

Pourquoi faut-il étudier la variabilité intra-individuelle lorsqu'on s'intéresse au développement cognitif ?

Anik de Ribaupierre^{1,2}

La psychologie développementale, tout comme la psychologie expérimentale, s'est concentrée presque exclusivement sur le niveau moyen de performance d'un individu et le niveau moyen d'un groupe, si bien que la plupart des modèles du développement, chez l'enfant ou chez l'adulte, s'appuient sur des résultats moyens qui ne reflètent probablement que très peu, voire pas du tout, la performance individuelle. Aussi, la plupart des travaux ont présenté des tendances développementales moyennes qui ont, en définitive, peu de chances de refléter une trajectoire réelle. Depuis longtemps, de très nombreux chercheurs, et notamment les différentialistes, ont attiré l'attention sur le fait que la variabilité individuelle n'est pas un simple bruit (erreur) qu'il faut neutraliser, mais représente une réalité empirique dont il convient de tenir compte si l'on veut comprendre le fonctionnement humain, cognitif en particulier. Reuchlin proposait ainsi, dès les années 60, un effort à double sens : les différences individuelles doivent être insérées dans le cadre d'une théorie générale, mais, réciproquement, les théories générales doivent pouvoir en rendre compte (Reuchlin, 1966, 1981). S'il était certainement légitime pour Piaget (1971) par exemple d'affirmer qu'il ne trouvait aucun intérêt à l'étude de l'individu, il était en revanche problématique de considérer, comme il l'a fait, que cette étude s'oppose à celle de mécanismes généraux. Les mises en garde contre la difficulté de transférer des normes statistiques moyennes à la réalité des individus sont anciennes et ne sont pas propres aux différentialistes. Ainsi, Jung dans *Présent et Avenir* (1962, cité par von Franz, 1975, p. 287)³ «considérerait les constatations statistiques dans le domaine sociologique et

¹ Faculté de psychologie et des sciences de l'éducation, et Centre Interfacultaire de Gérontologie et d'Etudes des Vulnérabilités (CIGEV), Université de Genève, 40 Bd du Pont d'Arve, CH-1205 Genève. Mél. : Anik.deribaupierre@unige.ch.

² Ce chapitre, ainsi que les données qu'il contient, a été rendu possible grâce au soutien du Fonds National Suisse de la Recherche Scientifique (subsides 107764, 120510, et 135410)

³ Je remercie Monsieur Yves Oltramare (communication personnelle, 2006) d'avoir attiré mon attention sur cette citation de Jung.

psychologique de la manière dont la physique moderne nous a appris à les comprendre, c'est-à-dire comme une abstraction mentale (en ital. dans le texte). Lorsque j'affirme par exemple que les pierres de ce tas mesurent en moyenne cinq centimètres, cela n'est pas faux en théorie, mais dans la réalité je devrais chercher très longtemps avant de trouver une seule pierre de cette dimension. Les vraies pierres sont toutes différentes et elles forment la réalité (idem), le reste est une image abstraite de la réalité dans l'esprit de l'observateur». Plus récemment, Nesselroade (1991) a affirmé que «l'étude de la variabilité intra-individuelle est fondamentale pour la compréhension des différences interindividuelles et du changement développemental» ; de plus, «l'évidence accumulée à propos de la variabilité intra-individuelle atteste du fait que l'accent dominant placé sur l'un des concepts fondamentaux en psychologie différentielle, à savoir la recherche de stabilité au travers du temps, pourrait bien nous empêcher de trouver des lois générales» (Nesselroade & Salthouse, 2004 – traduction libre).

Malgré toutes ces mises en garde, et les textes dédiés à cette problématique (e.g., Reuchlin, 1978 ; Reuchlin & Bacher, 1989 ; Lautrey, 1980, 1987, 1990, 1993, 2003 ; Lautrey, Mazoyer, & Van Geert, 2002 ; de Ribaupierre, 1993, 1998), le tableau n'a guère changé ces dernières années. Aussi, ce chapitre se veut-il un plaidoyer renouvelé (et répétitif !) en faveur de l'étude de la variabilité, s'appuyant sur des exemples empiriques, dont la plupart sont tirés de nos propres travaux de ces dernières décennies. Notre approche sera essentiellement descriptive, notre objectif étant avant tout de démontrer l'ampleur de la variabilité intra-individuelle, et de la variabilité interindividuelle dans la variabilité intra-individuelle. Qu'il nous soit permis de faire état ici de notre surprise, renouvelée à chaque étude, devant l'ampleur de la variabilité à laquelle nous sommes confrontés et ceci malgré le nombre d'études dans lesquelles nous nous sommes déjà penchés sur la question.

Nous commencerons par définir les différents types de variabilité intra-individuelle, puis nous les illustrerons tour à tour. Nous discuterons d'abord de la variabilité observée au travers de tâches différentes (dispersion), en nous basant tant sur l'échelle du Wechsler que sur des études menées à l'aide d'épreuves piagésiennes et néo-piagésiennes chez des enfants et des adolescents. Nous discuterons ensuite de la variabilité individuelle observée dans le changement intra-individuel dans des études longitudinales, en partant de la Seattle Longitudinal Study dirigée par Schaie depuis de nombreuses années, ainsi que d'une étude longitudinale que nous avons menée chez l'enfant sur le développement de la mémoire de travail. Puis nous nous attarderons sur une étude plus récente et encore en cours, la *Geneva Variability Study* (GVS), dans laquelle nous nous sommes intéressés aux fluctuations au sein d'une même épreuve en utilisant une batterie d'épreuves assez large, tout d'abord dans une étude transversale menée avec des enfants, des jeunes adultes et des adultes âgés, puis dans un suivi longitudinal conduit chez des personnes âgées

uniquement. Enfin, nous mentionnerons des travaux récents, notamment ceux qui proviennent du groupe de McIntosh à Toronto, qui démontrent l'intérêt d'étudier la variabilité intra-individuelle au plan cérébral, et ses relations avec la variabilité intra-individuelle comportementale.

Types de variabilité intra-individuelle (Vii)⁴

La variabilité intra-individuelle (Vii) se définit comme des variations dans la performance chez un individu au cours du temps et / ou au travers de différentes situations. Nous inspirant des distinctions proposées dans la littérature (Hultsch & MacDonald, 2004 ; Nesselroade, 1991 ; Shammi, Bosman, & Stuss, 1998), nous proposons de distinguer: 1) la Vii à court terme, dénommée également inconsistance («inconsistency», Hultsch & MacDonald, 2004), ou encore «fluctuations across trials», «processing robustness» (Li *et al.*, 2004), «lability». Il s'agit de fluctuations, plus ou moins réversibles, que l'on peut observer au sein d'une même tâche, d'un item à l'autre ou lorsque la tâche est répétée avec un intervalle bref ; 2) la Vii au travers de tâches différentes, aussi dénommée dispersion, que l'on a longtemps cru pouvoir étudier, même si seulement indirectement, au moyen de corrélations. Or une corrélation faible indique seulement que les individus ne sont pas classés de la même façon dans les diverses tâches utilisées, ce qui peut être interprété comme attestant du fait que les tâches reposent sur des processus différents, mais n'implique pas nécessairement que la Vii soit importante. Seule une analyse de profils intra-individuels (cf. le Wechsler, par exemple, voir plus bas) donnera une indication de la dispersion ; 3) la Vii à plus long terme, reflétant le changement intra-individuel, qui témoigne d'un changement plus ou moins durable et généralement interprété dans une perspective développementale sur la base d'une étude longitudinale; il peut également s'agir de plasticité, notamment après un entraînement.

Mesures de la variabilité intra-individuelle

La plupart du temps, lorsqu'on étudie la Vii, on se situe dans une approche quantitative. Les indices «classiques» de Vii sont alors l'écart-type intra-individuel (ETi) et le coefficient de variation intra-individuel (CVi). On a également utilisé des méthodes de régression, pour calculer des indices de variabilité, en se basant sur le groupe («résidus purifiés», tels que décrits par Christensen *et al.* 1994, ou Hultsch, MacDonald, & Dixon, 2002) ou sur l'individu lui-même («indice résiduel individuel», e.g., Allaire & Marsiske, 2005). Dans ces deux derniers cas, on cherche à dissocier la variabilité du

⁴ L'abréviation Vii sera utilisée lorsque nous parlerons de la variabilité intra-individuelle en général, sans forcément distinguer l'un ou l'autre des trois types définis ici. Sinon, nous préciserons à quel type nous nous référons.

niveau moyen de performance. On s'est également fondé sur la forme de la distribution, par exemple en recourant à des analyses ex-gaussiennes (e.g., Spieler & Faust, 1996, 2000; Fagot, Dirk, Ghisletta, & de Ribaupierre, 2009). L'objectif est alors de déterminer si certains groupes, par exemple les participants âgés, présentent une distribution plus exponentielle (paramètre Tau) comparativement à d'autres groupes, comme par exemple les jeunes adultes. Enfin, ces dernières années, on a cherché à modéliser la variabilité, notamment en recourant à un modèle de diffusion, en évaluant la variabilité inter-essai au moyen du paramètre de «*drift rate*». On peut également se pencher sur la variabilité dans une perspective plus qualitative, en s'intéressant à l'étendue des scores et aux patterns de relations entre épreuves; les analyses porteront alors plus fréquemment sur la dispersion (Vii au travers des tâches).

Dispersion et développement

Peu de travaux se sont intéressés à l'ampleur et/ou la nature de la dispersion au travers des tâches. Le plus souvent, en psychologie cognitive, on administre une seule tâche par individu, ou, si l'on utilise plusieurs tâches, ce n'est que très rarement que les résultats sont mis en regard les uns des autres, sinon au niveau des moyennes. En s'appuyant sur les tendances moyennes, on adopte alors souvent le postulat implicite selon lequel un individu proche de la moyenne dans une épreuve devrait l'être dans les différentes épreuves administrées.

Un bon exemple de l'intérêt de la dispersion est celui des échelles d'intelligence, par exemple celle du Wechsler, dans laquelle chacun des sous-tests est standardisé, avec une moyenne de 10 et un écart-type de 3. Des analyses de profils ont été conduites depuis de nombreuses années, notamment depuis les premiers travaux de Kaufman (1979); elles ont montré que l'hétérogénéité, c'est-à-dire une variation des notes d'un sous-test à l'autre, est la règle plutôt que l'exception. Ces résultats ont évidemment un impact sur la pratique clinique; l'estimation intuitive par des cliniciens de l'écart entre la note minimale et la note maximale obtenue par un individu (un enfant notamment) tourne autour de 3-4 points (voir Kaufman, 1979). Il s'agit cependant encore d'une forte sous-estimation de la dispersion réellement observée chez des individus tout-venant. Grégoire (2009) a repris les données françaises de l'étalonnage du WISC-IV, et montre que l'étendue moyenne entre note minimale et note maximale est en fait de 7,5, tout en variant un peu avec le niveau global. Ces valeurs sont tout à fait comparables à celles que Kaufman avait obtenues et qui ont été répliquées dès les premiers travaux. Si l'on analyse les profils de façon ipsative, c'est-à-dire en analysant l'écart, pour un individu donné, entre sa propre moyenne et ses différentes notes standard, on note que la différence moyenne varie entre 3 et 4 points. De plus, environ 21% des individus ont deux notes dites «*déviantes*», à savoir deux notes qui s'écartent significativement de leur moyenne, et environ 31% présentent au moins une

note déviante. Ainsi, une dispersion importante prévaut, alors même que les procédures statistiques utilisées (normalisation) pouvaient laisser croire à une forte homogénéité; il est important de relever aussi qu'il ne s'agit pas de différences d'échantillonnage, puisque c'est bien sûr l'échelle totale qui a été administrée aux individus.

En psychologie développementale aussi, on a souvent considéré que le synchronisme était la règle au travers des épreuves, dès lors que les âges moyens d'acquisition étaient similaires, soit sur un plan synchronique (l'enfant tout-venant devrait se situer au même niveau dans toutes les épreuves) soit sur un plan diachronique (les trajectoires développementales sont identiques d'une épreuve à l'autre). Lorsque l'acquisition de certains concepts s'est avérée plus précoce que d'autres, on a parlé de décalage collectif (Piaget & Inhelder, 1941 ; Longeot, 1969, 1978 ; Rieben, de Ribaupierre, & Lautrey, 1986, 1990). En ce qui concerne le stade des opérations formelles, nous avons montré, dans un travail déjà ancien (de Ribaupierre, 1975 ; de Ribaupierre & Pascual-Leone, 1979), que la variabilité intra-individuelle était très forte. Huit épreuves avaient été administrées à des pré-adolescents et adolescents âgés de 12 et de 15 ans. Sur la base d'analyses d'épreuves, des niveaux de conduite avaient été identifiés, qui permettaient de définir en quoi pouvait consister le synchronisme (niveau de même complexité dans différentes épreuves). Pratiquement aucun participant, même à l'âge de 15 ans, ne s'est trouvé au même niveau dans toutes les épreuves. Par exemple, sur les 88% des adolescents de 15 ans qui se sont trouvés au moins une fois aux niveaux 4 ou 5, seuls 38% ont atteint ce niveau pour la moitié des tâches au moins ; pour les autres, la dispersion était beaucoup plus forte.

Dans les travaux menés en collaboration avec Laurence Rieben et Jacques Lautrey sur la période d'âge de 6 à 12 ans, nous avons mis en évidence de nombreux cas de décalages dits individuels, c'est-à-dire des décalages qui n'étaient pas de même sens pour tous les enfants (e.g., Rieben *et al.*, 1986, 1990). En utilisant des analyses de correspondances, nous avons aussi montré des différences quantitatives et qualitatives importantes entre les réussites à différentes épreuves, certains enfants réussissant des items logico-mathématiques difficiles (Lautrey *et al.*, 1986) tout en échouant encore à des items infra-logiques relativement faciles, et vice-versa. Seule l'administration d'un nombre important d'épreuves rend possible ce type d'analyse et les résultats ont montré que presque tous les types de relations entre épreuves étaient possibles, invalidant le postulat implicite selon lequel il y a une seule voie développementale possible au cours de laquelle les enfants peuvent différer en termes de vitesse seulement. Si l'on suit la suggestion de Longeot (1978), on peut penser en termes de boucles développementales, les profils des enfants se resserrant au début et à la fin d'un stade. On observerait alors une dispersion maximale, et sujette à fortes différences individuelles, au milieu d'un stade.

Ceci n'a à notre connaissance, jamais été testé empiriquement, et nécessiterait, pour ce faire, une approche longitudinale.

Changement intra-individuel et développement

De nombreux auteurs ont plaidé pour l'adoption de plans longitudinaux d'expériences, dans lesquels les mêmes cohortes d'individus sont suivies sur plusieurs années (e.g., Baltes & Nesselroade, 1979 ; Hofer, Sliwinski, & Flaherty, 2002 ; Hofer & Alwin, 2008 ; Lindenberger, von Oertzen, Ghisletta, & Hertzog, 2011 ; Nesselroade, 2004 ; de Ribaupierre, 1989a ; Rutter, 1988 ; Schaie, 1983, 1996 ; Sliwinski & Buschke, 1999 ; Weinert & Helmke, 1998). Seul un plan longitudinal permet en effet de mettre en évidence le changement, plutôt que de simples différences d'âge comme les études dites transversales. L'inconvénient d'un plan longitudinal est tout d'abord sa lourdeur (difficultés de retrouver les mêmes individus, longueur et délais avant publication, mortalité expérimentale, etc.), mais il entraîne également quelques autres difficultés, par exemple des effets de retest d'une passation à l'autre, qui viennent se confondre avec les changements liés à la «seule» avancée en âge, et une sélectivité positive de l'échantillon (les participants qui restent dans une étude longitudinale montrant une certaine tendance à obtenir de meilleurs résultats). Cependant, les limites des études transversales ont également été amplement soulignées ; non seulement il est difficile de constituer des échantillons bien appariés, mais les différences d'âge se confondent également avec les différences de cohorte. Par exemple, on peut se demander si la comparaison d'enfants de 5 et de 15 ans, nés à 10 ans d'écart dans une période durant laquelle les développements technologiques sont très rapides, permet vraiment de ne mettre en évidence que des différences d'âge et d'apprentissages. Ce risque est évidemment beaucoup plus marqué lorsqu'on compare des jeunes adultes et des adultes âgés nés quelque 30-40 ans plus tôt. C'est la raison pour laquelle ce sont surtout les développementalistes intéressés au développement chez l'adulte («*lifespan*») qui ont insisté sur la nécessité d'études longitudinales (e.g., Baltes, 1987 ; Baltes, Lindenberger, & Staudinger, 1998). Les travaux de Schaie par exemple, en particulier la *Seattle Longitudinal Study*, sont tout particulièrement instructifs à cet égard, en raison de l'ampleur et de la durée de l'étude. Utilisant une combinaison d'échantillons longitudinaux et de cohortes différentes («*cross-sequential design*»), Schaie et ses collaborateurs ont brossé un tableau tout différent du déclin cognitif selon qu'il est étudié sous forme de changement intra-individuel ou sous forme d'une comparaison transversale de groupes d'âge (Schaie, 1983, 1990, 2000, 2005). La vision du développement est beaucoup plus optimiste (peut-être même trop) lorsqu'elle repose sur une approche longitudinale.

En revanche, même les chercheurs insistant sur la nécessité d'une approche longitudinale, et donc pour la plupart convaincus de la nécessité de suivre les

mêmes individus, ont peu mis l'accent sur la variabilité interindividuelle dans le changement. Si l'on regroupe les données présentées par Schaie dans plusieurs de ses publications, on s'aperçoit que le tableau souvent présenté des tendances moyennes au plan longitudinal est, lui aussi, trompeur. Ainsi, Schaie (1983, 1990) montre qu'une bonne majorité des individus ne présente aucun changement sur 7 ans alors que la tendance moyenne est clairement déclinante : par exemple, en passant de 53 à 60 ans, seuls approximativement 20% des individus présentent un changement significatif à l'une ou l'autre des épreuves, et 40% de ceux qui passent de 74 à 81 ans. De plus, lorsqu'un changement significatif est présent, c'est la plupart du temps seulement pour une épreuve, voire deux ; moins de 5% des participants changent pour quatre ou cinq des cinq aptitudes étudiées. Enfin, les individus qui ont décliné sur une période de 7 ans ne déclinent pas nécessairement lors de la période suivante. De tels résultats attestent d'une forte variabilité interindividuelle dans le changement, mais aussi d'une forte dispersion. Comme déjà relevé, peu d'études longitudinales font ressortir cette variabilité. Salthouse (2010, p. 59) le regrette aussi quand il écrit, dans le contexte de la fidélité des données, que l'ampleur des différences individuelles constitue sans doute un facteur clé dans la fiabilité des mesures de changement longitudinal, mais qu'il est étonnant que l'évidence empirique supportant l'hypothèse d'une forte variabilité interindividuelle ne soit pas plus consistante. Il souligne d'ailleurs la difficulté d'évaluer de façon fiable le changement. Dans nos travaux récents (GVS), que nous reprendrons plus bas, nous avons cherché à définir un indice de changement au niveau de l'individu, basé sur une méthode de «*bootstrapping*». Les résultats montrent, en effet, une très forte variabilité entre les individus dans la forme du changement (certains améliorent leur performance, d'autres la maintiennent et d'autres enfin déclinent), sur une période relativement courte. Il est donc essentiel que les différentes études longitudinales documentent mieux la forme et l'ampleur du changement au niveau des individus.

En ce qui concerne le changement intra-individuel chez l'enfant, la variabilité interindividuelle semble aussi très grande. Dans une étude longitudinale de 5 ans sur un échantillon d'enfants âgés initialement de 5 à 10 ans, portant sur la mémoire de travail et le raisonnement, nous nous étions intéressés aux trajectoires individuelles (de Ribaupierre, 1993, 1998 ; de Ribaupierre & Bailleux, 1995 ; de Ribaupierre, Fagot, & Lecerf, 2011) dans plusieurs épreuves piagésiennes administrées à trois reprises et des épreuves de mémoire de travail présentées cinq fois. Les courbes développementales moyennes étaient assez régulières et proches l'une de l'autre. Cependant, pour chacune des épreuves piagésiennes, et même en ne retenant que les patterns de réponse présents chez au moins deux enfants, nous avons observé plus de quinze trajectoires différentes ; les trajectoires des enfants différaient également d'une épreuve à l'autre. En ce qui concerne les épreuves de mémoire de travail, une analyse en multi-niveaux a montré que, si la tendance développementale

moyenne était, elle aussi, assez régulière, les différences individuelles s'avéraient significatives, tant en ce qui concerne le niveau de départ que la pente.

Inconsistance et développement

Comme défini plus haut, l'inconsistance représente une variabilité intra-individuelle à court terme, traduisant des fluctuations dans la conduite au travers des items, dans une même tâche. Les travaux sur l'inconsistance chez la personne âgée ont débuté dans les années 90, et se sont multipliés depuis lors, notamment en raison des travaux réalisés par le groupe de Victoria, sous la responsabilité de D. Hultsch (e.g., Hultsch, MacDonald, Hunter, Levy-Bencheton, & Strauss, 2000 ; Hultsch *et al.*, 2002 ; Hultsch & MacDonald, 2004). La plupart du temps, l'analyse a été effectuée sur les temps de réaction ; seules quelques études se sont intéressées à l'inconsistance dans des épreuves de précision, dans lesquelles on s'intéresse à la justesse des réponses, ou au nombre de réponses correctes. Ce n'est pas très étonnant, parce que les épreuves qui sont suffisamment sensibles en termes de précision sont généralement complexes et assez lourdes pour le participant, si bien qu'on ne peut administrer beaucoup d'items. En conséquence, la variation intra-individuelle dans les épreuves de précision est calculée sur peu d'items ou d'épreuves (e.g., Salthouse, 2007, 2012 ; Salthouse & Berish, 2005), ce qui peut soulever des problèmes de fiabilité.

La plupart des études ont montré que l'inconsistance est plus élevée chez la personne âgée que chez le jeune adulte, et plus élevée dans des échantillons pathologiques que chez l'adulte tout venant. On tend donc à considérer que l'inconsistance peut fonctionner comme un indicateur de vieillissement cognitif. Il a aussi été observé que l'inconsistance est plus élevée chez l'enfant que chez le jeune adulte. Ainsi, le développement de l'inconsistance au travers de la vie suivrait une courbe en U : plus élevée chez l'enfant et la personne âgée, plus faible chez le jeune adulte (Li *et al.*, 2004; Williams, Hultsch, Strauss, Hunter, & Tannock, 2005). Un certain nombre d'auteurs ont suggéré que l'inconsistance, particulièrement chez l'enfant, peut fonctionner comme agent de développement (e.g., Lindenberger & von Oertzen, 2006), et est de nature adaptative (e.g., Siegler, 1994, 2006, 2007).

Peu de travaux ont cherché à connaître la stabilité ou la variabilité de l'inconsistance au travers des épreuves, donc la dispersion de l'inconsistance. Nesselroade et Salthouse (Nesselroade & Salthouse, 2004 ; Salthouse, Nesselroade, & Berish, 2006) ont comparé la variabilité intra-individuelle intra-session et la variabilité intra-individuelle au travers de sessions (répétition des mêmes épreuves, trois scores moyens à chaque session, trois sessions). L'âge était bien corrélé avec ces deux mesures d'inconsistance, mais plus fortement avec la variabilité intra-session qu'avec la variabilité inter-session. Il faut noter

cependant que l'écart-type calculé au travers des sessions portait sur trois points de mesure.

Hultsch et coll. (Dixon *et al.*, 2007 ; voir aussi West, Murphy, Armilio, Craik, & Stuss, 2002) ont montré que les différences d'âge dans l'inconsistance moyenne tendaient à augmenter avec la complexité des épreuves, mais toujours avec des scores en termes de temps de réponse.

Peu d'études longitudinales ont été conduites, à ce jour, sur le changement dans l'inconsistance avec l'âge. Deary et Der (2005) ont rapporté une augmentation, à huit ans d'intervalle, chez des adultes d'âge moyen et d'âge plus avancé, pour des épreuves de temps de réaction simples et à choix. Au sein de l'étude de Victoria, MacDonald, Hultsch et Dixon (2003) ont administré trois fois, en 6 ans, quatre épreuves de temps de réaction. Seuls les adultes les plus âgés (75+) ont présenté une augmentation de l'inconsistance, mais pas les plus jeunes (55 – 74 ans).

La *Geneva Variability Study* (GVS) s'est donné pour objectif de documenter de façon plus systématique l'ampleur de l'inconsistance au travers de la vie, en administrant à des enfants d'âge scolaire (9-12 ans), des jeunes adultes (20-30 ans) et des personnes âgées (60 ans et +), une batterie d'épreuves variant par leur complexité. Une majorité d'épreuves consiste en temps de réaction (depuis des épreuves de temps de réaction simples à des épreuves d'interférence), mais des épreuves de mémoire de travail ont aussi été administrées, dans lesquelles un écart-type peut être calculé sur les réponses correctes dans une vingtaine d'items. Cette étude, rapportée également et avec plus de détails par Fagot et Mella (cet ouvrage) était transversale. Nous avons observé une inconsistance plus forte chez les enfants que chez les âgés, ces derniers montrant à leur tour une plus forte inconsistance que les jeunes adultes, ce qui rejoint les autres travaux dans la littérature mentionnés plus haut. Il est intéressant, et plus nouveau, d'observer que la dispersion au travers des tâches, qu'il s'agisse des performances moyennes ou des écarts-type intra-individuels, suit également un développement sous forme de courbe en U, et ceci même lorsque le niveau des performances a été contrôlé pour l'âge. Fagot et Mella (cet ouvrage) rapportent aussi une analyse en «clusters» pour déterminer si des individus se regroupent en présentant un même profil de dispersion. S'il y a bien des individus stables dans tous les groupes, les jeunes adultes sont néanmoins tous regroupés dans un profil relativement stable, alors que les individus que l'on peut considérer comme plus variables se distribuent entre les enfants et les personnes âgées. Ces résultats ont été obtenus sur la base des scores en temps de réponse; ils sont beaucoup moins clairs en ce qui concerne les épreuves de mémoire de travail. Dans ce cas, les adultes jeunes ne sont pas moins variables que les enfants et les adultes âgés.

Un suivi longitudinal a été entrepris pour les personnes âgées seulement. Il est encore en cours ; nous en sommes à la troisième passation. Un échantillon

de 165 adultes a été revu une deuxième fois entre 24 et 30 mois après la première évaluation. Pour la troisième passation, après à nouveau 24-30 mois, nous avons actuellement des résultats pour un échantillon de 60 participants. Comme mentionné plus haut, nous nous sommes intéressés au changement, dans la moyenne et dans l'inconsistance, en adoptant une méthode de bootstrapping, pour le moment seulement pour les temps de réponse. La variabilité interindividuelle dans le changement est encore plus forte que nous ne l'avions prévue. Ainsi, entre les deux premières passations, le pattern le plus fréquent (environ 30% à 40% pour la moyenne et 35% à 55% pour l'inconsistance, selon les tâches) est celui du maintien du niveau ou de l'inconsistance observé lors de la première passation. Le reste des individus se distribue à peu près également entre déclin (augmentation du temps de réponse et/ou de l'inconsistance) et amélioration. Prenant en compte la troisième passation sur un échantillon encore partiel, le nombre de patterns observés se multiplie d'autant, puisqu'on observe presque toutes les combinaisons possibles. De plus, il est rare d'observer un même profil de changement pour plus de 2-3 tâches. Enfin, lorsqu'on cumule au travers des épreuves et des profils possibles, le changement est le même pour la moyenne et l'inconsistance dans un peu moins de 50% des cas, pour deux passations, et environ 20% pour trois passations. Une fois de plus, ces résultats plaident pour une analyse plus approfondie, dans toutes les études longitudinales, des différences interindividuelles.

Variabilité cérébrale et développement

La variabilité est bien sûr aussi la règle au plan neuronal, mais l'intérêt scientifique pour son étude est encore plus récent que celui que l'on a commencé à porter à la variabilité comportementale. Des travaux récents ont souligné l'intérêt d'étudier la connectivité (structurale ou/et fonctionnelle) au sein du cerveau ainsi que l'activité dite intrinsèque (c'est-à-dire spontanée – ce que l'on a souvent appelé, par erreur, le «cerveau au repos»), et les différences individuelles (Biswal *et al.*, 2010 ; Coste, Sadaghiani, Friston, & Kleinschmidt, 2011 ; Hesselman, Kell, & Kleinschmidt, 2012 ; Margulies *et al.*, 2010 ; Raichle & Snyder, 2007). On tend à reconnaître que cette activité intrinsèque est variable, mais organisée. Ainsi, Faisal et collaborateurs considèrent qu'«une fraction considérable du bruit dans le signal BOLD brut, en IRM fonctionnelle (IRMf), présente des patterns tout à fait cohérents au sein des systèmes cérébraux connus» (Faisal, Selen, & Wolpert, 2008 – traduction libre). Certains travaux s'intéressent aussi aux aspects développementaux, et au vieillissement, mais ils sont encore peu nombreux, tout comme les travaux qui essaient de distinguer entre «variance vraie» (potentiellement significative) et bruit dans le cerveau. Il est tout à fait intéressant d'observer que le discours adopté dans ces textes récents est très proche de celui que les différentialistes tiennent depuis

longtemps à propos de la nécessité d'attribuer du sens à la variabilité, et non pas de la considérer comme du bruit.

Particulièrement pertinents pour une mise en relation avec la variabilité comportementale et les aspects développementaux, les travaux de McIntosh et collaborateurs (McIntosh *et al.*, 2010) ont porté sur le niveau d'activation globale du cerveau. Ils soutiennent que la présence de variabilité n'est pas seulement une réalité, mais aussi une nécessité ou une condition pour que l'individu puisse se lancer dans des activités exploratoires dynamiques, en dehors de stimulations extérieures. En effet, on peut se demander, en accord avec cette argumentation, pourquoi un système changerait, ou comment il pourrait changer, s'il n'était pas intrinsèquement variable. On retrouve ici l'argumentation d'un certain nombre de développementalistes qui se sont intéressés aux systèmes dynamiques complexes (e.g., Van Geert, 1998a, 1998b, 2011 ; voir aussi Siegler, 1994, 1996, 2006, 2007 ; Lautrey, 1990, 2003 ; Lautrey *et al.*, 2002). McIntosh et collaborateurs (Garrett, Kovacevic, McIntosh, & Grady, 2010, 2011, 2013a; McIntosh *et al.* 2010) font également l'hypothèse que la variabilité globale augmente avec la maturation, permettant une meilleure adaptation du système. Ainsi, les jeunes adultes seraient plus variables que les enfants. De même, la variabilité devrait augmenter avec la complexité des situations, notamment avec l'augmentation de la demande cognitive. Au plan du développement, la variabilité cérébrale suivrait alors une courbe en U inversé, donc inverse de celle du comportement, à savoir elle serait moindre chez l'enfant et la personne âgée, et maximale chez le jeune adulte. Dans une telle perspective, la variabilité devient fonctionnelle et adaptative, au lieu de dysfonctionnelle. Notons que ces hypothèses sont très séduisantes lorsqu'on les examine à la lumière des vicariances auxquelles Reuchlin (1978) s'intéressait, et qui ont souvent fait l'objet, au plan théorique en tout cas, d'avancées au sein de la psychologie différentielle francophone (Lautrey, 1990 : de Ribaupierre, 1989b, 1993, 1996 ; Ohlmann, 1990, 1999). Un cerveau plus variable pourrait refléter une activité et un répertoire plus dynamiques, reflétant la disponibilité d'un plus grand nombre de processus.

L'évidence empirique n'est pas encore très abondante, mais va bien dans le sens de ces différentes hypothèses. Ainsi, McIntosh et son groupe ont effectivement montré, utilisant notamment des analyses PLS (*Partial Least Squares*), que l'activation cérébrale globale était moins variable chez les personnes âgées que chez les jeunes adultes (IRMf), et chez les enfants que chez les jeunes adultes (par électro-encéphalographie, EEG). La variance du signal BOLD rend également compte d'une part plus importante de la variance d'âge que la moyenne de ce même signal; ainsi, moyenne et écart-type rendent compte ensemble de près de 54% des différences d'âge, alors que l'écart-type rend compte de 27% à lui seul et la moyenne 5% seulement. Garrett *et al.* (2011 ; voir aussi Garrett *et al.* 2013b), utilisant trois tâches cognitives, ont également montré que les individus les plus rapides et les moins variables dans

les tâches cognitives présentaient une variabilité cérébrale plus élevée. Les travaux dans cette direction sont en train de se multiplier. Notons en passant que nous menons actuellement une étude en imagerie cérébrale sur les personnes âgées qui participent à notre étude longitudinale (Mella, de Ribaupierre, Eagleson, & de Ribaupierre, 2013). Trois aspects nous intéressent tout particulièrement. Tout d'abord, nous cherchons à répliquer certains des résultats du groupe de McIntosh, à savoir si les adultes âgés sont en effet moins variables au plan du signal BOLD global (IRMf) que les jeunes adultes tout en présentant une variabilité cognitive plus élevée dans leurs temps de réponse, et ceci par des analyses au niveau du groupe d'âge et par des analyses corrélationnelles. Ensuite, notre protocole d'imagerie comprend également une phase d'enregistrement DTI (« diffusion tensor imaging »), qui devrait nous permettre d'évaluer si, comme quelques études l'ont montré, une variabilité comportementale croissante s'accompagne d'une diminution de l'intégrité de la matière blanche (voir, par exemple, MacDonald, Nyberg, & Bäckman, 2006 ; Moy *et al.* 2011 ; Westlye *et al.*, 2010). Enfin, nous souhaiterions aussi mettre en relation le changement comportemental observé au plan longitudinal avec l'état de la matière blanche tel qu'enregistré durant la même période que la troisième passation.

Conclusion

L'objectif de ce chapitre était de documenter empiriquement l'importance de la Vii, en passant en revue un certain nombre d'études qui se sont penchées sur l'inconsistance (variabilité à court terme, au sein d'une même tâche), la dispersion (variabilité au travers de tâches différentes) ou le changement intra-individuel (changement à long terme, consécutif soit à un entraînement, soit à un changement d'âge), sans oublier évidemment la variabilité interindividuelle. Nous espérons avoir convaincu le lecteur (non différentialiste tout particulièrement) que la Vii est en effet très importante, et ne peut plus être négligée. On doit au contraire lui conférer un statut fondamental. Le présent plaidoyer ne fait que s'ajouter aux nombreuses alertes lancées par les différentialistes depuis de nombreuses années (par exemple, Reuchlin, Nesselroade, Molenaar, Lautrey, Ohlmann, de Ribaupierre, etc. – voir bibliographie). S'ajoute bien entendu à la Vii la forte variabilité interindividuelle – que personne ne conteste, tout en la reléguant à un objectif d'application -, et, ce qui est sans doute le plus intéressant, la variabilité interindividuelle dans la Vii (e.g., de Ribaupierre, 2003). Il serait intéressant de comparer l'ampleur de ces deux types de variabilité, interindividuelle et Vii, notamment inconsistance, mais une méthode permettant de les comparer au-delà d'un simple rapport, reste encore à développer (Salthouse, 2007; Fagot, Ludwig, Chicherio, & de Ribaupierre, 2010).

On a donc vu qu'il existe plusieurs types de Vii, qu'ils sont sujets à d'importantes différences d'âge, les enfants et les personnes âgées présentant généralement une Vii comportementale plus élevée que les jeunes adultes, du moins en ce qui concerne les épreuves analysées en temps de réponse. Le tableau est moins clair lorsqu'il s'agit d'évaluer les performances en termes de nombre de réponses correctes, sans qu'on ne puisse déterminer encore si cela dépend du type d'épreuve et de score, ou du fait que, dans ces épreuves-là, les réponses des jeunes adultes sont quantitativement plus élevées (nombre de réponses correctes), alors que les temps de réponse sont plus élevés chez les enfants et les adultes âgés. Il va de soi que, dans la plupart des études, les indices de variabilité ont été calculés une fois le niveau de performance contrôlé. On a enfin vu que la Vii, qu'il s'agisse d'inconsistance ou de dispersion, varie au travers des épreuves.

Au vu de ces résultats, il est fréquent que l'on demande ce que cette Vii, particulièrement l'inconsistance, signifie. La question nous semble cependant mal posée (voir aussi de Ribaupierre *et al.*, 2013). En effet, demande-t-on ce que signifie la moyenne ? Ou considère-t-on simplement que la moyenne résume la performance d'un individu, et on cherche à comprendre ce que ses variations peuvent signifier. Il devrait en aller de même pour l'inconsistance. Les données sont maintenant assez nombreuses pour penser qu'elle devrait être prise en considération si l'on veut un tableau un peu plus fidèle et complet de l'individu. Deux questions au moins nous semblent intéressantes à poser, néanmoins : à quoi peuvent être dues les variations dans l'inconsistance, et tout particulièrement les différences d'âge qui sont observées ? L'inconsistance donne-t-elle des indications redondantes, ou complémentaires à celles qui sont données par la moyenne et permet-elle d'autres prédictions ?

En ce qui concerne les différences d'âge dans l'inconsistance, il est intéressant de relever que la réponse ne sera pas forcément la même, selon qu'on s'intéresse au développement de l'enfant ou de l'adulte. Les travaux les plus nombreux ont porté sur l'adulte vieillissant, et l'on a alors le plus souvent considéré que l'inconsistance croissante traduisait un dysfonctionnement, tout comme une moyenne décroissante lorsqu'on s'intéresse au niveau moyen des performances. Cette interprétation a été confortée par l'inconsistance plus forte notée dans des groupes pathologiques, par exemple dans le cas de patients Alzheimer (cf Hultsch *et al.*, 2000) ou d'autres groupes pathologiques (pour une revue, voir par exemple Hultsch, Strauss, Hunter, & MacDonald, 2008), y inclus d'ailleurs dans des groupes d'enfants tels que des enfants ADHD (e.g., Borella, de Ribaupierre, Cornoldi, & Chicherio, 2013; Leth-Steensen, Elbaz, & Douglas, 2000). On a expliqué cette augmentation de l'inconsistance en termes neuro-fonctionnels (voir aussi MacDonald *et al.*, 2006). La relation observée, dans certaines études, entre intégrité de la matière blanche, notamment les hyper-intensités de la matière blanche, ou les paramètres DTI (diminution de l'anisotropie fractionnelle, c'est-à-dire de l'asymétrie de la diffusion par les

fibres), d'une part, et l'inconsistance d'autre part, va également dans le même sens (e.g., Fjell, Westlye, Amlien, & Walhovd, 2011). En revanche, deux ensembles d'observations plaident pour une interprétation moins univoque de l'inconsistance. D'une part, l'enfant présente aussi une inconsistance plus grande que le jeune adulte, et on ne peut clairement pas incriminer dans ce cas un mécanisme neuro-fonctionnel déficitaire ; tout au plus pourrait-on invoquer un manque de maturation (myélinisation dans le cas de l'enfant, démyélinisation dans le cas de l'adulte ?). D'autre part, les travaux de McIntosh et de ses collègues montrent que la variabilité cérébrale est plus forte chez le jeune adulte. Plusieurs chercheurs ont également montré que l'inconsistance augmente avec la complexité de la tâche. Dans ces derniers cas, l'inconsistance s'avère donc fonctionnelle ou adaptative. L'effet de l'âge sur l'inconsistance, tout comme celui que l'âge exerce sur la performance moyenne, est alors clairement différent selon la période de vie (e.g. de Ribaupierre, Poget, & Pons, 2006). De plus, il est fort probable que l'augmentation de l'inconsistance dépend de plusieurs mécanismes neuronaux, et pas d'un seul.

La deuxième question à se poser est celle de la spécificité de la variabilité intra-individuelle. Même s'il s'agit d'un phénomène fondamental, et non pas de bruit, on peut se demander si elle donne d'autres indications que celles reposant sur la moyenne. Mesurer la variabilité intra-individuelle requiert des plans d'expérience un peu plus lourds, et une approche méthodologique un peu plus complexe ; peut-être cette difficulté supplémentaire ne serait-elle pas nécessaire, si elle n'apporte pas d'informations complémentaires, hormis une meilleure connaissance de l'individu. On a vu plus haut, dans le cadre des travaux du groupe de McIntosh que la variabilité du signal cérébral prédit, à elle seule, plus de variance d'âge que la moyenne, en sus de la variance que moyenne et variabilité intra-individuelle cérébrale expliquent ensemble. Les résultats préliminaires de notre étude en imagerie cérébrale vont dans le même sens, à savoir que les paramètres DTI (notamment l'anisotropie fractionnelle) présentent plus de corrélations significatives avec l'inconsistance qu'avec la moyenne dans une tâche de temps de réaction. Des résultats semblables sont observés en ce qui concerne les relations entre inconsistance et performance cognitive. Par exemple, dans une étude dans laquelle ils ont observé des différences d'âge dans les trois types de variabilité (interindividuelle, inconsistance, dispersion) en utilisant plusieurs tâches de temps de réaction, Hultsch *et al.* (2002) ont recouru à des corrélations partielles; ils ont ainsi montré que l'inconsistance prédisait une part unique de variance dans des tâches cognitives (mémoire, vitesse, etc.) au-delà de la variance expliquée par la moyenne et par la variance partagée. Li, Aggen, Nesselroade, & Baltes, (2001) se sont intéressés au lien entre la variabilité de la performance sensori-motrice (six scores relatifs à la marche) sur plusieurs semaines, et la performance cognitive (plusieurs tâches de mémoire, elles aussi répétées). Outre l'importance de la variabilité intra-individuelle dans les deux types de tâches,

les auteurs ont montré, par des analyses de communauté («communality» analyses, voir Pedhazur, 1997) et des régressions hiérarchiques, que la variabilité sensori-motrice prédisait, de façon spécifique, une partie de la performance moyenne dans les tâches de mémoire plus importante que le niveau de performance sensori-motrice. Ainsi, ces différents travaux montrent que la variabilité intra-individuelle n'est pas redondante avec le niveau de performance mesuré par la moyenne.

Il est évident que nous manquons encore de données pour mieux comprendre les variations avec l'âge dans la variabilité intra-individuelle et étayer la spécificité de leur influence sur le fonctionnement cognitif. Il serait également nécessaire de mieux comprendre la différence entre variabilité dans les temps de réaction et variabilité dans les réponses correctes (par exemple dans des tâches de mémoire, ou des tâches d'intelligence), et leur changement avec l'âge. Pour emprunter le mot de la fin à Hultsch *et al.* (2008) dans un intéressant chapitre de synthèse : la recherche sur la variabilité intra-individuelle, la cognition et le développement (chez l'enfant comme chez l'adulte) connaît une forte croissance. Cependant, comparativement avec le corpus de données dont nous disposons pour la performance moyenne, la quantité d'information disponible actuellement est minuscule. Elle est suffisante pour nous convaincre que l'étude de la variabilité est cruciale, mais un travail substantiel est encore nécessaire pour mieux comprendre les phénomènes développementaux.

Références

- Allaire, J. C., & Marsiske, M. (2005). Intraindividual Variability May Not Always Indicate Vulnerability in Elders' Cognitive Performance. *Psychology and Aging, 20*, 390-401.
- Baltes, P. B. (1987). Theoretical propositions of life-span developmental psychology: on the dynamics between growth and decline. *Developmental Psychology, 23*, 611-626.
- Baltes, P. B., Lindenberger, U., & Staudinger, U. M. (1998). Life-span theory in developmental psychology. In W. Damon & R. M. Lerner (Eds.), *Handbook of child psychology* (5th ed). Volume 1: Theoretical models of human development (pp. 1029-1143). New York: Wiley.
- Baltes, P. B., & Nesselroade, J. R. (1979). History and rationale of longitudinal research. In P.B.Baltes & J. R. Nesselroade (Eds.), *Longitudinal research in the study of behavior and development* (pp. 1-39). New York: Academic Press.
- Biswal, B. B., Mennes, M., Zuo, X. N., Gohel, S., Kelly, C., Smith, S. M. *et al.* (2010). Toward discovery science of human brain function. *PNAS, 107*, 4734-4739.
- Borella, E., de Ribaupierre, A., Cornoldi, C., & Chicherio, C. (2013). Beyond interference control impairment in ADHD: Evidence from increased intraindividual variability in the color-stroop test. *Child Neuropsychology, 19*, 495-515.
- Christensen, H., Mackinnon, A., Jorm, A. F., Henderson, A. S., Scott, L. R., & Korten, A. E. (1994). Age Differences and Interindividual Variation in Cognition in Community-Dwelling Elderly. *Psychology and Aging, 9*, 381-390.
- Coste, C., Sadaghiani, S., Friston, K. J., & Kleinschmidt, A. (2011). Ongoing Brain Activity Fluctuations Directly Account for Intertrial and Indirectly for Intersubject Variability in Stroop Task Performance. *Cerebral Cortex, 21*, 2612-2619.

- Deary, I. J., & Der, G. (2005). Reaction Time, Age, and Cognitive Ability: Longitudinal Findings from Age 16 to 63 Years in Representative Population Samples. *Aging, Neuropsychology, and Cognition, 12*, 187-215.
- Dixon, R. A., Garrett, D. D., Lentz, T. L., MacDonald, S. W., Strauss, E., & Hultsch, D. F. (2007). Neurocognitive Markers of Cognitive Impairment: Exploring the Roles of Speed and Inconsistency. *Neuropsychology, 21*, 381-399.
- Fagot, D., Dirk, J., Ghisletta, P., & de Ribaupierre, A. (2009). Adults' versus children's performance on the Stroop task: Insights from ex-Gaussian analysis. *Swiss Journal of Psychology, 68*, 17-24.
- Fagot, D., Ludwig, C., Chicherio, C., & de Ribaupierre, A. (2010). *Exploration de la relation entre variabilité inter- et intra-individuelle dans la cognition*. Communication affichée aux XIXe Journées Internationales de Psychologie Différentielle, Marseille, France, 25-27 Août 2010.
- Faisal, A. A., Selen, L. P. J., & Wolpert, D. M. (2008). Noise in the nervous system. *Nature Reviews Neuroscience, 9*, 292-303.
- Fjell, A. M., Westlye, L. T., Amlien, I. K., & Walhovd, K. (2011). Reduced white matter integrity is related to cognitive instability. *Journal of Neuroscience, 31*, 18060-18072.
- Garrett, D. D., Kovacevic, N., McIntosh, A. R., & Grady, C. L. (2010). Blood Oxygen Level-Dependent Signal Variability Is More than Just Noise. *The Journal of Neuroscience, 30*, 4914-4921.
- Garrett, D. D., Kovacevic, N., McIntosh, A. R., & Grady, C. L. (2011). The Importance of Being Variable. *The Journal of Neuroscience, 31*, 4496-4503.
- Garrett, D. D., Kovacevic, N., McIntosh, A. R., & Grady, C. L. (2013a). The Modulation of BOLD Variability between Cognitive States Varies by Age and Processing Speed. *Cerebral Cortex, 23*, 684-693.
- Garrett, D. D., Samanez-Larkin, G. R., MacDonald, S. W. S., Lindenberger, U., McIntosh, A. R., & Grady, C. L. (2013b). Moment-to-moment brain signal variability: A next frontier in human brain mapping? *Neuroscience and Biobehavioral Reviews, 37*, 610-624.
- Grégoire, J. (2009). *L'examen clinique de l'intelligence de l'enfant. Fondements et pratique du WISC-IV* (2ème édition). Wavre, B.: Mardaga.
- Hesselman, G., Kell, C. A., & Kleinschmidt, A. (2012). Ongoing activity fluctuations in hMT+ bias the perception of coherent visual motion. *The Journal of Neuroscience, 28*, 14481-14485.
- Hofer, S. M. & Alwin, D. F. (Eds.) (2008). *Handbook of cognitive aging. Interdisciplinary perspectives*. Thousand Oaks, Ca., Sage Publications.
- Hofer, S. M., Sliwinski, M., & Flaherty, B. P. (2002). Understanding Ageing: Further Commentary on the Limitations of Cross-Sectional Designs for Ageing Research. *Gerontology, 48*, 22-29.
- Hultsch, D. F., MacDonald, S. W. S., Hunter, M. A., Levy-Bencheton, J., & Strauss, E. (2000). Intraindividual variability in cognitive performance in older adults: Comparison of adults with mild dementia, adults with arthritis, and healthy adults. *Neuropsychology, 14*, 588-598.
- Hultsch, D. F., MacDonald, S. W. S., & Dixon, R. A. (2002). Variability in Reaction Time Performance of Younger and Older Adults. *Journal of Gerontology: Psychological Sciences, 57B*, P101-P115.
- Hultsch, D. F., & MacDonald, S. W. S. (2004). Intraindividual variability in performance as a theoretical window into cognitive aging. In R.A.Dixon, L. Bäckman, & L. G. Nilsson (Eds.), *New frontiers in cognitive aging* (pp. 65-88). Oxford: Oxford University Press.
- Hultsch, D. F., Strauss, E., Hunter, M. A., & MacDonald, S. W. S. (2008). Intraindividual variability, cognition, and aging. In F.I.M.Craik & T. A. Salthouse (Eds.), *The handbook of aging and cognition* (3rd ed) (pp. 491-556). New York: Psychology Press.

- Kaufman, A. S. (1979). *Intelligent testing with the WISC-R*. New York: Wiley.
- Lautrey, J. (1980). La variabilité intra-individuelle du niveau de développement opératoire et ses implications théoriques. *Bulletin de Psychologie*, *345*, 685-697.
- Lautrey, J. (1987). *Structures et fonctionnements dans le développement cognitif*. Thèse d'Etat, Université de Paris V.
- Lautrey, J. (1990). Esquisse d'un modèle pluraliste du développement cognitif. In M.Reuchlin, J. Lautrey, C. Marendaz, & T. Ohlmann (Eds.), *Cognition: l'universel et l'individuel* (pp. 185-216). Paris: Presses Universitaires de France.
- Lautrey, J. (1993). Structure and variability: A plea for a pluralistic approach to cognitive development. In R. Case & W. Edelman (Eds.), *The new structuralism in cognitive development: Theory and research on individual pathways* (pp. 101-114). Basel: Karger.
- Lautrey, J. (2003). La psychologie différentielle à l'épreuve de la variabilité intraindividuelle. In A.Vom Hofe, H. Charvin, J. L. Bernaud, & D. Guédon (Eds.), *Psychologie différentielle – recherches et réflexions* (pp. 9-28). Rennes, France: Presses universitaires de Rennes.
- Lautrey, J., Mazoyer, B., & Van Geert, P. (Eds) (2002). *Invariants et variabilités dans les sciences cognitives*. Paris, Editions de la maison des sciences de l'homme.
- Lautrey, J., de Ribaupierre, A., & Rieben, L. (1986). Les différences dans la forme du développement cognitif: une application de l'analyse des correspondances. *Cahiers de Psychologie Cognitive*, *6*, 575-613.
- Leth-Steensen, C., Elbaz, Z. K., & Douglas, V. I. (2000). Mean response times, variability, and skew in the responding of ADHD children: a response time distributional approach. *Acta Psychologica*, *104*, 167-190.
- Li, S. C., Aggen, S. H., Nesselrode, J. R., & Baltes, P. B. (2001). Short-Term Fluctuations in Elderly People's Sensorimotor Functioning Predict Text and Spatial Memory Performance: The MacArthur Successful Aging Studies. *Gerontology*, *47*, 100-116.
- Li, S. C., Lindenberger, U., Hommel, B., Aschersleben, G., Prinz, W., & Baltes, P. B. (2004). Transformations in the Couplings Among Intellectual Abilities and Constituent Cognitive Processes Across the Life Span. *Psychological Science*, *15*, 155-163.
- Lindenberger, U. & von Oertzen, T. (2006). Variability in cognitive aging: From taxonomy to theory. In E.Bialystok & F. I. M. Craik (Eds.), *Lifespan cognition. Mechanisms of change*. (pp. 297-314). Oxford: Oxford University Press.
- Lindenberger, U., von Oertzen, T., Ghisletta, P., & Hertzog, C. (2011). Cross-sectional age variance extraction: What's change got to do with it? *Psychology and Aging*, *26*, 34-47.
- Longeot, F. (1969). *Psychologie différentielle et théorie opératoire de l'intelligence*. Paris: Dunod.
- Longeot, F. (1978). *Les stades opératoires de Piaget et les facteurs de l'intelligence*. Grenoble: Presses Universitaires de France.
- MacDonald, S. W. S., Hultsch, D. F., & Dixon, R. A. (2003). Performance Variability Is Related to Change in Cognition: Evidence From the Victoria Longitudinal Study. *Psychology and Aging*, *18*, 510-523.
- MacDonald, S. W. S., Nyberg, L., & Bäckman, L. (2006). Intra-individual variability in behavior: links to brain structure, neurotransmission and neuronal activity. *Trends in Neurosciences*, *29*, 474-480.
- Margulies, D. S., Böttger, J., Long, X., Lv, Y., Kelly, C., Schäfer, A. *et al.* (2010). Resting developments: a review of fMRI post-processing methodologies for spontaneous brain activity. *Magnetic Resonance Materials in Physics, Biology and Medicine*, *23*, 289-307.
- McIntosh, A. R., Kovacevic, N., Lippe, S., Garrett, D. D., Grady, C. L., & Jirsa, V. (2010). The development of a noisy brain. *Archives italiennes de biologie*, *148*, 323-337.

- Mella, N., de Ribaupierre, S., Eagleson, R., & de Ribaupierre, A. (in press). Cognitive intraindividual variability and white matter integrity in aging. *The Scientific World Journal*.
- Moy, G., Millet, P., Haller, S., Baudois, S., de Bilbao, F., Weber, K. *et al.* (2011). Magnetic resonance imaging determinants of intraindividual variability in the elderly: combined analysis of grey and white matter. *Neuroscience*, 186, 88-93.
- Nesselroade, J. R. (1991). The warp and woof of the developmental fabric. In R.M.Downs, L. S. Liben, & D. S. Palermo (Eds.), *Views of development, the environment, and aesthetics: The legacy of Joachim F. Wohlwill* (pp. 213-240). Hillsdale, N. J.: Lawrence Erlbaum.
- Nesselroade, J. R. (2004). Intraindividual Variability and Short-Term Change. *Gerontology*, 50, 44-47.
- Nesselroade, J. R. & Salthouse, T. A. (2004). Methodological and Theoretical Implications of Intraindividual Variability in Perceptual-Motor Performance. *Journal of Gerontology: Psychological Sciences*, 59B, 49-55.
- Ohlmann, T. (1990). Les systèmes perceptifs spatiaux vicariants. In M. Reuchlin, J. Lautrey, C. Marendaz, & T. Ohlmann (Eds.), *Cognition: l'individuel et l'universel* (pp. 21-58). Paris: Presses Universitaires de France.
- Ohlmann, T. (1999). Groupes, typologies, styles et vicariants. In P.Y.Gilles (Ed.), *Psychologie différentielle* (pp. 223-266). Rosny: Bréal.
- Pedhazur, E. J. (1997). *Multiple regression in behavioral research. Explanation and prediction* (3rd ed). Fort Worth: Harcourt Brace College Publishers.
- Piaget, J. (1971). The theory of stages in cognitive development. In D.R.Green, M. P. Ford, & G. B. Flamer (Eds.), *Measurement and Piaget* (pp. 1-11). New York: McGraw Hill.
- Piaget, J. & Inhelder, B. (1941). *Le développement des quantités chez l'enfant*. Neuchâtel: Delachaux et Niestlé.
- Raichle, M. E. & Snyder, A. Z. (2007). A default mode of brain function: A brief history of an evolving idea. *Neuroimage*, 37, 1083-1090.
- Reuchlin, M. (1966). La psychologie différentielle. *Revue de l'Enseignement Supérieur*, 2-3, 111-116.
- Reuchlin, M. (1978). Processus vicariants et différences individuelles. *Journal de Psychologie*, 2, 133-145.
- Reuchlin, M. (1981). Apports de la méthode différentielle à la psychologie générale. *Journal de Psychologie*, 4, 377-395.
- Reuchlin, M. & Bacher, F. (1989). *Les différences individuelles dans le développement cognitif*. Paris: Presses Universitaires de France.
- de Ribaupierre, A. (1975). *Mental space and formal operations*. PhD University of Toronto.
- de Ribaupierre, A. (1989a). On the use of longitudinal research in developmental psychology. In A. de Ribaupierre (Ed.), *Transition mechanisms in child development: The longitudinal perspective* (pp. 297-317). New York: Cambridge University Press.
- de Ribaupierre, A. (1989b). Operational development and cognitive style: A review of french literature and a neo-Piagetian reinterpretation. In T.Globerson & T. Zelniker (Eds.), *Cognitive style and cognitive development* (pp. 86-115). Norwood,N.J: Ablex.
- de Ribaupierre, A. (1993). Structural and individual differences: On the difficulty of dissociating developmental and differential processes. In R. Case & W. Edelman (Eds.), *The new structuralism in cognitive development: Theory and research on individual pathways* (pp. 11-32). Basel: Karger.
- de Ribaupierre, A. (1996). Variability and cognitive development : Commentary. *Polish Quarterly of Developmental Psychology*, 2, 97-104.

- de Ribaupierre, A. (1998). Développement cognitif et différences individuelles. In M. Sabourin, F.I.M. Craik, & M. Robert (Eds.), *Advances in psychological science*. Vol.2: Biological and Cognitive aspects (pp. 531-555). Hove, UK: Psychology Press.
- de Ribaupierre, A. (2003). De la spécificité de la psychologie différentielle et de la difficulté d'articuler différences individuelles et différences développementales. In A.Vom Hofe, H. Charvin, J. L. Bernaud, & D. Guédon (Eds.), *Psychologie différentielle: recherches et réflexions* (pp. 29-43). Rennes: Presses Universitaires de Rennes.
- de Ribaupierre, A. & Bailleux, C. (1995). Development of attentional capacity in childhood: A longitudinal study. In F.E.Weinert & W. Schneider (Eds.), *Memory performance and competencies: Issues in growth and development* (pp. 45-70). Hillsdale, N.J: Lawrence Erlbaum.
- de Ribaupierre, A., Chicherio, C., Fagot, D., Dirk, J., Lecerf, T., & Ghisletta, P. (2013). Variabilité inter- et intra-individuelle dans le fonctionnement cognitif au travers du cycle de vie. In P.-Y. Gilles & M. Carlier (Eds.), *Vive(nt) les différences. Psychologie différentielle fondamentale et applications*. (pp. 97-102). Aix-en-Provence: Presses universitaires de Provence.
- de Ribaupierre, A., Fagot, D., & Lecerf, T. (2011). Working memory capacity and its role in cognitive development. In P.Barrouillet & V. Gaillard (Eds.), *Cognitive development and working memory* (pp. 105-133). Hove, East Sussex: Psychology Press.
- de Ribaupierre, A., & Pascual-Leone, J. (1979). Formal operations and M-Power: A neo-Piagetian investigation. In D. Kuhn (Ed.), *Intellectual development beyond childhood* (New Directions in Child Development) (pp. 1-43). San Francisco: Jossey-Bass.
- de Ribaupierre, A., Poget, L., & Pons, F. (2006). The age variable in cognitive developmental psychology. In C.Sauvain-Dugerdil, H. Leridon, & N. Mascie-Taylor (Eds.), *Human clocks. The bio-cultural meanings of age*. (pp. 101-123). Bern: Peter Lang.
- Rieben, L., de Ribaupierre, A., & Lautrey, J. (1986). Une définition structuraliste des formes du développement cognitif: un projet chimérique. *Archives de Psychologie*, 54, 95-123.
- Rieben, L., de Ribaupierre, A., & Lautrey, J. (1990). Structural invariants and individual modes of processing: On the necessity of a minimally structuralist approach of development for education. *Archives de Psychologie*, 58, 29-53.
- Rutter, M. (Ed.) (1988). *Studies of psychological risk. The power of longitudinal data*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Salthouse, T. A. (2007). Implications of Within-Person Variability in Cognitive and Neuropsychological Functioning for the Interpretation of Change. *Neuropsychology*, 21, 401-411.
- Salthouse, T. A. (2010). *Major issues in cognitive aging*. New York: Oxford University Press
- Salthouse, T. A. (2012). Psychometric Properties of Within- Person Across-Session Variability in Accuracy of Cognitive Performance. *Assessment*, XX, 1-8.
- Salthouse, T. A., & Berish, D. E. (2005). Correlates of Within-Person (Across-Occasion) Variability in Reaction Time. *Neuropsychology*, 19, 77-87.
- Salthouse, T., Nesselroade, J., & Berish, D. E. (2006). Short-term variability in cognitive performance and the calibration of longitudinal change. *Journal of Gerontology: Psychological Sciences*, 61B[3].
- Schaie, K. W. (1983). The Seattle longitudinal study: A 21-year exploration of psychometric intelligence in adulthood. In K.W. Schaie (Ed.), *Longitudinal studies of adult psychological development* (pp. 64-135). New York: The Guilford Press.
- Schaie, K. W. (1990). Intellectual development in adulthood. In J.E. Birren & K. W. Schaie (Eds.), *Handbook of the psychology of aging* (3rd edition) (pp. 291-309). San Diego: Academic Press.
- Schaie, K. W. (1996). *Intellectual development in adulthood. The Seattle longitudinal study*. Cambridge: Cambridge University Press.

- Schaie, K. W. (2000). The impact of longitudinal studies on understanding development from young adulthood to old age. *International Journal of Behavioral Development, 24*, 257-266.
- Schaie, K. W. (2005). *Developmental influences on adult intelligence. The Seattle longitudinal study*. Oxford: Oxford University Press.
- Shammi, P., Bosman, E., & Stuss, D. T. (1998). Aging and variability in performance. *Aging, Neuropsychology, and Cognition, 5*, 1-13.
- Siegler, R. S. (1994). Cognitive Variability: A Key to Understanding Cognitive Development. *Current Directions in Psychological Science, 3*, 1-5.
- Siegler, R. S. (1996). *Emerging minds. The process of change in children's thinking*. New York: Oxford University Press.
- Siegler, R. S. (2006). Inter- and intra-individual differences in problem solving across the lifespan. In E. Bialystok & F. I. M. Craik (Eds.), *Lifespan cognition. Mechanisms of change* (pp. 285-296). Oxford: Oxford University Press.
- Siegler, R. S. (2007). Cognitive variability. *Developmental Science, 10*, 104-109.
- Sliwinski, M., & Buschke, H. (1999). Cross-sectional and longitudinal relationships among age, cognition, and processing speed. *Psychology and Aging, 14*, 18-33.
- Spieler, D. H., & Faust, M. E. (1996). Stroop performance in healthy younger and older adults and in individuals with dementia of the Alzheimer's type. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance, 22*, 461-479.
- Spieler, D. H., & Faust, M. E. (2000). Levels of selective attention revealed through analyses of response time distributions. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance, 26*, 506-526.
- Van Geert, P. (1998a). A dynamic systems model of basic developmental mechanisms. Piaget, Vygotsky, and beyond. *Psychological Review, 105*, 634-677.
- Van Geert, P. (1998b). Dynamic modeling of cognitive and language development: from growth processes to sudden jumps and multimodality. In K.M. Newell & P. C. M. Molenaar (Eds.), *Applications of nonlinear dynamics to developmental process modeling* (pp. 129-160). Mahwah, New Jersey: Lawrence Erlbaum Associates, Inc.
- Van Geert, P. (2011). The Contribution of Complex Dynamic Systems to Development. *Child Development Perspectives, 5*, 272-278.
- von Franz, M. L. (1975). *C.G. Jung : son mythe en notre temps*. Paris: Buchet-Chastel.
- Weinert, F. E., & Helmke, A. (1998). The neglected role of individual differences in theoretical models of cognitive development. *Learning and Instruction, 8*, 309-323.
- West, R., Murphy, K. J., Armilio, M. L., Craik, F. I. M., & Stuss, D. T. (2002). Lapses of Intention and Performance Variability Reveal Age-Related Increases in Fluctuations of Executive Control. *Brain and Cognition, 49*, 402-419.
- Westlye, L. T., Walhovd, K., Dale, A. M., Bjornerud, A., Due-Tonnessen, P., Engvig, A. *et al.* (2010). Life-Span Changes of the Human Brain White Matter: Diffusion Tensor Imaging (DTI) and Volumetry. *Cerebral Cortex, 20*, 2055-2068.
- Williams, B. R., Hultsch, D. F., Strauss, E. H., Hunter, M. A., & Tannock, R. (2005). Inconsistency in Reaction Time Across the Life Span. *Neuropsychology, 19*, 88-96.