

MÉMOIRES ORIGINAUX

Laboratoire de Psychologie différentielle^{1*}
Laboratoire du Développement
et de l'Éducation de l'Enfant^{2**}

ASPECTS GÉNÉTIQUES ET DIFFÉRENTIELS DU FONCTIONNEMENT COGNITIF LORS DE TÂCHES DE SÉRIATION

par Jacques LAUTREY*, Jacqueline BIDEAUD*,
et Marie-Agnès PIERRE-PUYSEGUR**

SUMMARY : Developmental and differential aspects of cognitive functioning.

Seriation performances were observed among 120 children. Three factors were considered : 1) the child's age (from 6;5 to 10;0) ; 2) the type of experimental situation (classical seriation task and two revised seriation tasks called « Tunnel » and « Ecran-question », in which empirical cues are reduced) ; 3) the cognitive style (DIC). The analysis was conducted in regard to : 1) the use or not of a method (local acting opposed to methods (algorithmic or not)) ; 2) the type of method (extremum, voisin, insertion, permutation) ; 3) the type of procedure used for each method. The effect of age is mainly observed upon the passage from local acting to methods, and upon the increment of spontaneous verifications. The effect of cognitive style appears only in the Tunnel situation in which the use of a method is more observed among independent children. The specific analysis of the procedures used for each method reveals, in the evolution of seriation performance, the role of : imagery representation taking in account the spatial properties of serial order, memory and actions planification. Logical properties of serial order don't seem to have a functional role for the resolution of seriation problems.

Key words : seriation, procedure, spatial representation.

1* 41, rue Gay-Lussac, 75005 Paris.

2** 46, rue Saint-Jacques, 75005 Paris.

Au cours des quinze dernières années, un intérêt accru s'est manifesté pour le développement chez l'enfant des conduites de sériation. Les recherches, dans ce domaine, se répartissent en deux groupes, selon qu'elles privilégient plus particulièrement l'étude de la sériation ou celle de l'inférence transitive.

Les expériences de l'école de Trabasso (Bryant et Trabasso, 1971 ; Trabasso, Riley et Wilson, 1975 ; Riley, 1976 ; Trabasso, 1977) ont été déterminantes dans l'évolution des recherches consacrées à l'inférence transitive et à la sériation. Elles montrent que l'apprentissage des prémisses dans un paradigme expérimental à six éléments ($A > B > C > D > E > F$), conduit à des réponses correctes, dès l'âge de 4 ans, sur les paires inférentielles non apprises : par exemple, BD, BE, CE, AC, AE, AD, etc. L'analyse, au cours de l'apprentissage, de la répartition des erreurs selon les paires adjacentes considérées, et l'analyse des temps de réaction à la phase-test, mettent surtout en évidence l'existence d'une représentation de l'ordre linéaire à propriétés spatiales. Deux modèles peuvent rendre compte de sa construction. Dans l'un, les informations sont codées en mémoire, au cours de l'apprentissage des prémisses, dans un ordre qui va des extrêmes de la série vers le centre (modèle *ends-enward*) ; c'est alors la distance entre les membres des paires qui joue un rôle important à la phase-test. Dans l'autre, des gradients d'association entre les éléments, A, B, C, etc. et l'étiquetage verbal comparatif qui leur est associé (A plus grand que B, B plus grand que C, etc.) se construisent au cours de l'entraînement. Un code dimensionnel peut alors être engendré pour chaque élément sur une échelle long-court (ou l'inverse) ; à la phase-test ce sera l'élément qui possède la plus grande force relative d'association avec le terme comparatif utilisé dans la question qui sera choisi.

Ces expériences ont été déterminantes parce qu'elles mettent résolument l'accent sur le fonctionnement cognitif du sujet. On assiste ici à une inversion de la démarche expérimentale suivie à partir des travaux princeps de Piaget et Szeminska (1941), Piaget et Inhelder (1959). Il ne s'agit plus de chercher dans les conduites du sujet la manifestation, ou l'absence, d'une structuration logique, correspondant au groupement de relations asymétriques transitives. Il s'agit d'inférer, à partir de l'observation des patterns individuels de comportement, les processus de codage et de traitement des données qui assurent la résolution du problème. Le rôle de la mémoire et de son organisation est

ici prévalent. On doit ajouter que les multiples reprises du paradigme expérimental de Trabasso *et al.* tendent à démontrer que l'évolution, au cours du développement, serait celle de l'utilisation stratégique de l'ordre sériel dans les situations où elle n'est ni évidente, ni facilitée (cf. entre autres : Adams, 1978 ; Kallio, 1982 ; Perner et Mansbridge, 1983).

Ces travaux ne sont pas sans parenté avec les études de la sérialion dont l'objectif plus ou moins explicite est celui d'une jonction entre la théorie piagétienne et l'approche fonctionnaliste du cognitivisme anglo-saxon. Cette jonction s'est opérée principalement à propos du décalage horizontal entre sérialion des longueurs et sérialion des poids. On sait que l'interprétation piagétienne de ce décalage fait appel à deux facteurs : tout d'abord les facteurs perceptifs (les poids sont plus difficilement perçus simultanément que les longueurs) ; ensuite et surtout la résistance de « l'objet-poids » à la structuration du sujet.

Baylor et Lemoyne (1975), Lemoyne et Baylor (1979) démontrent que, seuls, les premiers facteurs sont en cause, car contrairement aux longueurs on ne peut évaluer les poids que deux à deux. Les auteurs construisent une situation expérimentale où les longueurs en désordre sont insérées dans des tubes et où les sujets, pour réaliser la série, ne peuvent ouvrir que deux tubes à la fois. Dans cette situation, la sérialion des longueurs apparaît au même âge (9-10 ans) que celle des poids. Selon les auteurs (et principalement selon Lemoyne et Baylor, 1979), l'évolution qui permet la réussite à la sérialion des longueurs cachées et à celle des poids serait liée à une modification *quantitative* des processus d'anticipation et de mémorisation. On se rapproche ici des hypothèses de Trabasso *et al.* Les difficultés rencontrées, lors de la sérialion des poids et des longueurs cachées, par l'enfant qui réussit la sérialion classique à l'aide d'une méthode systématique, paraissent bien davantage d'*ordre fonctionnel que d'ordre structural*.

Un autre intérêt des études canadiennes réside dans l'utilisation qu'elles ont faite de la situation des « longueurs cachées », situation reprise par Gilliéron (1976, 1977) et par Retschitzki (1978), qui permet l'observation fine de procédures diverses de résolution. Gilliéron raffine les épreuves : épreuve des Tunnels analogue à celle de Baylor et Lemoyne ; épreuve dite Ecran-questions où disparaissent les indices perceptifs, les seules informations données étant verbales. A la suite de diverses obser-

vations, Gilliéron remet en cause l'utilisation d'opérations logico-mathématiques, et cela même à partir de 10 ans. L'auteur souligne l'importance des activités spatiales liées à la représentation de la série : l'enfant « fixe la position des éléments en travaillant avec des représentations figurales, à la fois globales et locales. La forme générale des séries détermine l'établissement de relations locales. L'escalier dicte quel élément doit être voisin d'un élément déjà placé. L'enfant peut, à chaque instant, chercher le voisin sans qu'il lui soit nécessaire d'anticiper le rang de chaque élément » (Gilliéron, 1977, 201-202). Il semble bien ici que le recours à la transitivité ne soit plus le facteur explicatif pertinent.

Des observations du même type sont réalisées par Retschitzki (1978) qui utilise la simulation des procédures. L'auteur note que l'utilisation d'une méthode systématique ne témoigne pas d'elle-même de la prise en compte de la transitivité et que la dimension génétique ne rend pas compte de la variabilité des procédures. Le niveau de développement déterminerait uniquement « ... un ensemble de méthodes possibles parmi lesquelles le sujet opère un choix (plus ou moins conscient) en fonction des différents éléments de la situation tels qu'il les appréhende » (1978, p. 57). Ce caractère non pertinent de la dimension génétique se révèle par ailleurs au vu des résultats de la sériation des poids de 10 jeunes adultes (Retschitzki, 1979). La majorité d'entre eux ne réussit que par tâtonnement, huit sujets seulement utilisent une méthode systématique (qui n'est pas pour autant d'emblée algorithmique) et huit autres échouent complètement. L'adaptation plus ou moins difficile aux caractéristiques de la tâche suggère que les procédures de sériation s'apparentent, au-delà de la spécificité de la situation, aux procédures générales de résolution de problème. C'est d'ailleurs dans cette voie que s'engage Retschitzki (1982), en s'appuyant sur les conceptions théoriques développées par Newell et Simon (1972). Le passage des procédures frustes aux procédures plus élaborées serait lié à la représentation (ou conception) de l'état final, celle-ci dépendant des propriétés spatiales de la série qui sont retenues, et du degré de prise de conscience du résultat des actions.

Une autre voie de recherche a été celle de l'apprentissage des algorithmes de sériation, dans les situations des poids et des longueurs cachées. Celui-ci apparaît relativement facile chez les sujets qui réussissent la sériation classique, quel que soit

l'algorithme et le type d'apprentissage (Gileau, 1977 ; Padilla et Smith, 1979 ; Bideaud, 1985). L'analyse comparative des procédures d'entraînement et des résultats de ces expériences révèle que, pour être efficace, l'apprentissage doit proposer ouvertement ou susciter une planification des actions nécessaires et suffisantes. L'induction explicite ou implicite doit être celle d'une coordination entre buts et sous-but^s (Bideaud, 1985).

La synthèse que l'on peut faire des résultats et interprétations relatifs aux recherches consacrées à la transitivité et à la sérialion met en relief certains points importants. Tout d'abord le schéma logique piagétien, qui prend en compte l'utilisation de la transitivité logique, ne rend plus compte de certains résultats, tels les échecs des enfants dits « opératoires » lorsque les indices perceptifs sont réduits, ni même, dans cette situation, de l'utilisation de méthodes systématiques. En second lieu, l'accent est mis sur le rôle déterminant de la représentation de l'ordre sériel, conçue comme l'intégration en mémoire d'informations d'ordre spatial, sous une forme imagée, ou linguistique. En troisième lieu, l'intérêt porte délibérément sur l'aspect fonctionnel des conduites et non plus seulement sur l'aspect structural. Il est vrai que certains auteurs naviguent malaisément entre la théorie opératoire et la perspective de traitement de l'information, ce qui conduit le plus souvent à n'étudier les méthodes de sérialion que relativement, soit à la structure piagétienne, soit à des algorithmes modèles (tels ceux de Frey, 1964 ; de Nguyen-Xuan, 1976), soit à des programmes de simulation (Baylor et Gascon, 1974 ; Retschitzki, 1978, 1979). On a dit plus haut l'insuffisance de la théorie opératoire. Quant aux modèles et programmes de simulation, les recherches qui les utilisent se révèlent, de l'avis même de Retschitzki, « plus intéressantes par les faits nouveaux qui ont été mis en évidence (nouvelles stratégies identifiées, par exemple) que par l'apport des modèles eux-mêmes (1981, p. 7).

Nous faisons l'hypothèse qu'à 7-8 ans, âge de la sérialion classique, l'organisation des procédures ne repose pas sur la prise en compte de la transitivité mais sur celle de relations spatiales plus ou moins élaborées. Nous faisons également l'hypothèse que la transitivité n'est pas nécessaire à la réussite des enfants, dans les situations où les indices perceptifs sont réduits. La représentation de certaines propriétés spatiales de la série, jointe à la mémorisation d'indices perceptifs, peut y suffire.

Pour mettre ces hypothèses à l'épreuve, trois variables indépendantes susceptibles d'affecter la nature et le rôle de la représentation ont été utilisées :

1. L'âge ;

2. La variation des informations perceptives sur les grandeurs des éléments à sérier. Les mêmes sujets réalisent la sériation de 8 baguettes dans trois situations différentes : l'une où toutes les baguettes sont perceptibles, une autre où les baguettes sont cachées sous des tunnels et où les sujets ne peuvent en regarder que deux à la fois, une troisième enfin où les grandeurs des baguettes ne sont pas perçues, l'information sur les relations étant donnée verbalement ;

3. Les différences individuelles de style cognitif.

Dans la situation où les baguettes sont cachées sous des tunnels et où le sujet ne peut en regarder que deux à la fois, la perception d'un alignement d'éléments de couleurs identiques à celles des baguettes (les tunnels), mais tous de même taille, peut interférer avec la représentation générale de la série, aussi bien qu'avec son utilisation fonctionnelle pour organiser en mémoire de travail les informations perçues en soulevant les tunnels. Or on sait que certains sujets, particulièrement dépendants du champ perceptif, ont des difficultés à séparer les informations en représentation des informations perceptives lorsqu'elles sont en conflit. Si notre hypothèse est correcte, ces sujets devraient avoir une difficulté particulière dans la sériation sous tunnels, et dans celle-ci seulement, à conserver l'articulation entre les procédures locales de recherche de l'information et l'objectif général poursuivi (faute de pouvoir s'appuyer sur la représentation des propriétés spatiales de la série, suffisantes pour pouvoir réaliser cette articulation).

L'effet de ces variables indépendantes est étudié sur trois variables dépendantes :

1. La réussite ou l'échec du problème de sériation ;

2. Les méthodes de sériation ;

3. Les procédures qui permettent la réalisation de ces méthodes.

La définition des méthodes et procédures suppose une analyse qualitative préalable des conduites observées qui a été effectuée sans chercher à leur appliquer un modèle *a priori*, notamment en ce qui concerne les procédures s'éloignant le plus des modèles de simulation.

MÉTHODE

1. POPULATION

L'expérience a porté sur 120 enfants répartis en 6 groupes d'âge (20 enfants par groupe), dont les moyennes d'âge respectives sont les suivantes : 6,5 ; 7,0 ; 7,6 ; 8,0 ; 9,0 ; 10,0.

2. PROCÉDURE

1 — *Procédure générale*

Tous les sujets, sauf ceux du premier groupe d'âge, ont passé quatre épreuves, deux de ces épreuves étant données lors d'une première séance, les deux autres lors d'une seconde. Un intervalle de deux mois sépare les deux séances dans lesquelles les épreuves sont réparties comme suit.

Première séance : évaluation de la dépendance-indépendance à l'égard du champ (DIC) à l'aide du Children Embedded Figures Test (CEFT) de Witkin, Oltman, Raskin et Karp (1971) et sérialion classique des longueurs. Les sujets du premier groupe d'âge ne passent que ces deux épreuves.

Deuxième séance : épreuve dite des Tunnels où seules les comparaisons par couples sont possibles et épreuve dite Ecran-questions où les indices relatifs aux longueurs ne sont donnés que verbalement. Pour ces deux épreuves de la seconde séance ne sont retenus que les sujets qui réussissent la sérialion classique avec intercalation de baguettes nouvelles dans la série construite.

2 — *Les épreuves*

a / *Le CEFT*

L'épreuve consiste à reconnaître une figure simple, préalablement examinée et conservée en représentation, au sein de figures complexes où elle est intriquée. Le test comprend 25 items. Chaque item est noté 0 ou 1, le score maximal étant 25.

b / *Sérialion classique des longueurs*

L'épreuve se déroule en deux temps :

- sérialion classique de 7 baguettes dont la longueur varie de 10,5 à 13 cm avec des écarts de 4 mm ;
- intercalation de 3 nouvelles baguettes dans la série constituée.

c / *Epreuve des Tunnels*

Cette épreuve est empruntée à Gilliéron (1976, p. 148-149). Le matériel comporte 8 baguettes dont la longueur varie de 10 à 17 cm avec des différences régulières de 1 cm. Les baguettes sont de couleurs différentes, chacune d'elles étant assortie à un tunnel de même couleur qui la recouvre. Les tunnels sont tous de même longueur.

Passation : L'enfant est averti que les baguettes sont disposées en désordre sous les tunnels et qu'il doit les ranger de la plus grande à la plus petite (ou l'inverse) mais en ayant le droit de ne soulever que deux tunnels à la fois. Un exercice de familiarisation est préalable à l'épreuve proprement dite.

Lorsque l'enfant décrète qu'il a terminé, l'expérimentateur l'invite à vérifier la correction de sa réalisation avec toujours la restriction en ce qui concerne les comparaisons.

d / *Epreuve Ecran-questions*

Comme pour les Tunnels, cette épreuve est empruntée à Gilliéron (1976, p. 151). Le matériel comprend 8 baguettes de couleurs différentes dont les longueurs croissent régulièrement de 10 à 17 cm. Ces baguettes sont suspendues par un crochet à un rail fixé horizontalement sur toute la largeur d'un panneau de bois (écran). Les baguettes dépassent uniformément l'écran d'environ 8 mm. Elles peuvent être facilement accrochées et décrochées du côté du panneau où leur longueur totale est invisible. Un exercice préalable, réalisé avec un autre écran et une série de baguettes ayant toutes la même couleur, permet à l'enfant de se familiariser avec les manipulations.

Passation : Le « bon côté » de l'écran est du côté de l'expérimentateur. L'enfant ne voit que les extrémités colorées des 8 baguettes. On lui signale que la série est en désordre et qu'il doit la remettre en ordre en posant des questions à l'expérimentateur : « La rouge est-elle plus grande (ou plus petite) que la verte ? etc. » Dès la réponse de l'expérimentateur l'enfant peut décrocher les baguettes et les mettre dans l'ordre désiré sans avoir jamais d'informations sur leur taille.

A la fin de l'épreuve, comme pour les Tunnels, l'expérimentateur demande à l'enfant de vérifier la correction de la série réalisée, toujours avec la même procédure qui ne permet de regarder que deux baguettes à la fois.

3 – *Dépouillement et cotation*

L'épreuve de sériation classique est réussie lorsque l'enfant a effectué correctement la série de sept baguettes avec une méthode systématique et que cette sériation est suivie de l'intercalation de trois baguettes supplémentaires.

Les épreuves Tunnels et Ecran-questions sont réussies lorsque la série effectuée est correcte quelle que soit la méthode utilisée. En ce qui concerne ces deux épreuves, on trouvera en annexe un exemple de protocole. Dans chacun des protocoles se trouvent notés :

- les baguettes regardées et la manière dont elles sont regardées, seules ou deux à deux, dans ce dernier cas on note s'il y a un rapprochement spatial des baguettes ou si elles sont simplement regardées ;
- les placements et les déplacements des baguettes.

Les activités de l'enfant dans ces deux épreuves sont réparties en *séquences*, chaque séquence comprend ce qui est réalisé entre deux placements.

L'ensemble des séquences apporte des informations objectives qui permettent de discriminer :

- la nature de la méthode ou stratégie générale poursuivie ;
- le genre et le type de procédure mis en œuvre pour réaliser cette méthode ;
- les vérifications spontanées effectuées en cours de route par l'enfant ;
- la méthode (ou la procédure locale) utilisée lors de la vérification imposée.

On a considéré qu'un sujet utilisait une méthode ou une procédure lorsque celle-ci était observée pour le moins dans les deux tiers des séquences (critère strict).

RÉSULTATS

1. MÉTHODES ET PROCÉDURES OBSERVÉES

Il s'agit ici des méthodes et des procédures observées aux deux épreuves ; Tunnels et Ecran-questions, chez les sujets âgés de 7;0 à 10;0 (âges moyens). On rappelle que tous ces enfants ont réussi la sérialion classique, réussite pour laquelle on peut les créditer de l'utilisation efficace d'un schème anticipateur.

Pour les deux épreuves, Tunnels et Ecran-questions, le dépouillement des protocoles, effectué selon les critères objectifs cités ci-dessus, a permis de distinguer les sujets qui ont suivi une méthode de ceux qui, apparemment, n'en ont suivi aucune. *La méthode* caractérise une démarche spécifique du sujet sous-tendue par un schème anticipateur, ou stratégie dirigée vers un but défini. La non-utilisation d'une méthode ne permet pas d'inférer l'absence totale de schème anticipateur ; elle permet,

au plus, de conclure à l'impossibilité pour l'enfant d'utiliser ce schème de manière fonctionnelle dans les situations expérimentales proposées.

On trouvera dans la figure 1 le répertoire des méthodes et des procédures mises en œuvre par les sujets de notre échantillon.

Il faut noter que pour la majorité des enfants la méthode et la procédure ne se dessinent vraiment qu'à partir de la troisième ou quatrième séquence, c'est-à-dire après le placement de deux ou trois baguettes.

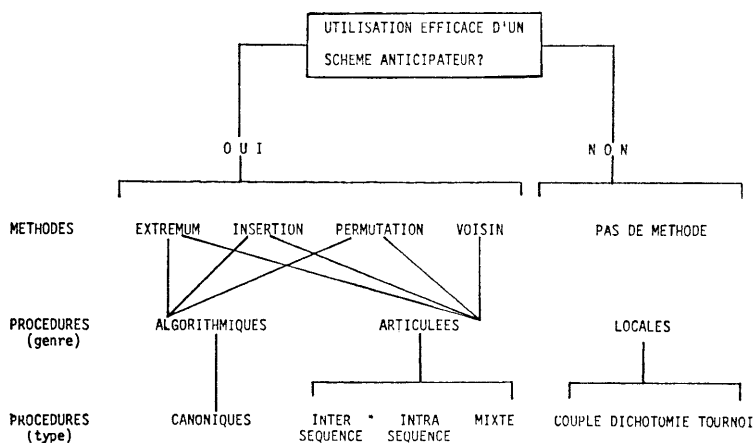


Fig. 1. — Répertoire des méthodes et procédures utilisées par les enfants de notre échantillon

Schematic representation of strategies, methods and procedures used by our tested children

1 — Méthodes

Quatre méthodes ont été mises en évidence : l'Extremum¹, le Voisin, l'Insertion et la Permutation.

Extremum. La méthode consiste à chercher dans l'ensemble non ordonné présenté, l'un des extrêmes (le plus petit ou le plus grand) et à réitérer la recherche dans les ensembles non ordonnés restants.

Voisin. On peut considérer cette méthode comme une variante de l'Extremum. L'enfant reprend systématiquement la der-

1. Ce terme est emprunté à Retschitzki (1982).

nière baguette placée pour trouver la baguette suivante, en recherchant le plus petit écart entre les deux baguettes, ce qui revient à trouver la plus grande des restantes. A noter que faute d'indices perceptifs, cette méthode observée aux Tunnels ne peut être utilisée à Ecran-questions.

Insertion. L'enfant ordonne d'emblée deux ou trois éléments quelconques. Il construit ensuite la série en insérant une à une les baguettes restantes dans les ensembles ordonnés successivement construits.

Permutation. Le sujet choisit un sens pour la série. Il prend ensuite le premier couple, en compare les deux éléments qui sont remis dans l'ordre choisi s'ils ne le sont pas, laissés tels quels s'ils le sont. La procédure reprise avec tous les couples adjacents place le plus grand (ou le plus petit) à l'extrémité de la rangée. Un balayage systématique réitéré, avec la même procédure, conduit à la construction de la série dans l'ordre choisi. Cette procédure est appelée « couple-pivot » par Gilliéron (1976) et par Nguyen-Xuan (1976) qui l'a modélisée. Pour notre part, nous réservons l'appellation couple-pivot à la procédure qui consiste à mettre dans l'ordre choisi les couples adjacents sans qu'il soit fait appel à la réitération des balayages.

2 – Les procédures

Procédures liées à une méthode

On distingue tout d'abord, à l'intérieur des méthodes, le genre de procédure utilisé. Celui-ci peut être algorithmique ou articulé (cf. fig. 1).

La procédure *algorithmique* consiste en un enchaînement d'opérations systématiques qui conduit automatiquement au but. Ce sont ces procédures qui ont été modélisées par Frey (1964) et Nguyen Xuan (1976). Reposant sur le seul traitement des relations entre les éléments, elles peuvent fonctionner en l'absence de toute information perceptive sur les grandeurs ou valeurs des éléments comparés. Le *type* de ces procédures est dit *canonique* dans la mesure où il réalise un algorithme particulier auquel il est fait précisément référence (dans certains cas, plusieurs algorithmes sont en effet théoriquement possibles, mais nous n'évoquerons que ceux qui ont été effectivement observés.)

Les procédures *articulées* actualisent également les différentes méthodes définies plus haut. Elles s'appuient donc sur un schème anticipateur articulant les actions locales au but général, mais ne sont pas algorithmiques. Elles ne conduisent pas automatiquement au but, dans la mesure où une part de leur organisation repose sur la fiabilité de la perception et de la mémorisation des grandeurs des éléments comparés. C'est d'ailleurs la raison pour laquelle ces procédures ne peuvent être utilisées dans la situation « Ecran-questions » où aucune information perceptive de ce genre n'est disponible.

L'analyse des protocoles permet de distinguer trois *types* de procédures articulées : inter-séquences, intra-séquence, et mixte (cf. fig. 1). Ces procédures ont toutes en commun de s'appuyer sur la perception et la représentation d'informations spatiales, mais elles diffèrent par la manière de gérer cette information.

Dans la procédure *inter-séquences*, cette information est conservée d'une séquence à la suivante. Elle permet au sujet de savoir d'emblée quelle est la baguette candidate — compte tenu du but qu'il poursuit — par laquelle il peut commencer une nouvelle séquence.

Dans la procédure *intra-séquence* par contre, le sujet n'utilise pas d'information tirée des séquences précédentes pour commencer une nouvelle séquence. Il doit donc explorer toutes les baguettes restantes à chaque fois, mais la mémorisation des informations perçues pendant les comparaisons lui permet de déterminer la baguette candidate à la fin de chaque séquence, sans avoir fait toutes les comparaisons qui seraient nécessaires s'il ne disposait pas d'informations perceptives.

La procédure *mixte* est un compromis entre les deux précédentes. L'information tirée des séquences précédentes n'est pas assez précise pour permettre au sujet de décider d'emblée quelle est la baguette candidate dans une nouvelle séquence, mais elle lui permet de restreindre les possibles à deux ou trois baguettes et de ramener ainsi le problème à des proportions plus facilement traitables. Il fonctionne alors comme dans la procédure intra-séquence, mais sur un ensemble de baguettes plus limité.

Ces procédures sont explicitées en annexe à partir de protocoles simplifiés.

On trouvera également en annexe un exemplaire de protocole effectif où apparaît la méthode de Voisin.

Procédures observées en l'absence de méthodes

Ces procédures sont du *genre local* puisqu'elles ne peuvent renvoyer à l'utilisation efficace d'une méthode sous-tendue par un schème anticipateur.

Trois *types* de procédures locales ont été mises en évidence : le tournoi, la dichotomie, les couples (fig. 1).

Le tournoi : le sujet se contente de chercher l'élément le plus grand de l'ensemble non ordonné et s'arrête une fois qu'il l'a trouvé. C'est ici un « morceau » de l'Extremum, sans que la méthode soit poursuivie faute de coordination entre la réalisation locale et le but final poursuivi.

La dichotomie : à chaque comparaison, l'enfant sépare le grand élément du petit. Il réalise, de cette manière, au fil des comparaisons, une partition grands-petits entre tous les éléments.

Les couples : l'enfant prend chacun des couples non adjacents de l'ensemble de départ. Pour chacun d'eux il choisit un sens. La réalisation est celle de couples juxtaposés dont les éléments sont orientés dans le même sens.

2. EVOLUTION DES CONDUITES AVEC L'AGE

A) *Evolution des réussites avec l'âge avant et après vérification*

Cette évolution est indiquée dans la figure 2 pour chacune des trois épreuves (à noter, par la force des choses, l'absence de vérification pour la sérialion classique).

Dans l'épreuve classique, la sérialion est réussie par 50 % des enfants du premier groupe d'âge, et par tous les enfants à partir du second groupe (de 7;0 à 10;0). Elle n'est réussie qu'à partir de 8-9 ans dans l'épreuve des Tunnels (55 % à 8 ans, avant vérification) et seulement à partir de 10 ans (30 %) dans la situation Ecran-questions. On remarque que la réussite après vérification est sensiblement améliorée dans l'épreuve des Tunnels, ce qui n'est pas le cas dans Ecran-questions.

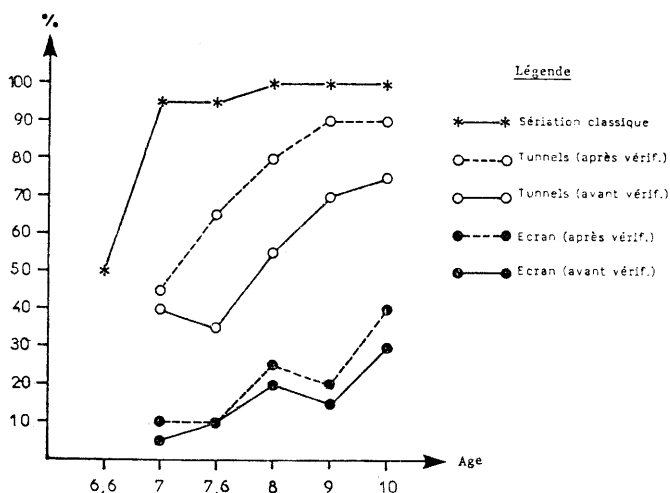


Fig. 2. — Réussite à la sériation
en fonction de la situation et de l'âge

Seriation success, as function of experimental situation and age

B) Méthodes ou absence de méthodes

a | Evolution en fonction de l'âge

La figure 3 indique la fréquence d'utilisation, en fonction de l'âge, de chacune des méthodes et, en l'absence de méthode, de chacune des procédures locales.

Il apparaît nettement que l'utilisation de l'une ou l'autre méthode (Extremum, Voisin, Insertion, Permutation) n'est pas liée à l'âge. Ce qui est lié à l'âge, c'est la disparition progressive des procédures locales (associées au défaut de méthodes) au bénéfice justement du recours à une méthode quelle qu'elle soit.

Il faut remarquer cependant le caractère marginal de la permutation dans les deux épreuves, et l'augmentation de l'Extremum à partir de 10 ans dans les Tunnels. A l'épreuve Ecran-questions on remarque la persévérance tardive des procédures locales (jusqu'à 9 ans), leur diminution allant alors de pair avec une progression de l'Extremum.

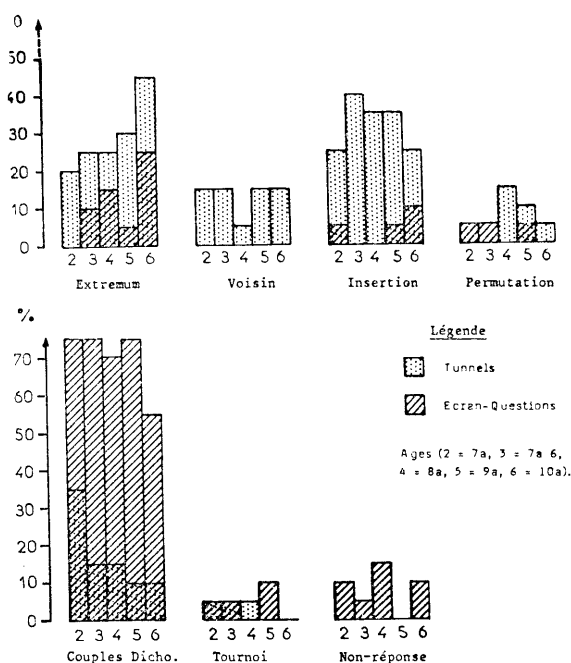


Fig. 3. — Fréquence des différentes méthodes de sérialion en fonction de l'âge et de la situation

Frequency of different seriation methods as function of age and experimental situation

b / Evolution de la réussite avec l'âge à méthode constante

1. Situation Tunnels

On peut voir, dans la figure 4, que la relation croissante de la réussite aux Tunnels en fonction de l'âge, telle qu'elle a été observée dans la figure 2, ne se retrouve pas au sein de chaque méthode. Les sujets utilisant la méthode du Voisin ($n = 13$) et ceux qui emploient la méthode de Permutation ($n = 5$) réussissent quel que soit leur âge. Pour ceux, plus nombreux, qui ont recours à la méthode de l'Extremum ($n = 29$) et à celle d'Insertion ($n = 32$), la réussite est variable, mais ne présente pas de relation croissante nette avec l'âge, sauf peut-être pour la méthode de l'Extremum entre 9 et 10 ans.

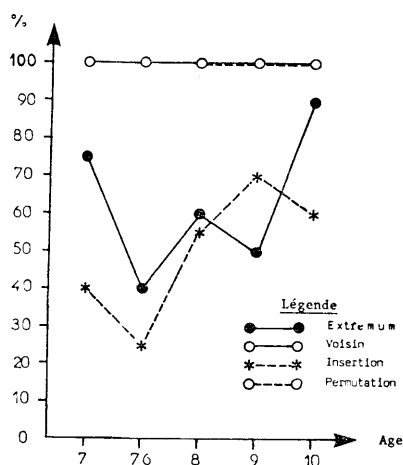


Fig. 4. — Evolution de la fréquence des réussites (avant vérification) avec l'âge, pour chacune des méthodes de sériation

Evolution of success frequency (before verification) as function of age for each seriation method

Dans cette situation, la progression de la réussite avec l'âge est due, pour l'essentiel, à la diminution des procédures locales au bénéfice de l'utilisation de l'une ou l'autre méthode.

2. Situation Ecran-questions

Les réussites sont ici trop rares pour qu'il y ait un sens à les croiser avec la méthode et l'âge. Mais là aussi, l'accroissement sensible des réussites correspond à la diminution des procédures locales au profit de méthodes qui impliquent l'utilisation efficace d'un schème anticipateur, c'est-à-dire d'une stratégie. Cette évolution ne s'amorce toutefois qu'entre 9 et 10 ans.

c / Evolution des procédures en fonction des méthodes et de l'âge

1. La situation des Tunnels

En raison de la faiblesse de l'effectif, on a regroupé les sujets qui ont utilisé l'Extremum et le Voisin pour les comparer à ceux qui ont utilisé l'Insertion. Par ailleurs, les sujets qui ont utilisé les procédures inter-séquences et mixte ont aussi été regroupés

pour chacune des méthodes (Extremum - Voisin et Insertion).

Malgré cela, les effectifs de chaque groupe d'âge restent faibles (de 4 à 11 sujets pour l'Extremum et le Voisin et de 5 à 8 pour l'Insertion). Les pourcentages de la figure 5 ne peuvent donc avoir qu'une valeur indicative.

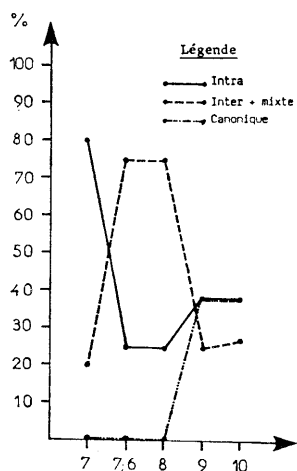


Fig. 5 a. — Méthodes de l'Extremum et du Voisin

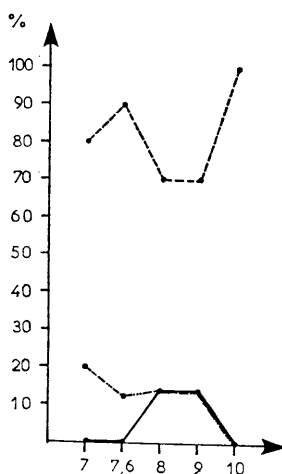


Fig. 5 b. — Méthode d'Insertion

Fig. 5. — Fréquence des différents types de procédures utilisés dans la sérialion sous tunnels en fonction de l'âge et de la méthode

Frequency of different types of procedure in "Tunnels" situation as a function of age and method

Les tendances paraissent néanmoins nettes. Dans la méthode d'Insertion, la procédure inter-séquences domine nettement à tous les âges, tandis que les procédures intra-séquence et canoniques sont marginales. On ne décèle pas d'évolution liée à l'âge avec cette méthode. Par contre, dans les cas de l'Extremum et du Voisin, on voit apparaître, à partir de 7;6, une nette diminution de la procédure intra-séquence au profit des procédures inter-séquences et mixtes, cela de 7;6 à 8 ans, et de la procédure canonique, à partir de 9-10 ans.

2. La situation Ecran-questions

Dans la situation Ecran-questions, les sujets qui utilisent une méthode ($n = 18$) ont pour la plupart recours aux procédures « canoniques » correspondantes ($n = 11$). Les autres tentatives restent, sauf chance, vouées à l'échec. Par conséquent, l'analyse de l'évolution des procédures avec l'âge ne peut ici porter que sur la procédure « canonique ». Pour faciliter la comparaison, la figure 6 met en regard cette évolution dans la situation Ecran-questions (fig. 6 b) et dans la situation Tunnels (fig. 6 a).

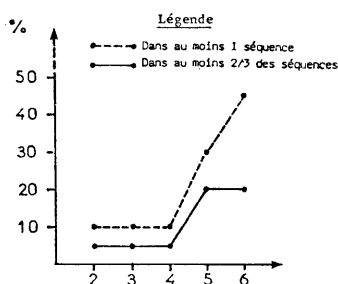


Fig. 6 a. — Tunnels

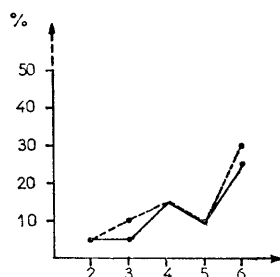


Fig. 6 b. — Ecran-questions

Fig. 6. — Fréquence des sujets utilisant une procédure algorithmique en fonction de la situation et de l'âge

Frequency of subjects using an algorithmic procedure in function of experimental situation and age

Même si on considère les sujets qui utilisent la procédure canonique dans une seule séquence pour le moins (critère très faible au regard de celui retenu, cf. Méthodes et cotation), il apparaît que cette procédure reste exceptionnelle avant 9 ans dans les Tunnels, avant 10 ans dans Ecran-questions (cf. pointillés des fig. 6).

d / Les conduites de vérification

a) Les vérifications spontanées

La figure 7 présente, en fonction de l'âge, le pourcentage des sujets qui font spontanément des vérifications partielles.

Les conduites de vérification spontanée, prises comme indice des capacités de contrôle des relations entre les actions et l'adé-

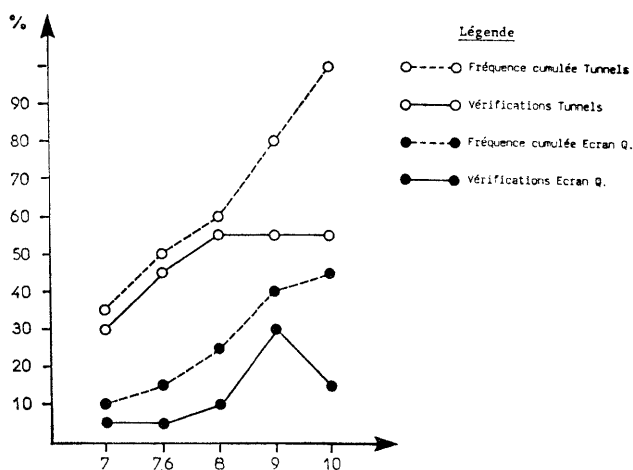


Fig. 7. — Fréquence des sujets faisant spontanément des vérifications en cours de sérialion, en fonction de l'âge et de la situation (les courbes en pointillés cumulent cette fréquence avec celle des sujets utilisant une procédure algorithmique dans au moins une séquence).

*Frequency of subjects verifying spontaneously
as a function of age and experimental situation*

quation de leurs effets au but visé, croissent jusqu'à l'âge où apparaissent les procédures canoniques (qui ne nécessitent plus de contrôle *a posteriori* puisqu'elles l'intègrent *a priori* dans leur organisation même). A partir de 9 ans dans les Tunnels, et de 10 ans dans Ecran-questions, les vérifications spontanées stagnent ou régressent, ce qui coïncide avec l'apparition des procédures algorithmiques.

b) Les procédures observées lors de la vérification imposée

La figure 8 présente sur un même graphique l'évolution des procédures de vérification imposée dans les Tunnels et dans Ecran-questions.

Dans les deux cas, les procédures largement dominantes sont celles où les sujets comparent les éléments par couples disjoints (ou parfois, dans les Tunnels seulement, en les regardant un par un) et celle qui consiste à faire des couples-pivots.

On observe une relation croissante régulière de la fréquence de la procédure des couples-pivots avec l'âge, allant de pair avec une décroissance de la méthode des couples (ou éléments) dis-

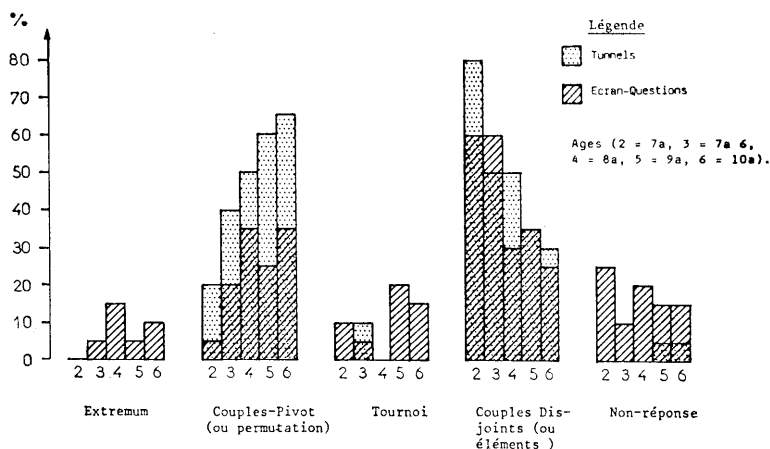


Fig. 8. — Fréquence des différentes procédures de vérification en fonction de l'âge et de la situation

Frequency of different procedures of verification as function of age and experimental situation

joints. Cette évolution est très comparable dans les deux situations et elle apparaît plus nettement si, dans l'histogramme de la situation Ecran-questions, on ajoute les cas de non-réponse (sujets qui n'ont su comment s'y prendre, soit pour la sériation, soit pour la vérification) à ceux des couples disjoints, et les cas de méthodes plus élaborées (Tournoi, Extremum) à ceux des couples-pivots.

3. CONDUITES DE SÉRIATION ET STYLE COGNITIF

A — La réussite

a / Réussite à la sériation classique et style cognitif

L'épreuve de sériation classique avec intercalation n'est discriminative que dans le groupe de 6;6 où elle est réussie par 10 sujets sur 20. La moyenne des scores au CEFT en fonction de la réussite à la sériation est indiquée ci-dessous :

Sujets qui réussissent : $N1 = 10$; $m1 = 6;9$; $\sigma1 = 2,68$;

Sujets qui échouent : $N2 = 10$; $m2 = 7;5$; $\sigma2 = 2,95$.

L'absence de différence significative permet de conclure que la réussite à la sérialion classique avec intercalation n'est pas liée à la dépendance-indépendance à l'égard du champ (DIC) telle qu'elle est évaluée avec le CEFT.

b / Réussite dans les situations Tunnels et Ecran-questions

Comme on peut le voir dans le tableau 1, la DIC évolue avec l'âge.

TABLEAU 1. — *Moyenne et dispersion des scores au CEFT dans chaque groupe d'âge*

Mean and standard deviation of CEFT scores as a function of age

Groupe d'âge	6a6	7a	7a6	8a	9a	10a
m	7,20	9,75	10,65	12,10	13,9	13,8
σ	2,76	4,36	3,60	4,62	4,56	3,74

Pour étudier la relation entre réussite et style cognitif en neutralisant l'effet de l'âge (qui est positivement lié à ces deux variables), on a considéré par convention comme dépendants du champ (D) les sujets situés en dessous de la médiane de leur groupe d'âge, et comme indépendants du champ (I) les sujets

TABLEAU 2. — *Relation entre style cognitif et réussite de la sérialion*

Relation between cognitive style and seriation success

2a Tunnels				2b Ecran-questions				
		E	R			E	R	
Style	D	28	19	47		38	4	42
	I	17	36	53		38	12	50
Cognitif		45	55	100		76	16	92

situés au-dessus de la médiane. Les tables de contingence entre cette dichotomie des sujets et celle qui repose sur la distinction entre réussite (R) et échec (E) à la sériation avant la vérification imposée, constituent les tableaux 2a (sériation sous Tunnels) et 2b (sériation Ecran-questions).

L'échec est positivement lié à la dépendance à l'égard du champ dans la sériation sous Tunnels ($X^2 = 7,60$; $P < .01$), et il existe une tendance de même sens, non significative à $P < .05$ ($X^2 = 3,31$) dans la sériation Ecran-questions. Si on prend pour variable dépendante la réussite après la vérification imposée, cette relation subsiste avec la sériation sous tunnels, mais disparaît avec la sériation Ecran-questions.

B — Les méthodes

a / Situation Tunnels

1. Procédures « locales » ou méthodes

On peut voir dans le tableau 3 que les sujets utilisant des procédures locales dans la sériation sous Tunnels sont la plupart du temps des sujets qui se situent en dessous de la médiane de leur groupe d'âge au CEFT (13 sur 17). Cette relation est significative ($X^2 = 6.69$; $P < .01$).

TABLEAU 3. — *Relation entre le style cognitif et l'utilisation de procédures locales (couples et dichotomies) ou de méthodes dans la situation Tunnels*

Relation between cognitive style and local procedures (couples and dichotomy) or methods, in the Tunnels situation

		Procédures locales	Méthodes	
Style Cognitif	D	13	34	47
	I	4	47	51
		17	81	98

2. Choix entre méthodes

On a vu plus haut que le choix d'une méthode ou d'une autre n'était pas lié à l'âge (cf. fig. 3). Est-il alors lié à une variable différentielle comme le style cognitif ?

Nous indiquons ci-dessous les moyennes au CEFT en distinguant les sujets selon qu'ils utilisent l'une ou l'autre des deux grandes catégories de méthodes observées dans la sérialion sous Tunnels (Extremum et Voisin d'une part et Insertion d'autre part).

Extremum et Voisin : $N1 = 42$; $m1 = 12,46$; $\sigma1 = 4,26$;
Insertion : $N2 = 32$; $m2 = 12,5$; $\sigma2 = 3,87$.

Le choix de l'une ou l'autre méthode n'est donc pas plus lié à la DIC qu'il ne l'est à l'âge (c'est d'ailleurs parce qu'il n'est pas lié à l'âge que les sujets d'âges différents ont pu être groupés sans inconvénient dans la comparaison ci-dessus).

3. Les relations entre réussite et style cognitif à méthode constante

Le problème ne se pose que pour la méthode de l'Extremum et celle d'Insertion, puisque ceux qui utilisent la méthode du Voisin ou celle de Permutation réussissent tous. L'absence de relation entre l'âge et la réussite avec ces méthodes (cf. fig. 3) autorise à grouper les différents âges. On comparera donc ci-dessous les moyennes au CEFT de ceux qui échouent et de ceux qui réussissent avec la méthode de l'Extremum, puis avec celle d'Insertion.

— Extremum :

Réussite : $n = 19$; $mR = 13,41$ $\sigma : 3,59$;
Echec : $n = 10$; $mE = 10,4$ $\sigma : 5,04$;
 $t(\mu = 28) mR - mE = 1,76$ $\rho < .10$.

— Insertion :

Réussite : $n = 16$; $mR = 14,37$ $\sigma : 3,14$;
Echec : $n = 16$; $mE = 10,62$ $\sigma : 4,12$;
 $t(\mu = 30) mR - mE = 2,65$ $\rho < .05$.

Si, comme on l'a vu au paragraphe précédent, le choix de la méthode n'est pas lié au style cognitif, par contre la probabilité de réussir une sérialion correcte avec cette méthode l'est.

b / *Sériation Ecran-questions*

L'utilisation des méthodes est ici trop rare pour qu'il y ait un sens à comparer leurs relations avec la DIC.

c / *Procédures et style cognitif*

Le choix d'une procédure inter-séquences ou intra-séquence à l'intérieur des méthodes articulées n'est pas lié à la DIC. De même, l'utilisation de procédures canoniques n'est liée à la DIC ni dans la situation Tunnels, ni dans la situation Ecran-questions.

En résumé, la réussite n'est pas liée à la DIC dans la sériation classique, ni de façon claire dans la sériation Ecran-questions, mais elle l'est nettement dans la sériation Tunnels. Dans ce dernier cas, la capacité d'utiliser ou non un schème anticipateur, dont on a vu plus haut qu'elle est liée à l'âge et à la situation, est également liée au style cognitif à âge constant : les procédures « locales » sont plus fréquentes chez les sujets les plus dépendants du champ. En outre, les sujets qui échouent à réaliser des sériations correctes dans le cadre des méthodes Extremum ou Insertion, sont en moyenne plus dépendants du champ perceptif. Mais ni le choix de la méthode, ni celui de la procédure au sein d'une méthode donnée ne sont liés au style cognitif.

4. LA QUESTION DU CHOIX D'UNE MÉTHODE

Les données précédentes indiquent que, dans les Tunnels, quatre méthodes ont été utilisées : Extremum, Voisin, Insertion et Permutation. On a vu également que chez les sujets qui s'avèrent capables d'utiliser une méthode, le choix de celle-ci est indépendant de l'âge et du style cognitif. On s'est demandé alors si ce choix était intentionnel ou simplement dû à des facteurs contingents. Ceci nous a conduit à chercher s'il pouvait exister une relation entre le résultat des toutes premières actions du sujet sur le matériel et, plus particulièrement, du nombre des premières baguettes regardées ou manipulées au cours de la première séquence, et la méthode observée dans les séquences ultérieures.

On trouvera ci-après dans la figure 9 la répartition de l'effectif des sujets selon le nombre de baguettes regardées au cours de la

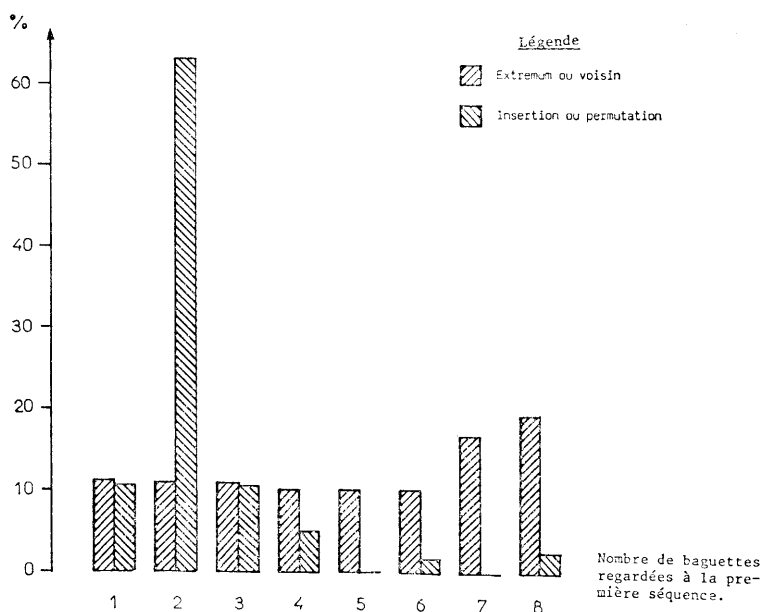


Fig. 9. — Fréquence des sujets ayant regardé le nombre de baguettes indiqué en abscisse au cours de la 1^{re} séquence selon la méthode suivie ultérieurement

Frequency of subjects as function of wood sticks number (abscisse) studied in the first sequence and of method which will be followed later

première séquence, ainsi que les histogrammes des deux grandes catégories de méthodes.

L'observation de la figure 9 fait ressortir deux points intéressants :

- 1) Si un sujet déplace un ou plusieurs éléments, après avoir regardé *deux* baguettes, il utilise par la suite l'Insertion ou la Permutation ;
- 2) Si un sujet regarde au moins *quatre* baguettes avant de déplacer un élément (ou plusieurs), il utilise par la suite l'Extremum ou le Voisin.

Il semble donc bien qu'il y ait un lien entre ce qui est fait dans la première séquence et la méthode suivie ultérieurement.

Deux interprétations de la figure 9 sont possibles. Dans l'une les sujets décideraient préalablement de la méthode à suivre et

choisiraient alors, soit de ne regarder que deux baguettes (s'ils ont décidé d'adopter l'Insertion ou la Permutation), soit d'en regarder un plus grand nombre (s'ils ont décidé d'utiliser l'Extremum et le Voisin). Dans l'autre ce seraient des facteurs contingents, traduisant l'adaptation tâtonnante à une situation nouvelle, qui détermineraient les premières actions du sujet : soit déplacer les deux premiers éléments comparés, soit en considérer davantage. Mais selon qu'il fait l'un ou l'autre, la suite des actions ne peut plus être la même. Dans le premier cas le sujet ne peut faire autre chose que des insertions ou des permutations. Dans l'autre cas c'est la porte ouverte aux recherches du plus grand élément ou de la plus petite différence.

La présente expérience ne permet pas de trancher entre ces deux hypothèses. Il semble cependant que la seconde soit davantage à retenir dans la mesure où elle peut rendre compte de l'indépendance entre le choix de la méthode, d'une part, l'âge et le style cognitif d'autre part².

DISCUSSION

Les résultats qui viennent d'être présentés concernent l'évolution génétique des conduites dans les situations de sériation proposées et l'incidence, sur ces conduites, du style cognitif des enfants.

Le trait caractéristique de l'évolution génétique, telle que nos données permettent de la cerner, réside dans la différence de ses effets selon que l'on considère les méthodes, les procédures et les vérifications spontanées ou provoquées des sujets.

2. Si l'on adopte cette dernière hypothèse on peut interpréter à un second niveau la bifurcation, d'une part, entre Insertion et Permutation, et d'autre part, entre Extremum et Voisin, qui apparaît à un même niveau de départ. Lorsque l'enfant n'explore que deux baguettes et qu'il s'estime autorisé, par le dispositif et la consigne, à les placer en dehors des huit places initiales, il suivra, après comparaison, une méthode d'Insertion. Si par contre il s'estime contraint de n'utiliser que les huit places initiales (même si, comme dans notre cas, ni le matériel ni la consigne n'y contraignent), il suivra une méthode de Permutation. En revanche, lorsque le sujet explore davantage d'éléments, c'est la considération des grandeurs relatives des baguettes qui est au point de départ. Mais selon que le sujet se centre ensuite sur la grandeur des différences ou la grandeur des baguettes, il adoptera la méthode du Voisin ou celle de l'Extremum.

L'âge n'a d'incidence que sur l'abandon des procédures locales, frustes (absence de méthode), au bénéfice d'une méthode articulée, quelle qu'elle soit. L'accroissement des réussites avec l'âge coïncide avec cet abandon. Le choix d'une méthode apparaît alors lié, non à des facteurs de développement, mais à des facteurs contingents, tel le nombre de baguettes regardées dans la première séquence.

L'incidence de l'âge sur la procédure utilisée au sein d'une méthode dépend de la situation expérimentale et de la méthode suivie. C'est ainsi que dans la situation des Tunnels, aucune évolution des procédures n'est observée lorsqu'il s'agit de l'Insertion, la procédure inter-séquences étant ici majoritaire à tout âge. Par contre, lorsqu'il s'agit de l'Extremum et du Voisin, l'évolution se manifeste par l'abandon de la procédure intra-séquence pour l'inter-séquences, cette dernière étant à partir de 9 ans, et seulement dans le cas de l'Extremum, remplacée chez certains sujets par la procédure canonique. Dans la situation « Ecran-questions », l'évolution s'effectue uniquement entre les procédures locales de couple et la procédure canonique qui apparaît à 10 ans.

Les vérifications spontanées augmentent avec l'âge, jusqu'à l'apparition des procédures canoniques. L'effet de l'âge se fait également sentir dans le passage des couples disjoints aux couples pivots lors des vérifications imposées.

Quant à l'effet du style cognitif sur les conduites de sériation, il apparaît plus réduit que celui de l'âge. Il ne se manifeste que dans la situation des Tunnels. Dans cette situation, l'âge étant maintenu constant, les enfants indépendants du champ perceptif utilisent, davantage que les enfants dépendants, une méthode articulée, quelle que soit cette méthode. Par ailleurs, parmi les sujets qui utilisent une méthode articulée, ceux qui réussissent leur sériation sans erreur sont en moyenne plus indépendants du champ perceptif.

Ces résultats étant ainsi résumés, il reste à dégager les informations qu'ils apportent.

- 1) Sur les processus qui permettent l'utilisation d'une méthode articulée dans les situations « Tunnels » et « Ecran-questions », et sur la nature de la stratégie sous-jacente ;
- 2) Sur les mécanismes qui provoquent, avec l'âge, l'évolution des procédures utilisées (lorsque celles-ci évoluent pour une méthode donnée) ;

3) Sur l'utilité du recours à la transitivité pour rendre compte des faits observés.

1. En raison de la construction même de notre expérience, tous les enfants qui ont été soumis aux deux épreuves, Tunnels et Ecran-questions, doivent avoir préalablement réussi la sériation classique à l'aide d'une méthode articulée, avec intercalation de nouvelles baguettes dans la série construite. Cela suppose que ces enfants possèdent, d'une part une représentation relativement élaborée du but final, c'est-à-dire de la série et, d'autre part, qu'ils coordonnent des sous-buts locaux à ce but final.

La représentation du but final n'est pas autre chose que l'intégration, sous une forme imagée (parcours d'un escalier, d'un alignement sériel) et/ou linguistique (plus grand, plus petit, etc.), des propriétés spatiales de la série. Celles-ci ont déjà été évoquées par Gilliéron (1977) et par Retschitzki (1982).

Retschitzki mentionne trois de ces propriétés pour une série descendante (1982, p. 8) :

- 1) Pour tout couple d'éléments voisins, celui qui est situé le plus à gauche est supérieur à l'autre.
- 2) Pour tout couple d'éléments, celui qui est situé le plus à gauche est supérieur à l'autre.
- 3) Tout élément est supérieur à chacun des éléments situés plus à droite.

On peut y ajouter une quatrième propriété qui tienne compte des propriétés 2 et 3 :

- 4) Tout élément interne est supérieur à celui qui est à sa droite et inférieur à celui qui est à sa gauche.

Toutes ces propriétés, présentes dans une série, sont nécessaires. Par ailleurs elles peuvent toutes être constatées perceptivement ou évoquées dans une représentation à caractère à la fois imagé et verbal. Mais si les deux premières sont seules retenues, par suite d'une méconnaissance des deux autres ou d'un défaut dans leur utilisation fonctionnelle, l'enfant ne peut suivre, à l'épreuve classique, que des procédures frustes de couples. Par contre, la prise en compte des propriétés 3 et/ou 4, à la fois nécessaires et suffisantes, guide l'adoption de méthodes efficaces d'Extremum ou d'Insertion, ce qui est le cas, à l'épreuve classique, de tous les sujets retenus pour les Tunnels et Ecran-questions.

Le fait que la situation des Tunnels ramène 17 de ces sujets à

des procédures de couples et de dichotomies peut s'expliquer par la difficulté d'une utilisation fonctionnelle des propriétés 3 et/ou 4, difficulté liée aux caractéristiques nouvelles de la situation. Celle-ci présente en effet à l'enfant un alignement d'éléments identiques (les Tunnels) et, de plus, réduit à deux le nombre des éléments qui peuvent être comparés, sans que les éléments restants puissent être, dans le même temps, parcourus du regard. L'enfant doit donc maintenir en mémoire, d'une part l'ensemble des propriétés spatiales nécessaires et suffisantes de la série, intégrées sous une forme imagée et/ou linguistique, et d'autre part le résultat caché de ses propres comparaisons. On conçoit alors que la donnée perceptive constante d'un alignement d'éléments identiques (les Tunnels) puisse, en s'interposant, « parasiter » la représentation générale de la série et l'évocation active de ses propriétés suffisantes. La perception « embrouillerait » alors une représentation de la série, c'est-à-dire du but à atteindre, d'où n'émergeraient alors que les propriétés frustes 1 et 2, certes nécessaires, mais non suffisantes. La propriété reconnue (1 ou 2) coïncide, par ailleurs, avec la modalité de prise d'information par couple inhérente à la situation, ce qui peut renforcer son actualisation.

Cette interprétation trouve un appui dans le fait que sur les 17 sujets qui, après avoir réussi la sériation classique, retombent dans les procédures frustes, 13 d'entre eux sont dépendants du champ perceptif. On sait que ces sujets ont une difficulté particulière à conserver, et à évoquer, des informations lorsque les données perceptives entrent en conflit avec elles. L'incapacité où ils se trouvent d'élaborer une méthode fait ressortir le rôle de la représentation, et surtout de l'évocation des propriétés spatiales de la série, dans l'articulation des procédures, quelle que soit la situation proposée. Cette interprétation est renforcée par le caractère spécifique de la relation avec la DIC, observée dans les seuls cas où l'on peut faire l'hypothèse qu'une représentation fortement imagée, différente de la perception, interfère avec elle. On ne trouve pas en effet cette relation avec la réussite à la sériation classique où, en l'absence des contraintes des Tunnels, le risque d'interférence n'existe pas (cf. les résultats de Huteau et Rajchenbach, 1978, obtenus pour la sériation classique sur un effectif plus important que le nôtre). On ne trouve pas non plus cette relation avec l'utilisation des procédures algorithmiques. Celles-ci résultent d'une planification *a priori*

des actions qui, certes, a reposé préalablement sur la connaissance du système des relations spatiales, mais qui une fois automatisée n'a plus besoin d'y recourir.

A l'épreuve Ecran-questions, aux capacités d'évocation qui viennent d'être mentionnées, s'ajoute vraisemblablement la capacité de planification *a priori* des actions dont on pense qu'elle est un des facteurs de l'évolution d'une procédure canonique.

2. En effet, la conservation du schème anticipateur adéquat, si elle détermine l'utilisation d'une méthode, dont on a vu que le choix dépendait de facteurs contingents, n'entraîne pas de soi une planification des actions nécessaires. L'observation des conduites des enfants, à l'épreuve des Tunnels, montre qu'une procédure, quelle qu'elle soit, n'est pas utilisée d'emblée mais parfois après plusieurs séquences d'actions. Par ailleurs, la planification des actions semble s'effectuer au coup par coup grâce, non seulement à l'utilisation des propriétés spatiales élaborées, mais à celle de propriétés élémentaires qui ont trait principalement aux voisinages d'éléments évalués selon leur grandeur, grandeur et voisinages qui sont mémorisés.

Ainsi, dans la méthode « Insertion » où la procédure inter-séquences est majoritaire (cf. fig. 5), l'enfant prend une baguette parmi les éléments restants et la place d'emblée dans le « morceau de série » qu'il a déjà réalisé et qu'il a mémorisé. Ce placement tient compte de la position, liée à la grandeur, mais aussi de la reconnaissance, pour le moins, que tout élément placé à droite (série ascendante) est plus grand que celui qui le précède, ou, pour le mieux, que tout élément est supérieur à celui qui le précède et inférieur à celui qui le suit. L'enfant peut, en outre, contrôler son placement, ce qui enchaîne une série d'actions coordonnées qui permet le dépassement du coup par coup. Le fait est encore plus apparent dans l'Extremum lorsque la procédure inter-séquences est utilisée : l'enfant choisit la plus grande des restantes et la place bien à gauche de la série déjà constituée.

Il apparaît nettement que ce ne sont pas les seules relations « gauche-droite » qui sont utilisées, bien qu'elles le soient, mais aussi les informations concernant les grandeurs et les positions, et cela grâce aux indices perceptifs disponibles. En effet, dans le cas de l'Insertion, c'est principalement l'information sur les baguettes déjà placées qui doit être conservée en mémoire de

travail alors que dans le cas de l'Extremum et du Voisin, c'est l'information sur les baguettes restantes. Or, pour les baguettes placées, l'ordre des positions coïncide avec l'ordre des grandeurs, tandis que tel n'est pas le cas pour les baguettes restantes. Ceci facilite sans doute la représentation spatiale de l'information et sa rétention dans le premier cas, permettant ainsi au sujet de s'appuyer davantage sur l'information recueillie dans les séquences précédentes pour organiser sa procédure.

Il semble bien que ce soit cet appui perceptif qui, grâce à son organisation en mémoire, assure l'économie d'une planification préalable.

Or le passage à la procédure canonique exige cette planification préalable, qu'il s'agisse des Tunnels ou, plus encore, dans la situation Ecran-questions. Ce passage nous paraît dépendre de plusieurs facteurs.

Il exige en premier lieu une évocation plus ferme, quel que soit le brouillage perceptif, des propriétés spatiales nécessaires et suffisantes, cette évocation reposant sur un accroissement des connaissances à cet égard. La prégnance plus forte de ces propriétés pourrait conduire à l'abandon du recours aux propriétés élémentaires concernant les grandeurs et les voisinages, dont l'utilisation est fortement liée à la mémorisation des indices perceptifs disponibles (cela dans la situation des Tunnels).

La prise en compte des seules relations spatiales, par opposition à leur association avec les grandeurs et les positions, peut favoriser une certaine planification *a priori*. Mais cela n'est pas suffisant. L'hypothèse que nous soutenons ici est que cette planification serait liée au développement de la capacité du sujet à contrôler l'adéquation de ses actions et de leurs résultats à une représentation élaborée de la série qui n'intégrerait alors que les seules relations spatiales. L'accroissement des conduites de vérification spontanées, avec l'âge, jusqu'au moment où émergent des procédures algorithmiques, est cohérent avec cette hypothèse. Ce résultat suggère le passage d'un contrôle *a posteriori* du résultat des actions, à son intégration *a priori* dans la procédure de sérialion elle-même. On doit noter que ces processus de vérification qui évoluent vers une intégration dans une procédure générale planifiée, ne sont pas spécifiques de la sérialion, mais propres à toute résolution de problème. Le développement à cet égard, dans un domaine particulier, est étroitement lié à celui qui survient dans d'autres domaines.

3. Le recours à la transitivité peut-il ajouter aux hypothèses mentionnées plus haut concernant le passage à la procédure canonique, au sein d'une méthode articulée.

La transitivité $(x.y.z)$ (xRy et $yRz \Rightarrow xRz$) est, au même titre que l'antisymétrie (on ne peut avoir à la fois xRy et yRx), l'une des propriétés logiques de l'ordre strict qu'est la série. Aucun fait expérimental ne vérifie le postulat piagétien selon lequel l'utilisation d'un algorithme de sériation indiquerait la présence d'un système d'opérations logiques qui coordonne ces propriétés. Les conduites les plus élaborées peuvent s'expliquer par la prise en compte des propriétés spatiales nécessaires et suffisantes. Il va sans dire qu'une certaine transitivité est implicitement impliquée dans ces propriétés, mais elle est étroitement tributaire des indices perceptifs présentés spatialement ou évoqués dans une représentation à support imagé et/ou linguistique.

La connaissance et l'utilisation des propriétés logiques de la série ressortit à un savoir spécifique d'ordre logico-mathématique, qui est aussi un contenu d'enseignement scolaire. Elle résulte d'une abstraction réfléchissante des propriétés d'une représentation élaborée de l'ordre sériel. La connaissance des propriétés spatiales est vraisemblablement nécessaire à la compréhension et à l'assimilation de ce savoir. Mais ce savoir n'est pas suffisant. En témoignent les observations effectuées par Retschitzki (1979) sur des étudiants qui utilisent, dans la sériation des poids et dans la majorité des cas, des méthodes non articulées, voire des procédures frustes.

En raison du caractère fortement imagé de la représentation de l'ordre sériel, les problèmes de sériation n'exigent pas d'utilisation fonctionnelle des propriétés logiques de la série. Plutôt que d'être à l'origine du fonctionnement algorithmique, celles-ci seraient bien plutôt engendrées par lui. Tout au plus leur prise en compte pourrait-elle contribuer, avec celle d'un système élaboré des relations spatiales et avec l'évolution des processus de résolution de problème, à l'utilisation d'une procédure algorithmique dans les situations, telle celle de l'épreuve Ecran-questions où les indices perceptifs sont complètement absents. Encore faudrait-il que des observations fines soient conduites dans ce sens sur des préadolescents, des adolescents et des adultes.

ANNEXES

Le tableau 4 donne une traduction opérationnelle des définitions des différentes procédures en présentant quelques exemples simplifiés dans le cas des deux méthodes les plus fréquemment observées, Extremum et Insertion. Un exemple de protocole réellement observé est également donné à la suite pour illustrer la méthode du Voisin.

Les baguettes sont identifiées par leur rang dans l'ordre de grandeur, 1 désignant la plus grande et 4 la plus petite (alors que dans l'expérience elles étaient identifiées par leurs couleurs). Les exemples sont simplifiés dans la mesure où ils ne portent que sur un ensemble de 4 baguettes au lieu de 8 dans l'expérience. La situation envisagée est celle dite des Tunnels, où les baguettes sont cachées et où le sujet ne peut en regarder que deux à la fois. Pour chaque procédure, les informations sont présentées — pour chacune des deux méthodes envisagées — sur trois colonnes. Dans la colonne de droite, on indique les baguettes restantes. C'est dans cette colonne que figure la situation de départ avec les baguettes disposées en désordre : 3, 2, 1, 4, dans tous les cas. Dans la colonne du milieu sont indiqués les nouveaux placements au moment où ils surviennent, et on trouve dans la colonne de gauche les comparaisons qui ont précédé chaque placement. Les deux baguettes regardées ensemble sont reliées par une étoile et entourées. Lorsqu'une baguette est regardée seule, elle est entourée seule. On appelle séquence la suite de comparaisons qui sépare deux placements.

Dans le cadre d'une même méthode, les procédures diffèrent par la manière dont les sujets atteignent le même objectif à chaque séquence (par exemple, trouver la plus grande des baguettes restantes dans le cadre de la méthode de l'Extremum). Dans tous les cas, le sujet réalise une économie de comparaisons par rapport à toutes celles qui seraient nécessaires s'il voulait comparer chaque baguette à toutes les autres. Toutefois, le mécanisme de cette économie diffère selon les procédures.

Avec la procédure canonique, dans le cas de la méthode de l'Extremum, le sujet commence par comparer deux baguettes (3 et 2 dans l'exemple), retient la plus grande (2) qu'il compare à la suivante (1) et réitère le processus en retenant 1 qu'il compare à 4. Avec cette procédure, le principe d'économie tient au fait que le

TABLEAU 4. — *Exemples simplifiés de trois types de procédures (canonique, inter-séquences, intra-séquence) dans le cadre de deux méthodes différentes (Extremum et Insertion)*

Exemples of the three types of procedures (canonique, intersequence, intrasequence) in the context of two different methods (Extremum and Insertion)

PROCEDURE	N° ligne	EXTREMUM			INSERTION		
		Comp.	Placées	Restantes	Comp.	Placées	Restantes
CANONIQUE	1			3 2 1 4			3 2 1 4
	2	(3*2)			(3*2)		
	3	(2*1)				2 3	1 4
	4	(1*4)	1	3 2 4	(1*3)		
	5	(3*2)			(1*2)	1 2 3	4
	6	(2*4)	1 2	3 4	(4*3)	1 2 3 4	
	7	(3*4)	1 2 3 4				
	8						
INTER - SEQUENCES	9			3 2 1 4			3 2 1 4
	10	(3*2)			(3*2)	2 3	1 4
	11	(1*4)			(1*2)	1 2 3	4
	12	(1*2)	1	3 2 4	(4*3)	1 2 3 4	
	13	(2*3)					
	14	(2*4)	1 2	3 4			
	15	(3*4)	1 2 3 4				
	16						
INTRA - SEQUENCE	17						
	18			3 2 1 4			
	19	(3*2)			(3*2)	2 3	3 2 1 4
	20	(1*4)			(1*3)		1 4
	21	(1*2)	1	3 2 4	(1*2)	1 2 3	
	22	(3*2)			(4*3)		4
	23	(4)	1 2	3 4	(4*2)		
	24	(3*4)	1 2 3 4		(4*1)	1 2 3 4	

sujet place la baguette 1 (ligne 4) sans éprouver le besoin de la comparer à la baguette 3, avec laquelle elle n'a pourtant pas encore été vue. C'est le même principe qui est à l'œuvre dans la procédure canonique d'Insertion, à la ligne 6, où le sujet stoppe la procédure en plaçant la baguette 4 dès qu'il a constaté qu'elle est plus petite que 3, sans éprouver le besoin de la comparer aux baguettes 1 et 2. Tout se passe, dans cette procédure, comme si le sujet s'appuyait sur un raisonnement transitif, mais d'autres interprétations sont pourtant possibles. Ce point sera repris dans la discussion des résultats.

La procédure inter-séquences commence, dans le cadre de la méthode de l'Extremum, par une séquence qui ne se distingue pas du début de la procédure intra-séquence. La baguette 3 est comparée à la baguette 2 par exemple, puis 1 est comparée à 4 et enfin 1 et 2 sont comparées pour être départagées. Dans la mesure où il n'utilise pas de moyen terme dans ses comparaisons successives, le sujet doit conserver en mémoire une information suffisamment précise des grandeurs des éléments perçus lors des comparaisons précédentes. Le propre de la procédure inter-séquences apparaît dans les séquences suivantes, dès la ligne 13, où le sujet choisit d'emblée parmi les baguettes restantes la bonne candidate pour la suite de la procédure, ici la baguette 2. Les comparaisons qui suivent n'ont plus alors comme objectif, comme dans la procédure canonique, de déterminer quelle est la plus grande des baguettes restantes, mais de vérifier que la baguette jugée la plus grande sur la base des informations perceptives mémorisées lors des séquences précédentes, est effectivement plus grande que chacune des baguettes restantes. La répétition de cette procédure à chaque séquence permet d'écarter l'hypothèse que la bonne candidate puisse être reconnue d'emblée par hasard à chaque fois. Dans le cas de la méthode d'Insertion, la mémorisation des grandeurs des baguettes déjà placées permet de comparer directement la baguette suivante à celle qui en paraît la plus proche sans avoir à parcourir systématiquement l'ensemble déjà ordonné à partir d'un de ses extrêmes. Ainsi, à la ligne 11, la baguette 1 est-elle comparée directement à la baguette 2 et placée sans passer au préalable par la comparaison avec 3. Il faut noter au passage une différence importante dans la procédure inter-séquences, selon qu'elle s'actualise dans le cadre de la méthode de l'Extremum ou dans celui de l'Insertion. Dans le premier cas, les informations per-

ceptives qui doivent être conservées en mémoire d'une séquence à l'autre sont relatives aux baguettes restantes, c'est-à-dire à un ensemble dans lequel l'ordre des grandeurs ne correspond pas à l'ordre des positions, tandis que dans le second cas, les informations à conserver en mémoire sont relatives aux baguettes placées, c'est-à-dire à un ensemble dans lequel l'ordre des positions correspond à l'ordre des grandeurs. C'est une différence sur laquelle nous aurons à revenir dans la discussion des résultats.

EXEMPLE DE PROTOCOLE OBSERVE.

Sérialisation "Tunnels"

Méthode: Voisin

Procédure: inter-séquences

N° SUJET: 123

CLASSE: CE2

AGE: 7;0 ans

SCORE C.E.F.T: 13

Ordre de réussite: N J V R Bc G B M

Eléments comparés	Bc	M	J	B	R	N	G	V	PROCEDURE
VN								N	intra-séquence
JN							J	N	
M									
RB									
RJ									
Bc									
BcJ									
M									
B									
RJ									
G									
VJ							V	J	N
RV					R		V	J	N
BcR				Bc	P		V	J	N
MBc									
GBc			G	Bc	R		V	J	N
BG		B	G	Bc	R		V	J	N
MB	M	B	G	Bc	R		V	J	N
VERIFICATION IMPOSEE									
VJ									couples
VR									
BcG									
BM									

METHOD AND PROCEDURE USED BY ONE OF OUR CHILDREN (method: "voisin, procedure: inter-séquences, age: 7;0 years).

Dans la procédure intra-séquence, on peut voir que le sujet n'utilise pas d'information perceptive mémorisée au cours des séquences précédentes, l'économie dans les comparaisons vient ici de la mémorisation des informations tirées de la perception des grandeurs au cours même de chaque nouvelle séquence.

RÉSUMÉ

Les conduites de sérialion de 120 enfants ont été observées.

Trois facteurs ont été considérés : 1) l'âge des enfants (de 6;5 à 10;0) ; 2) le type de situation expérimentale (sérialion classique et deux situations où les indices perceptifs sont réduits) ; 3) le style cognitif (DIC). L'analyse des résultats a été conduite en fonction : 1) de l'utilisation ou non d'une méthode (algorithmique ou non) ; du type de méthode mis en œuvre (Extremum, Voisin, Insertion ou Permutation) ; 3) du type de procédure utilisé au sein de chaque méthode.

L'effet de l'âge est observé principalement dans le passage des procédures frustes aux méthodes articulées. L'effet du style cognitif n'apparaît que dans la situation dite des « Tunnels », dans laquelle les enfants indépendants du champ perceptif utilisent davantage une méthode, quelle qu'elle soit, que les dépendants. L'analyse spécifique des procédures, utilisées au sein de chaque méthode, révèle le rôle des représentations des propriétés spatiales de l'ordre sériel dans l'évolution des conduites de sérialion. Les propriétés logiques de l'ordre sériel ne semblent pas avoir d'utilité fonctionnelle dans la résolution des problèmes de sérialion.

Mots clés : sérialion, procédure, représentation spatiale.

BIBLIOGRAPHIE

- Adams (M. J.) — Logical competence and transitive inference in young children, *Journal of Experimental Child Psychology*, 1978, 25, 477-489.
- Baylor (G. W.), Gascon (J.) — An information processing theory of aspects of the development of weight serialion in children, *Cognitive Psychology*, 1974, 6, 1-40.
- Baylor (G. W.), Lemoyne (G.) — Experiments in serialion with children : toward an information processing explanation of the horizontal decalage, *Canadian Journal of Behavioural Science*, 1975, 7, 4-29.
- Bideaud (J.) — *Etude du développement de notions logiques élémentaires : l'apport des expériences d'apprentissage*, thèse de Doctorat d'Etat ès Lettres et Sciences humaines, Université de Paris V, 1985.
- Bryant (P. E.), Trabasso (T.) — Transitive inference and memory in young children, *Nature*, 1971, 232, 456-459.
- Frey (L.) — Sérialion et transitivité, *Cahiers de Psychologie*, 1964, 7, 143-157.
- Gileau (F.) — *Analyse des processus d'apprentissage en jeu dans une tâche de sérialion*, mémoire en vue de l'obtention de la Maîtrise (Psychologie), Université de Montréal, 1977.

- Gillieron (C.) — Décalages et sériation, *Archives de Psychologie*, 1976, 44, Monographie n° 3.
- Gillieron (C.) — Serial order and vicariant order : the limits of isomorphism, *Archives de Psychologie*, 1977, 45, 183-204.
- Huteau (M.), Rajchenbach (F.) — Hétérogénéité du niveau de développement opératoire et dépendance-indépendance à l'égard du champ, *Enfance*, 1978, n° 4-5, 181-196.
- Kallio (K. D.) — Developmental change on a five-terms transitive inference, *Journal of Experimental Child Psychology*, 1982, 33, 142-163.
- Lemoyne (G.), Baylor (G. W.) — Processus de développement de la sériation, *Canadian Journal of Behavioural Science*, 1979, 11, 144-178.
- Newell (A.), Simon (H. A.) — *Human problem solving*, Englewood Cliffs (NJ), Prentice Hall, 1972.
- Nguyen Xuan (A.) — Suite aux automates de Frey, *Cahiers de Psychologie*, 1976, 19, 101-108.
- Padilla (A. M.), Smith (E.) — Experimental results of teaching first grade children strategies for non visual seriation, *Journal of Research in Science Teaching*, 1979, 16, 339-345.
- Perner (J.), Mansbridge (D. G.) — Developmental differences in encoding length series, *Child Development*, 1983, 54, 710-719.
- Piaget (J.), Inhelder (B.) — *La genèse des structures logiques élémentaires*, Neuchâtel, Delachaux & Niestlé, 1959.
- Piaget (J.), Szeminska (A.) — *La genèse du nombre chez l'enfant*, Neuchâtel, Delachaux & Niestlé, 1941.
- Retschitzki (J.) — L'évolution des procédures de sériation : étude génétique et simulation, *Archives de Psychologie*, 1978, 46, Monographie n° 5.
- Retschitzki (J.) — *Information processing analysis of the effect of set size changes on representation and procedures in weight seriation*, manuscrit non publié, Carnegie-Mellon University, 1979.
- Retschitzki (J.) — Vers l'explication de la variation des stratégies de sériation, *Cahiers de Psychologie Cognitive*, 1982, 2, 3-17.
- Riley (C. A.) — The representation of comparative relations and the transitive inference task, *Journal of Experimental Child Psychology*, 1976, 22, 1-22.
- Trabasso (T.) — The role of memory as a system in making inferences in R. V. Karl et J. W. Hagen (Edit.), *Perspectives on the development of memory and cognition*, Hillsdale (NJ), Lawrence Erlbaum, 1977, 333-365.
- Trabasso (T.), Riley (C. A.), Wilson (E. G.) — The representation of linear order and spatial strategies in reasoning : a developmental study, in R. J. Falmagne (Edit.), *Reasoning : representation and process*, New York, Wiley & Sons, 1975, 201-229.
- Witkin (H. A.), Oltman (P. K.), Raskin (E.), Karp (S. A.) — *Manuel for EET, CEFT, GEFT*, Palo-Alto, Consulting Psychologists Press, 1971.

(Accepté le 5 septembre 1986.)