté de la tâche et ampleur des différences entre jeunes adultes et adultes âgés.

Quoi qu'il en soit, nous aimerions souligner les limites de cette approche. L'architecture des réseaux connectionistes est trop abstraite pour permettre une simulation explicite des changements dus à l'âge dans les relations entre fonctionnement sensoriel, sensori-moteur et cognition. Aussi, l'interprétation du paramètre de gain au sens d'une réduction de l'activité dopaminergique dans le cerveau vieillissant, bien qu'elle soit empiriquement valide (voir la revue de la littérature de Li, Lindenberger, & Frensch, 1998), est contestable. Mais même si cette interprétation peut être considérée comme fausse, nos simulations ont démontré que l'hypothèse de la cause commune ou d'un facteur général du vieillissement, peut être transformée dans un formalisme dont un seul paramètre rend compte d'un grand nombre de phénomènes centraux du vieillissement cognitif.

4. Approche globale et approche spécifique peuvent cohabiter

Ce chapitre était consacré au lien dû à l'âge entre fonctionnement sensoriel, sensori-moteur et cognitif. Nous avons noté que l'analyse corrélationnelle des données transversales est affectée par des problèmes

méthodologiques qui s'opposent à une évaluation solide de cette connexion. Ensuite, nous avons suggéré quelques hypothèses explicatives et nous avons présenté des résultats basés sur des méthodes empiriques alternatives. Finalement, nous avons rapporté les tentatives de formalisation de l'hypothèse de la cause commune à l'aide de réseaux neuronaux.

Tout au long de ce chapitre, notre approche a mis en relief la variance commune : la variance commune entre les différentes tâches mesurant une capacité intellectuelle, la variance commune entre les différentes capacités liées à un domaine et la variance commune entre différents domaines. Il existe sûrement des processus spécifiques du vieillissement qui échappent à une telle approche à chacun de ces niveaux d'analyse. Mais nous tenons à souligner que la recherche d'une cause commune du vieillissement sensoriel, sensori-moteur et cognitif complète les recherches sur les processus spécifiques du vieillissement sans qu'elle les remplace. Approches globale et spécifique peuvent très bien coexister.

Pour aller plus loin

BALTES, P. B., & LINDENBERGER, U. (1997). Emergence of a powerful connexion between sensory and cognitive functions across the life span : A new window to the study of cognitive aging ? *Psychology and Aging*, 12, 12-21.

LINDENBERGER, U., & BALTES, P. B. (1997). Intellectual functioning in old and very old age : Cross-sectional results from the Berlin Aging Study. *Psychology and Aging*, 12, 410-432.

LINDENBERGER, U., GILBERG, R., NUTHMANN, R., PÖTTER, U., LITTLE, T. L., & BALTES, P. B. (1999). Sample selectivity and generalizability of results from the Berlin Aging Study. In P. B. BALTES & K. U. MAYER (Eds.), *The Berlin Aging Study : Aging from 70 to 100* (pp. 56-82). New York : Cambridge University Press.