

UNIVERSITE PAUL SABATIER  
U.F.R. des Sciences de la Vie et de la Terre

Thèse de Sciences

présentée par

Jean-François CAMPS

en vue de l'obtention du titre de

DOCTEUR DE L'UNIVERSITE  
spécialité : NEUROSCIENCES

**Etude comparée d'apprentissage de séries  
chez l'humain et chez le pigeon :  
approche comportementale et modélisation**

Soutenue le 31 Octobre 1998 devant la commission d'examen :

M. J-M. LASSALLE, Professeur, Université de Toulouse III Président du jury

M<sup>me</sup> C. MELAN, Maître de Conférences, Université de Toulouse II

Directeur de Thèse

M<sup>me</sup> M. SIEMANN, Oberassistent C2, Universität Konstanz (D)

M. J. DELIUS, Professor, Universität Konstanz (D)

Directeur de Thèse

M. R. JAEGER, Oberassistent C2, Universität Konstanz (D)

M. R. JAFFARD, Professeur, Université de Bordeaux I

Rapporteur

M. D. RICHARD, Professeur, I.U.F.M. de Toulouse

M. J. WEARDEN, Professor, University of Manchester (GB) Rapporteur

## Remerciements

Je tiens à remercier Messieurs le Professeur Daniel Richard et le Docteur Alain Gallo de m'avoir accueilli au sein du laboratoire de Neurobiologie et Comportement.

Ma profonde reconnaissance au Docteur Claudine Mélan qui a accepté, un jour, de diriger mes recherches et su me faire partager son goût pour la rigueur scientifique. Qu'elle veuille trouver ici toute ma gratitude.

Merci au Professeur Juan Delius d'avoir accepté de diriger mes recherches au sein de son laboratoire et pour nos longues discussions multilingues. De plus, je tiens à le remercier d'avoir accepté si gentiment de se plier aux conditions drastiques de mise en place de la cotutelle de thèse.

Je tiens à remercier Messieurs les Professeurs Robert Jaffard et John Wearden de bien avoir accepté de donner de leur temps à la correction de ce manuscrit et à sa soutenance.

Mes sincères remerciements aux membres du jury de bien avoir accepté de juger ce travail. Merci à Mlle Martina Siemann et Messieurs Jean-Michel Lassale, Ralf Jäger et Daniel Richard.

Mes sincères remerciements à Messieurs le Docteur Gilles Le Pape et le Professeur Willy Nagl pour leurs précieux conseils dans le traitement statistique des données.

Je voudrais remercier Monsieur le Professeur Fernand Vergely de m'avoir si bien, fait partager sa passion du monde vivant. En témoignage de ma reconnaissance.

Je tiens à remercier tous les membres du Laboratoire de Neurobiologie et Comportement,

Un grand merci aux membres de l'équipe Pigeon. Nous avons passé tous ensemble des heures précieuses et fécondes dont le souvenir ne me quittera pas. A vous, Edith, Caroline, Valérie, Vincent, Gaétan, Jérôme et Jean-Louis.

Un merci à mes parents, mes frères, à tous les miens qui m'ont apporté, tout au long de ces années, un soutien inconditionnel et une présence affectueuse.

A Isabelle et Valérie en témoignage de toute mon affection.

<i>Introduction Générale</i> .....	2
<i>Matériel et Méthode</i> .....	15
<b>1-Animaux</b> .....	15
<b>2-Matériel</b> .....	15
<b>3-Méthode</b> .....	16
<b>4-Traitement des données</b> .....	17
<i>Chapitre I : Acquisition de séries chromatiques dans différentes conditions de renforcement chez le pigeon</i> .....	21
<b>1-Introduction</b> .....	21
<b>2-Résultats</b> .....	21
1. .... <u>Acquisition d'une série de deux items selon le mode rétroactif ou proactif, avec ou sans rappel de la tâche précédente</u> .....	21
2. <u>Surapprentissage d'une série de deux items</u> .....	29
3. .... <u>Acquisition d'une série de trois items selon le mode rétroactif ou proactif, avec ou sans rappel de la tâche précédente</u> .....	36
<b>3-Discussion</b> .....	58
<b>4-Modélisation de l'apprentissage sériel</b> .....	60
1 <u>Introduction</u> :.....	60
2. <u>Modèle de choix pseudo-aléatoire</u> .....	66
3. <u>Modèle de choix conditionné</u> .....	75
<i>Chapitre II : Etude comparée d'acquisition, de généralisation de séries et tests de position sérielle chez l'humain et le pigeon</i> .....	81
<b>1-Introduction</b> .....	81
<b>2-Résultats</b> .....	89
1. <u>Généralisation et tests de position sérielle chez le pigeon</u> .....	89
2. <u>Apprentissage, généralisation et test de position sérielle chez l'humain</u> .....	100
3. <u>Analyse des questionnaires</u> .....	115
4. <u>Simulation de l'apprentissage d'une série chez l'humain</u> .....	116
<b>3-Discussion</b> .....	120
<b>4-Etude comparée des performances d'apprentissage sériel chez des sujets humains et chez des pigeons</b> .....	123
<i>Conclusion générale</i> .....	125
<i>Sommaire des figures</i> .....	124
<i>Sommaire des tableaux</i> .....	126
<i>Références bibliographiques</i> .....	129
<i>Annexe</i> .....	134



## Introduction Générale

L'étude du comportement animal repose historiquement sur deux positions. Certains, comme Descartes, assument une position discontinuiste dans laquelle les animaux se distinguent de l'homme de manière qualitative. Les animaux ne sont que des machines dépourvues de raison voire de conscience. A l'inverse, Hume, parmi d'autres, propose une continuité entre les processus mentaux des animaux et des humains. Les différences ne seraient que de nature purement quantitative. La publication de "The Descent of Man" par Darwin en 1871 va appuyer cette dernière position en démontrant l'évolution des formes physiques et en proposant que les capacités mentales des humains ont également été soumises à des pressions évolutives. C'est dans ce cadre que se sont développées les premières études de psychologie comparée avec les travaux de Romanes en 1882. Il soutient que l'étude du comportement permet d'inférer des états mentaux et il définit les capacités mentales des animaux en termes de capacités d'apprentissage. Son travail a été sévèrement critiqué à cause de la nature introspective de la psychologie de l'époque et du caractère anecdotique de ses observations. Il a écrit par exemple " Si on observe une fourmi ou une abeille qui présente un comportement de sympathie ou de rage, nous pouvons conclure qu'un état psychologique ressemblant à de la sympathie ou de la rage est présent, sinon, il faut refuser de réfléchir à ce sujet" (dans MacPhail, 1982, p. 1). Ayant ainsi défini l'esprit animal en termes de capacités d'apprentissage, il établit l'étude de la psychologie comparée par l'étude de l'apprentissage animal. Suite aux nombreuses critiques, des méthodes d'observation et d'expérimentation objectives sont apparues (Thorndike, 1911 ; Pavlov, 1927 ; Skinner, 1953). A partir de l'observation des comportements en situation expérimentale, ces nouvelles méthodes ont permis de jeter les bases des théories de l'apprentissage. L'ensemble des travaux de ces auteurs se conformaient alors au principe de parcimonie de Morgan. Ce dernier affirme : "il n'est pas nécessaire de faire appel à des structures psychologiques d'ordre supérieur (comme la volonté) quand des systèmes explicatifs plus simples (le réflexe par exemple) peuvent rendre compte de façon adéquate d'un comportement donné" (dans McPhail, 1982, p. 2).

Les premières théories d'apprentissage, dites associacionnistes, postulent que l'apprentissage est le résultat de liens entre un stimulus et une réponse (Watson, 1913 ; Guthrie, 1935 ; Skinner, 1938). Pour certains, l'association entre stimulus et réponse va dépendre des

conséquences de la réponse et de sa valeur fonctionnelle pour l'organisme (théorie du renforcement : Thorndike, 1913 ; Hull, 1931). Ces différentes théories résultaient au départ d'expériences impliquant la production d'une réponse unique puis de séquences de réponses. Prenons par exemple le parcours d'un labyrinthe possédant plusieurs embranchements. Un rat peut apprendre une réponse conditionnée à chaque embranchement (stimulus). Hull (1931) et Skinner (1934) proposent qu'une telle séquence comportementale peut être réduite à une série d'unités de type stimulus - réponse : une réponse  $R_n$  devient le stimulus  $S_{n+1}$ , qui entraîne la réponse suivante  $R_{n+1}$ . Ils considèrent l'apprentissage d'une telle chaîne de liens stimulus-réponse comme le prototype explicatif des apprentissages de séquences. D'autres postulent, au contraire, une association entre stimuli contingents, base de la théorie cognitive. Ainsi, dans un labyrinthe, le rat percevant un lieu particulier  $S_1$ , va s'attendre à trouver à proximité un lieu  $S_2$ . Des associations par contiguïté spatiale vont être générées et l'animal va pouvoir étendre ces dernières jusqu'à former une représentation mentale de l'espace labyrinthe (Tolman, 1948). Plus récemment, un point de vue unitaire a été développé qui tient compte des théories de renforcement et de celles de représentation. L'animal peut être comparé à un processeur intelligent d'informations, capable de s'adapter à son environnement au travers de l'expression d'aptitudes cognitives variées (Roitblat, 1987). La relation d'un événement (stimulus) avec d'autres (stimuli, réponses, conséquences de la réponse) détermine alors quel comportement l'animal adoptera (Bever, 1984 ; Roitblat, 1987).

Les premières expériences auxquelles s'appliquaient ces théories, impliquaient la production d'une réponse unique ou d'une succession de réponses isolées dans des labyrinthes principalement. De nouvelles tâches ont été développées dans le but de fournir des informations sur la capacité des animaux à apprendre une séquence de réponses. Prenons le cas du labyrinthe radial d'Olton dans lequel des rats apprennent à parcourir chacune des huit allées renforcées sans y pénétrer une seconde fois (Olton et Samuelson, 1976). Puisque les animaux ne reproduisent pas de séquences de visites stéréotypées d'essai en essai, les auteurs concluent que l'hypothèse d'un chaînage successif stimulus-réponse ne peut pas s'appliquer ici et proposent celle de la construction d'une "carte cognitive" du labyrinthe.

Afin d'étudier la capacité d'apprentissage de séquences en l'absence de tout indice d'ordre spatial, Hulse et Campbell (1975) ont développé un protocole dans lequel des rats doivent parcourir plusieurs fois successivement une allée unique pour trouver des boulettes de nourriture. Au cours des parcours successifs, les rats trouvent à l'extrémité de l'allée des quantités de nourriture croissantes (0

boulette, 1, 3, 7 et 14), décroissantes (14, 7, 3, 1 et 0) ou bien aléatoires (14, 3, 1, 7, 0). Les résultats révèlent que la vitesse de parcours de l'allée est corrélée positivement avec la quantité de nourriture que les rats s'attendent à trouver. Ainsi pour une série de renforcements croissants, la vitesse des rats va croître parcours après parcours. Les auteurs proposent qu'au cours de cette épreuve, les rats apprennent une règle : la quantité de nourriture à un parcours donné est supérieure ou inférieure à celle du parcours précédent ou suivant (Hulse et Dorsky, 1979 ; Hulse, 1978). Dans une expérience similaire, Capaldi et collaborateurs ont argumenté que les animaux acquièrent une succession d'associations des stimuli entre eux (Capaldi, Verry et Davidson, 1980). Roitblat propose, quant à lui, une représentation de la séquence de renforcements après avoir montré que le remplacement d'une quantité de nourriture par zéro boulette dans une série (14, 7, 3, 1, 0 → 14, 7, 3, 0, 0) ne modifie pas la vitesse de parcours des animaux (Roitblat, Pologe et Scopatz, 1983). Il est intéressant de noter que pour un même protocole expérimental, ces trois groupes ont apporté une conclusion différente. On ne peut pas conclure à une plus grande pertinence pour l'une ou l'autre mais plutôt proposer la possibilité d'une coexistence des différents processus.

Afin d'approfondir l'étude de cette capacité d'acquisition de séries, non plus à partir de l'enregistrement de la vitesse de déplacement des rats mais à partir de leurs choix, Olton, Shapiro et Hulse (1984) ont soumis des rats à l'apprentissage d'un labyrinthe radial à quatre branches. Chacune possède à son extrémité une certaine quantité de boulettes de nourriture selon la série de 18, 6, 1, et 0 boulette. Lorsque les rats sont libres de choisir l'ordre de visite des bras, ils les empruntent après dix essais de la plus grande quantité de boulettes vers la plus petite. Lorsque le premier choix de l'animal est forcé et qu'il doit visiter en premier le couloir renforcé par six boulettes par exemple, ses parcours suivants concerneront d'abord l'allée à 18 boulettes puis celle à 1 boulette. Ces résultats sont réfractaires à une explication par la théorie du chaînage successif. Ces auteurs proposent alors que les rats ont formé une représentation de la séquence de renforcements.

Une limite de ces paradigmes expérimentaux d'apprentissage de séquences est la nature des stimuli. En effet, la série à apprendre est constituée par des quantités différentes de nourriture. Cet élément peut alors jouer sur l'état de motivation du sujet. Les nouveaux protocoles qui ont été développés par la suite sont basés sur l'utilisation de stimuli abstraits. Shimp a étudié la mémorisation de séquences d'événements chez le pigeon en présentant à trois reprises un item (une croix blanche) aléatoirement sur l'une ou l'autre de deux cibles. Après un intervalle de rétention, il présente à l'animal un indice coloré parmi trois sur les deux cibles simultanément. Si l'indice est de couleur rouge, le

pigeon doit picorer la cible sur laquelle est apparu l'item en premier. Si l'indice est de couleur bleue, l'animal doit picorer la cible sur laquelle l'item est apparu en second et finalement pour la troisième position, l'indice est de couleur blanche. Les résultats montrent que les pigeons apprennent cette tâche. De plus, ils ne semblent pas mémoriser une seule réponse mais une séquence de réponses suggérant que le renforcement répété d'une série de réponses renforce le motif dans sa totalité. Puisque le renforcement n'interagit pas seulement avec une seule réponse mais avec le motif entier, l'auteur suggère que les pigeons ont la capacité de regrouper des réponses en une unité fonctionnelle (Shimp, 1976).

Une autre limite des premiers paradigmes expérimentaux consiste en la présentation successive des stimuli. En effet, ce type de présentation peut apporter des informations sur l'ordre des items dans la série. Les premiers travaux basés sur la présentation simultanée des stimuli en l'absence d'indices rétroactifs sont accordés à Hunter avec son labyrinthe temporel. Ce labyrinthe consiste en deux couloirs rectangulaires agencés en forme de 8. Le sujet doit produire une séquence de réponses consistant à effectuer, à partir de la portion centrale, deux tours en empruntant le couloir gauche, puis deux tours en empruntant le couloir droit. Un choix correct va alors dépendre du choix fait deux tours auparavant. Ainsi, suite au premier tour à gauche, un second tour à gauche est correct et suite à ce second tour, un tour à droite sera correct. Puisque rien ne change dans le labyrinthe entre le premier et le second tour, l'auteur propose que les indices qui guident le choix du sujet proviennent de "l'intérieur" et ils nomment ces indices "représentations". Les rats ne réussissent pas cette épreuve de double alternance (deux tours à gauche suivis de deux tours à droite puis deux tours à gauche...). Par contre, des rats laveurs réussissent cette expérience mais échouent pour la triple alternance (trois tours de chaque côté) alors que des singes réussissent à toutes les expériences (Hunter, 1913, 1920).

Plus récemment, Terrace et collaborateurs ont montré que des pigeons sont capables d'acquérir un apprentissage sériel simultané d'items abstraits (Straub, Seidenberg, Bever et Terrace, 1979 ; Straub et Terrace, 1981 ; D'Amato et Colombo, 1988). Dans ce protocole, quatre cibles de couleurs sont affichées simultanément et l'animal doit les produire dans l'ordre correct pour être renforcé. Les erreurs de choix ou d'omission (absence de réponses pendant 15 secondes) entraînent l'arrêt de l'essai et un essai de correction débute après une période d'obscurcissement complet de la cage de 20 secondes. Ce protocole a permis d'étudier ce que le pigeon a appris dans une tâche d'apprentissage sériel simultané. Nous l'avons modifié afin d'étudier, dans une approche



complémentaire, comment l'apprentissage simultané d'une série s'établit chez le pigeon. Lors de la mise au point de ce protocole, nous avons été confrontés à plusieurs problèmes méthodologiques auxquels nous avons tenté de répondre.

Le premier problème est, qu'en cas d'erreur, l'essai se termine prématurément et la cage s'obscurcit (Straub et al., 1979 ; Straub et al., 1981 ; D'Amato et al., 1988). Ces événements peuvent être considérés comme des indices négatifs (Bullock et Bitterman, 1962 ; Bever, 1984). Ces indices pourraient fournir aux sujets une information du type "choix correct ou incorrect" entraînant des comportements plus efficaces. Luck, Colgrove et Neuringer (1988) ont en effet montré que l'addition d'un renforcement conditionné (lumière) après chaque réponse correcte dans la production d'une séquence diminue la production d'erreurs. Cet indice est considéré comme un retour positif qui permettrait alors à l'animal de différencier ses réponses correctes des réponses incorrectes.

Deuxièmement, la plupart des expériences d'apprentissage sériel simultané basées sur le protocole de Terrace, se font par phases successives. Les sujets apprennent à produire un item A, puis dans l'ordre les items A et B, AB et C... A chaque phase, un nouvel item est introduit et seuls les items à produire sont présentés. Le passage d'une phase à l'autre se fait après atteinte d'un critère de 75% de réponses correctes lors de deux séances consécutives. Une contrainte de choix dérive alors de cette acquisition par phases et chaque nouvelle phase est signalée par l'addition d'un nouvel item (Sigurdardottir, Green et Saunders, 1990). Nous trouvons dans la littérature des expériences dans lesquelles les auteurs ont tenté de minimiser voire de supprimer ces contraintes. Certains ont utilisé des listes qui n'étaient pas structurées par une acquisition phasique en présentant dès le début de l'apprentissage trois items simultanément au lieu de un, puis deux, etc. (Swartz, Chen et Terrace, 1991). D'autres ont utilisé des items distracteurs en présence des items pertinents (Sigurdardottir et al., 1990) ou bien une procédure de libre correction dans laquelle une erreur ne produit pas l'interruption de l'essai. Au contraire, les sujets peuvent corriger leurs erreurs et l'essai se terminera seulement après la production de la séquence demandée (Luck et al., 1988 ; Mélan, Castéras, Corbières et Gallo, 1996).

Afin de réduire, autant que possible, les indices rétroactifs susceptibles de guider les choix des animaux, nous avons développé un protocole d'apprentissage sériel basé sur la procédure de libre correction et sur l'utilisation d'items distracteurs. Lors d'un essai, quatre stimuli sont affichés simultanément et l'essai se termine par la seule production de la séquence correcte, éliminant ainsi

tout indice rétroactif sur les erreurs ou sur les réponses correctes avant la production de la séquence complète. L'acquisition de la série se fait par phases mais la présence d'items de distraction va minimiser les contraintes de choix.

Plusieurs hypothèses ont été formulées pour rendre compte des performances d'apprentissage sériel simultané de pigeons en situation de correction habituelle ou de libre correction des erreurs. Terrace et collaborateurs (1979, 1981) ont soumis des pigeons à l'acquisition d'une série de quatre items (ABCD) puis à des sous-séquences de celle-ci (AB, AC, BD...). Les sujets, devant produire les éléments de ces sous-séquences dans l'ordre, présentent de très bonnes performances pour les sous-séquences incluant le premier et/ou le dernier item de la série complète (AC, BD). Pour la sous-séquence formée des items intermédiaires (BC), les performances diminuent sensiblement. Les auteurs concluent à la capacité des pigeons à former une représentation linéaire de la série (Straub et al., 1979, 1981). En 1988, D'Amato et Colombo ont mené une expérience comparative avec des singes soumis dans les mêmes conditions expérimentales à l'acquisition d'une série de quatre items et à ses sous-séquences. Les singes répondent correctement à toutes les sous-séquences indépendamment des items qui les composent. De plus, leur temps de latence au premier item d'une sous-séquence augmente selon que cet item est le premier (A), le second (B), le troisième item de la série initiale, alors que pour les pigeons le temps de latence est identique pour toutes les paires. Les auteurs proposent alors que les pigeons utilisent des processus discriminatifs pour acquérir une série. L'allumage des cibles servirait de stimulus discriminatif pour répondre au premier item, cette réponse servirait à son tour de stimulus discriminatif pour produire le second item et ainsi de suite. Par ailleurs, les auteurs notent que les pigeons répondent en fait à la sous-séquence intermédiaire (BC) en dessous du hasard, c'est à dire en produisant préférentiellement l'item le plus proche du renforçateur (C). Pour rendre compte de cette observation, ils proposent que les pigeons apprennent, en plus, à discriminer la distance relative de chaque item au renforcement.

Une expérience, menée avec la procédure de libre correction au laboratoire, a révélé des résultats intéressants à l'appui de cette hypothèse (Castéras, 1996). Des pigeons ont été soumis à l'acquisition d'une série de trois items (ABC). Bien qu'ils n'aient pas atteint le critère d'acquisition après 50 séances, certains résultats sont utiles à mentionner. Ainsi, une diminution du taux de production de chacun des trois items de la liste corrélativement à sa distance respective au renforçateur a été mise en évidence. Le taux de production par séance de chacun des items A, B et C était respectivement de 12%, 35% et 50% à partir de la dixième séance. De manière similaire,

Luck et collaborateurs (1988) ont rapporté une diminution du taux des erreurs entre la production du premier et du dernier item d'une série de 3 items. A la lumière de ces résultats, il a été suggéré que dans une tâche d'apprentissage sériel simultané, les items acquièrent une valeur (Castéras, Camps et Mélan, 1997). Cette valeur serait attribuée directement par le renforcement alimentaire au dernier item d'une série et indirectement par transfert d'une partie de cette valeur aux items précédents. La théorie du transfert de valeur a été formulée au départ pour rendre compte des réponses de pigeons dans une tâche d'inférence transitive (Fersen, Wynne, Delius et Staddon, 1990, 1991) et plus récemment dans des tâches de discrimination (Siemann, Delius, Dombrowski et Daniel, 1996b). L'ensemble de ces résultats semble concorder avec l'hypothèse de D'Amato suggérant que les compétences sérielles des pigeons reposent sur des processus discriminatifs permettant aux oiseaux de discriminer la distance temporelle relative de chaque item avec le renforcement (D'Amato, 1991).

Le premier objectif de ce travail a été de préciser davantage les facteurs régissant l'apprentissage sériel dans cette situation. Nous avons évalué et approfondi l'hypothèse du rôle du renforçateur dans la construction de la série chez le pigeon (Mélan et al., 1996) et du transfert de valeurs (Castéras et al., 1997) en modifiant les contingences de renforcement durant l'apprentissage et le surapprentissage de séries de deux et trois items. Nous avons en particulier entraîné des pigeons selon un mode proactif et rétroactif. Dans le premier cas, le nouvel item, à chaque phase, est ajouté en fin de liste (A, AB, ABC) et dans le second en début de liste (A, BA, CBA). De cette manière, nous avons pu évaluer l'importance du maintien, à travers les phases d'apprentissage, du même item à proximité du renforcement.

Le deuxième objectif de ce travail a été de mettre à l'épreuve, de deux manières différentes, l'hypothèse du transfert de valeur qui a été confirmée dans la première partie de ce travail. Nous avons d'abord vérifié si les oiseaux sont capables de transférer cette règle d'un apprentissage en fonction de la distance de chaque item au renforçateur, à l'acquisition d'une série formée de deux nouveaux items (A'B') en présence de deux nouveaux items de distracteurs (C'D'). Dans une deuxième expérience, nous avons déterminé dans quelle mesure l'utilisation de cette règle aboutit à une connaissance de l'identité des items de la série et de leur position. Pour cela, les oiseaux sont confrontés à l'acquisition de séries recomposées en présence de quatre items issus pour partie de ceux présentés lors de l'apprentissage de la première série ABCD et de ceux de la seconde partie A'B'C'D'. Les résultats de ces deux expériences devraient permettre de préciser le processus qui est impliqué dans la production du critère d'apprentissage.

Le troisième objectif de ce travail a été d'étendre aux humains l'étude, en situation de libre correction, des capacités d'apprentissage sériel simultané, de généralisation à de nouvelles listes ainsi que de tests de position sérielle. L'apprentissage sériel a été considéré chez l'humain comme un pré-requis à l'acquisition du langage (Lashley, 1951) et de nombreuses autres capacités (jouer d'un instrument de musique par exemple). Ainsi, parallèlement aux études expérimentales chez l'animal, s'est développée l'étude de l'apprentissage sériel chez l'humain. Cette voie de recherche a été initiée par les travaux importants d'Ebbinghaus à l'aube de ce siècle. Suite à l'apprentissage d'une liste ABCDE par exemple, l'auteur a appris successivement d'autres listes dérivées de la première en modifiant la position des items. Une nouvelle liste peut être par exemple ACEBD, dénommée liste d'ordre 1 puisque l'ordre des items est décalé d'un rang. Une liste d'ordre 2 serait alors ADBEC. En comparant le gain en temps lors de l'apprentissage de ces nouvelles listes par rapport à l'apprentissage de la liste initiale, l'auteur conclut que des associations se sont formées entre les items adjacents selon la théorie du chaînage successif et que la force des associations diminue avec l'augmentation de la distance entre deux items de la liste (Ebbinghaus, 1913). Une limite importante à cette explication par la théorie du chaînage a été apportée par Lashley (1951). Il souligne que dans de nombreuses séquences comportementales humaines, telles que jouer d'un instrument de musique, l'intervalle entre les réponses successives est trop court pour permettre aux conséquences proprioceptives d'une réponse de fonctionner en tant que stimulus pour la réponse suivante. Dans ce cas, des stimuli proprioceptifs autogénérés fournissent la seule source de rétroaction pas-à-pas. Pour Lashley et, par la suite pour Chomsky, une autre limite du modèle du chaînage successif est l'existence de relations entre des mots non adjacents (Lashley, 1951 ; Chomsky, 1957, 1959). Ebenholtz (1963) propose une autre hypothèse explicative des capacités d'apprentissage sériel. Il soumet trois groupes de sujets à l'acquisition de deux listes A et B successivement (A : abcdef...). La seconde liste du premier groupe est formée de nouveaux items en alternance avec des items de la première série (B1 : K<sub>1</sub>bK<sub>2</sub>dK<sub>3</sub>f...). L'acquisition de cette seconde liste est comparée avec celle du deuxième groupe dont la particularité est de contenir des items de la première liste dont quatre au plus conservent la position qu'ils occupaient dans la première liste. Finalement, un troisième groupe contrôle sera soumis à l'acquisition d'une seconde liste formées d'items entièrement nouveaux. Les résultats montrent que les performances des trois groupes sont respectivement de 10, 16 et 18 essais pour apprendre la seconde liste. L'auteur propose alors que l'apprentissage de la position ordinale des items est un aspect important dans l'apprentissage de séries. Notons que de nombreux résultats

expérimentaux ont permis à Jensen et Rowher (1965) de suggérer que l'apprentissage d'une série repose à la fois sur la formation d'associations et sur l'apprentissage de positions. Ces auteurs soutiennent l'hypothèse que lors de l'apprentissage d'une liste, le chaînage des items survient dans une partie de cette liste alors que l'apprentissage de position survient dans une autre. Une hypothèse alternative est donnée par Slamecka (1964) qui propose que les items d'une série soient fixés selon leur position relative dans la série. Ils ne sont pas associés entre eux mais chacun avec une séquence mentale autogénérée (un code) ou bien une représentation spatiale de la séquence (premier, second...) (Crowder, 1976, pour une revue). L'ensemble de ces résultats a amené Crowder à proposer que l'apprentissage sériel repose sur le chaînage des items, l'apprentissage de leur position ou bien sur les deux. Dans chaque cas, l'apprentissage peut être expliqué par l'hypothèse de l'apprentissage de position lorsque le protocole expérimental est tel que l'on s'attend à l'utilisation d'indices de position. Au contraire, ce sera l'hypothèse du chaînage qui l'emporte si le protocole utilisé conduit plutôt à l'utilisation d'associations. Simon & Kotovsky (1963), quant à eux, ont proposé un ensemble de six règles nécessaires et suffisantes pour expliquer l'apprentissage de structures sérielles par les humains : (1) posséder une liste d'éléments primaires tels que chiffres ou lettres, (2) connaître le premier et le dernier élément, (3) avoir le concept « d'égal » ou « d'identique », (4) avoir le concept de « suivant » dans une liste ordonnée, (5) pouvoir identifier et reproduire une structure cyclique (concept de périodicité), et (6) pouvoir garder une trace d'un petit nombre de symboles en mémoire immédiate.

L'ensemble de ces hypothèses a été développé à partir de protocoles de présentation successive des stimuli. Plus récemment, ces protocoles ont été utilisés non plus pour mettre à l'épreuve des hypothèses relatives à la construction de la série mais plutôt à des processus non-spécifiques (l'attention) ou de connaissance impliquée dans la production de la série (implicite/explicite). Par exemple, Nissen et Bullemer (1987) ont soumis des sujets à une tâche de temps de réaction. Un item apparaît sur un écran à une des quatre extrémités d'une croix. Le sujet doit alors appuyer sur la position où apparaît cet item. Ensuite, un autre item apparaît sur une position en fonction d'une séquence structurée, ou d'une séquence de positions aléatoires. Au cours de l'apprentissage de la séquence structurée, le temps de réaction des sujets pour toucher le stimulus va diminuer, indice que les sujets ont appris la structure de la séquence. Lorsqu'une seconde tâche simultanée est introduite, il n'y a plus d'amélioration des temps de réaction à la présentation d'une séquence structurée. Les auteurs concluent que l'attention est nécessaire à l'acquisition d'une liste

structurée.

De nombreuses autres expériences, basées sur la production de séquences, se réfèrent à la dissociation entre les formes d'apprentissage implicite et explicite (Reber, 1989 ; Perruchet et Amorin, 1992 ; Cohen, Ivry et Keele, 1990 ). Dans les expériences classiques d'apprentissage, les sujets sont informés de l'objectif de la tâche et de ce qu'ils doivent apprendre. Dans ces expériences, on postule que les sujets vont développer des stratégies intentionnelles d'acquisition des informations et acquièrent de ce fait une connaissance explicite, en l'occurrence de la structure des séquences acquises (Stadler, 1989 ; Fezzani, 1995). Les résultats montrent une association entre les capacités des sujets à expliciter leurs connaissances et leurs capacités à réaliser la tâche. Parallèlement, des expériences, impliquant des consignes vagues, non directement orientées sur le contenu des informations à acquérir, ont été réalisées. On postule que les connaissances acquises dans ce cadre ne sont pas explicitables et que l'apprentissage ne peut être qu'inféré à partir de mesures indirectes comme la performance. On qualifie ces apprentissages d'implicites. En résumé, si les performances des sujets sont supérieures à leur capacité à verbaliser la structure de la séquence, l'apprentissage est qualifié d'implicite. Dans le cas contraire, l'apprentissage est qualifié d'explicite (Lee, 1995).

Les quelques expériences d'apprentissage sériel simultané dans la littérature portent principalement sur la formation de classes d'équivalence de stimuli. Dans ces expériences, des items arbitraires sont affichés simultanément dans la partie haute d'un écran d'ordinateur et le sujet doit former une série en sélectionnant les items un à un et en les faisant glisser dans la partie basse de l'écran. Dans certaines de ces expériences, Les sujets doivent produire une série à partir des seuls items affichés (Stromer et Mackay, 1993 ; Maydack, Stromer, Mackay et Stoddard, 1995). Ces expériences portent principalement sur la capacité des sujets humains à former des classes de stimuli à partir de l'étude de l'interchangeabilité entre stimuli de deux listes. Dans d'autres expériences, l'acquisition de séries se fait à partir d'un ensemble d'items contenant les items à produire mais aussi des items distracteurs (Sigurdadottir et al., 1990 ; Green, Sigurdardottir et Saunders, 1991). Le but de ces expériences est d'étudier la formation de classes de stimuli, qualifiées de classes d'équivalence, à partir de l'acquisition de plusieurs listes de stimuli. Ces auteurs définissent des stimuli comme équivalents si les relations qui les rassemblent sont du type réfléchi, symétrique et transitif. L'ensemble de ces expériences n'a pas porté directement sur l'étude de l'apprentissage de séries en tant que tel, de sorte que les résultats de l'apprentissage initial des listes ne sont pas rapportés dans ces travaux.

Dans une approche comparée, nous nous sommes intéressés dans des conditions similaires à celles utilisées chez le pigeon aux processus impliqués dans l'acquisition successive de séries chez l'humain. Nous postulons que les processus utilisés sont au départ les mêmes que ceux des pigeons mais que le sujet humain est capable de construire au cours de l'apprentissage une représentation plus complexe de la séquence en tenant compte de la position relative de chaque item dans la série. Nous testerons cette hypothèse en soumettant les sujets à l'acquisition de séries recomposées dont certains items conservent la même position que celle qu'ils occupaient dans leur série initiale. Afin de vérifier la nature de la connaissance que les sujets humains auront acquis au cours de ces expériences, ils seront soumis à un questionnaire qui nous permettra de préciser si les sujets ont acquis une connaissance implicite ou explicite des tâches qu'ils ont réalisées. Les consignes utilisées dans cette expérience ne précisent pas la nature sérielle de l'information à acquérir, de sorte à ne pas orienter les choix des sujets et de les mettre dans des conditions aussi proches que possible de celles utilisées chez les pigeons. En effet, de nombreux travaux soulignent l'importance des consignes données dans l'exécution d'une tâche sérielle chez l'humain (Slamecka, 1964 ; Sigurdardottir et al., 1990 ; Green et al., 1991 ; Lee, 1995). Dans certaines expériences, les performances de sujets s'accroissent significativement lorsque les consignes les instruisent soit sur la nature de la séquence à produire soit sur les règles sous-jacentes à sa production (Slamecka, 1964 ; Lee, 1995).

Le quatrième objectif a été de valider les processus d'apprentissage mis en évidence dans les analyses comportementales. Dans une approche complémentaire, nous avons alors tenté d'élaborer des modèles mathématiques. Une simulation satisfaisante de nos données empiriques pourrait valider, dans une certaine mesure, ces processus.

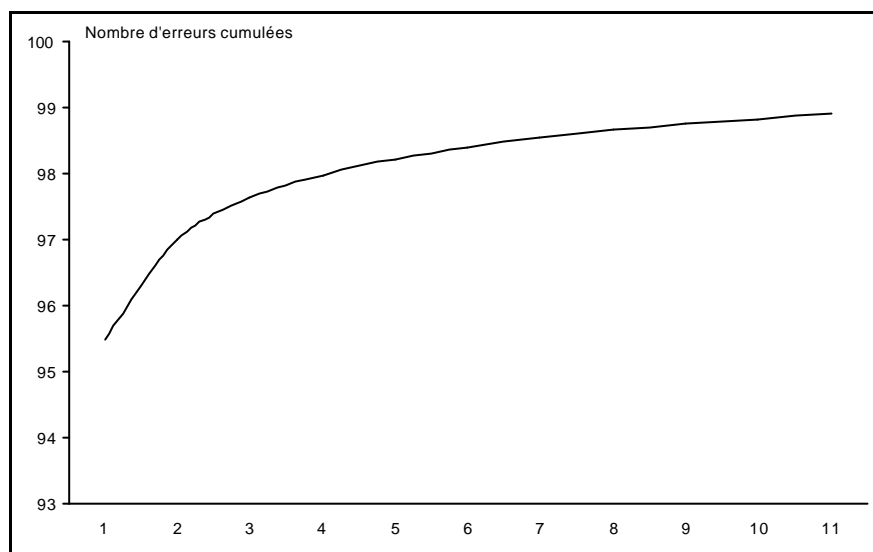
Le langage mathématique permet en effet depuis longtemps de décrire de manière succincte et précise des phénomènes au travers d'équations décrivant les relations fonctionnelles des différents membres qui les constituent. Une équation peut être vue comme le modèle d'un phénomène empirique. La construction mathématique doit alors ressembler à ce phénomène au moins par certains points (Shull, 1991). Les premiers modèles ont utilisé des fonctions dites déterministes. Prenons par exemple Fechner qui en 1860 a proposé le modèle suivant : la sensation perçue est une fonction logarithmique de l'intensité de la stimulation. Cette fonction est déterministe puisqu'à chaque valeur de la stimulation, on obtient une et une seule valeur de la sensation. Jusqu'en 1950, les modèles traitant des phénomènes d'apprentissage étaient du type déterministe et permettaient de simuler les courbes d'apprentissage (évolution du nombre d'erreurs cumulé au cours des essais)

comme par exemple Gulliksen en 1934 utilisant la formule suivante :

$$U = a(1 - \frac{b}{w+b})^g$$

où  $U$  et  $\omega$  représentent respectivement le nombre d'erreurs cumulées et le nombre d'essais,  $\alpha$  est le coefficient de non renforcement (la force d'une association incorrecte),  $\beta$  le coefficient de renforcement (ou la force d'une association correcte) et  $\gamma$  le ratio de ces deux coefficients.

Grâce à cette équation, Gulliksen (1934) a pu simuler de manière satisfaisante l'évolution des courbes d'apprentissage de rats dans une expérience de discrimination à l'aide de l'appareil de planches à saut de Lashley.



Simulation de la courbe des erreurs cumulées lors de l'apprentissage avec  $\alpha=1$  et  $\beta=100$

On pourrait rapprocher la construction de ces modèles déterministes de la vision du comportement comme séquences génétiquement fixées et donc déterministes (Tinbergen et Perdeck, 1950). Or, avec l'évolution des idées en psychologie expérimentale et en éthologie depuis les années 1950, les séquences comportementales ne sont plus considérées comme génétiquement fixées mais comme variables et prévisibles dans une certaine mesure. En effet, la probabilité d'un acte donné va être fonction de l'acte ou de la séquence d'actes qui l'ont précédé. Ce type de séquence est qualifié de probabiliste (Slater, 1973 ; Martin et Bateson, 1993). Les modèles proposés par la suite (Bush et Mosteller, 1951 ; Estes, 1950), étaient donc de nature probabiliste ou stochastique. La variabilité des performances lors d'un apprentissage n'était plus expliquée par des facteurs externes incontrôlés mais devenait un élément intrinsèque au modèle. Pour ces auteurs, l'apprentissage s'effectue au cours d'une succession d'essais. La réponse du sujet aux items présentés à chaque essai va se faire parmi



plusieurs alternatives. Elle va être suivie d'un résultat (renforcement, non renforcement ou punition) qui modifie en retour les probabilités de choix des différentes alternatives avant l'essai suivant. Tous ces modèles vont décrire l'évolution des probabilités de choix au cours des essais et la distribution qui en résulte.. C'est dans ce cadre que s'inscrivent les modèles d'attribution de valeur qui ont permis de simuler, entre autres, les épreuves d'inférence transitive (Fersen et al., 1990, 1991 ; Couvillon et Bitterman, 1992) et qui ont été à la base des modèles développés pour l'apprentissage sériel aussi bien chez le pigeon que chez l'humain.

En résumé, le travail que nous avons réalisé consiste en l'étude de l'acquisition de séries d'items arbitraires chez le pigeon et chez l'humain. L'analyse fine des réponses des sujets soumis successivement à l'apprentissage, au surapprentissage, à la généralisation et à des tests de position sérielle a permis d'évaluer et d'approfondir les hypothèses d'apprentissage d'une part d'un lien entre chaque item et le renforcement au travers du transfert de valeur et l'apprentissage ultérieur de la position des items. Nous avons ensuite construit deux modèles mathématiques afin de vérifier si nos hypothèses de travail pouvaient rendre compte de nos résultats expérimentaux.

## Matériel et Méthode

Afin de faciliter la compréhension des différents protocoles expérimentaux, nous présenterons dans cette partie les sujets, le matériel ainsi que les procédures expérimentales communes à toutes les expériences relatives à l'apprentissage sériel chez le pigeon. Lors de la présentation de chaque expérience, nous détaillerons les différentes variantes du protocole.

Le matériel et les méthodes spécifiques aux expériences chez l'humain seront détaillés dans le chapitre II.

### 1- Animaux

Des pigeons mâles Carneaux rouges et blancs *Columba livia*, âgés de 18 à 24 mois sont maintenus pendant toute la durée des expériences dans des cages individuelles (50 x 50 x 50 cm). De l'eau est à leur disposition en permanence alors que la nourriture (mélange de graines) ne leur est délivrée qu'après pesée journalière. Ces animaux subissent une restriction alimentaire afin d'amener leur poids à 80% de celui de libre alimentation.

### 2- Matériel

Le dispositif expérimental est constitué d'une boîte en bois insonorisée (60 x 40 x 50 cm). Cette boîte est éclairée en permanence par une source lumineuse (Halogène, 45W) placée sur la face supérieure et qui délivre aux niveau des cibles une intensité lumineuse de l'ordre de 45 Lux. La paroi frontale présente quatre orifices de 2 cm de diamètre derrière lesquels sont placés deux paires d'émetteurs-recepteurs infrarouges. Ces orifices sont disposés en matrice carrée, 5cm de centre à centre, à 25 et 30 cm du plancher et 10 cm des parois latérales. A la base de cette paroi frontale se trouve un réceptacle (2 x 1 x 1 cm) dans lequel est délivré le renforcement alimentaire (2 ou 3 pois verts) depuis un distributeur automatisé placé à l'extérieur de cette enceinte. Placé derrière la paroi frontale, un écran VGA affiche face, aux quatre orifices, 4 plages colorées (Rouge, Vert, Bleu et Jaune par exemple). L'ensemble, orifices plus plages colorées, sont dénommés cibles. Un logiciel LAZER développé par P. Guérin (1990) et adapté par V. Castéras (1992) sur console IBM PC va piloter l'affichage des cibles, la distribution de nourriture et l'enregistrement des réponses correspondant à la rupture du faisceau infrarouge au niveau des différents orifices. Un contrôle sonore (2500 Mhz, 30 ms) est émis à chaque rupture de faisceau infrarouge.

L'affichage des cibles sur l'écran est de type pseudo-aléatoire (Gellerman, 1933). A savoir

qu'une configuration de quatre couleurs ne peut être affichée plus de deux fois successivement. Cette procédure particulière a été mise en place afin d'éviter tout apprentissage de type spatial.

Un écran de contrôle placé dans une pièce adjacente à la pièce d'expérimentation permet de visualiser les comportements du sujet au cours des expériences par l'intermédiaire d'une caméra VHS dont l'objectif est introduit par un orifice dans la paroi opposée à celle contenant les cibles.

### **3- Méthode**

Quelque soit l'expérience, tous les sujets sont soumis aux phases de familiarisation, de façonnement et de préapprentissage.

#### a) Familiarisation

Les oiseaux, placés pendant 10 minutes dans l'enceinte expérimentale, reçoivent un renforcement alimentaire toutes les deux minutes. Durant cette période, aucune plage colorée n'est affichée. Cette tâche se termine lorsque les pigeons viennent manger régulièrement les petits pois.

#### b) Façonnement

Après l'affichage d'une configuration de 4 couleurs, les animaux sont amenés, par approximations successives, à picorer les différentes cibles (Skinner, 1953). Le principe d'approximation successive consiste à renforcer l'animal lorsque celui-ci émet des comportements orientés tout d'abord vers la paroi frontale puis plus précisément vers les différentes cibles jusqu'à ce qu'il les picore (sous-entendu, qu'il fasse pénétrer son bec dans les orifices afin de couper le faisceau infrarouge).

#### c) Préapprentissage

Durant cette phase, les animaux doivent picorer à chaque essai une cible afin d'être renforcés. Le choix de la cible renforcée, est pseudo-aléatoire de manière à n'entraîner aucune préférence visuelle pour l'une ou l'autre couleur présentée. Cette phase se termine lorsque l'animal a été renforcé 15 fois en 15 minutes soit de 3 à 4 fois sur chaque couleur. Lorsque l'animal a émis la réponse correcte, le renforcement est délivré et, parallèlement, les cibles s'éteignent pendant un intervalle inter-essai de 5 secondes. Passé ce délai, une nouvelle configuration des quatre couleurs est affichée entraînant le début d'un nouvel essai.

#### d) Apprentissage sériel

L'apprentissage se déroule sur le mode progressif au cours de séances journalières de 15 minutes. L'animal va donc être soumis à différentes phases d'apprentissage qui diffèrent par la réponse correcte à produire : lors d'une première phase, picorer la couleur rouge pour être renforcé, puis, lors de la phase suivante, picorer dans l'ordre la couleur rouge puis la couleur verte... Le critère d'apprentissage qui termine les différentes phases et entraîne l'exécution de la phase suivante consiste à produire durant 5 essais consécutifs seulement la réponse correcte. Le nombre d'essais et le nombre de séances au critère sont donc variables entre les différents sujets et les différentes tâches, ce qui nous amène à un traitement particulier des données développé ci-après.

Ces apprentissages ont la particularité de se dérouler selon la procédure de libre correction. Dans cette procédure, l'animal ne reçoit d'indications relatives à ses réponses que lorsqu'il produit une réponse correcte. Celle-ci est suivie par l'arrêt de l'essai, la distribution du renforçateur alimentaire et l'intervalle inter-essai. Ensuite, un nouvel essai débute par l'affichage d'une nouvelle configuration des 4 couleurs. Les répétitions sur une même cible ne sont pas considérées comme des erreurs. Les répétitions et les erreurs dans le choix de la ou des couleurs à picorer sont enregistrées mais n'ont aucune influence sur le déroulement de l'essai.

#### e) Mode d'apprentissage

Deux modes d'apprentissage seront utilisés lors des expériences suivantes. Le mode proactif consiste à augmenter la longueur de la liste à apprendre en ajoutant le nouvel élément en fin de liste (A, AB, ABC). L'item le plus proche temporellement du renforçateur change alors à chaque étape. Le mode rétroactif, quant à lui, consiste en l'ajout du nouvel item en début de liste (A, BA, CBA). L'item A reste alors toujours le plus proche du renforcement quelque soit l'étape.

### **4- Traitement des données**

Au cours de chaque séance et pour chaque sujet, le logiciel LAZER enregistre la couleur picorée et le délai en secondes entre le début de la séance et le coup de bec sur cette couleur. La latence entre deux picorages consécutifs ne sera pas prise en compte du fait de la précision insuffisante de cette mesure. Un exemple d'essai pour l'acquisition de la série A-B est donné ci-dessous.

D	18
A	20
A	22
A	23
B	25
Renforcement	

Tableau récapitulatif d'un essai récompensé après la production de la séquence AB

La séquence de réponse est DAAAB-renforcement. Elle comprend 3 des 4 couleurs présentées, une transition D-A, 2 transitions A-A (2 répétitions du A), la transition correcte A-B qui sera suivie du renforcement alimentaire.

Le traitement statistique portera sur l'analyse de l'évolution au cours de l'apprentissage de quatre types de données:

1/ Analyse des items pris individuellement : fréquences relatives des choix et des répétitions des items au cours des séances et de l'item débutant chaque essai, la latence entre le début de l'essai et la première réponse.

2/ Analyse des transitions : fréquences des transitions entre couleurs et répétitions.

Des comparaisons entre échantillons dépendants (même groupe au cours de l'apprentissage) et entre échantillons indépendants (groupes de protocoles différents en fonction des phases d'apprentissage) seront réalisées au moyen du test t de Student. Pour les expériences d'apprentissage de séries de trois items, trois groupes de sujets sont soumis aux expériences. Les nombres de séances au critère étant très important, elles ont été regroupées en blocs de trois séances. Vu le nombre important de variables à prendre en compte, nous avons utilisé des analyses de variances (ANOVAs). Elles ont permis de comparer les effets du type d'entraînement (proactif, rétroactif, avec ou sans rappel), les performances et les réponses au cours de l'apprentissage.

3/ Analyse des séquences de réponses ( n=2, 3 ou 4) : Fréquence de production de séquences traitées par l'analyse factorielle des correspondances (AFC) à partir d'un

module d'analyse textuelle (SPADT) et d'un module d'analyse numérique (SPADN) (Lebart et Salem, 1988 ; Chevallet, Le Pape et Lassalle, 1987, 1988).

L'application des techniques d'analyse lexicale à la description des séquences de réponses repose sur le principe suivant : le fichier initial comporte la succession des réponses des individus pour chaque essai, chaque séance. Chaque réponse est considérée comme un "mot", chaque essai comme une "phrase". Ainsi, l'ensemble des essais d'une séance constitue un "texte". A partir de ce fichier, le module SPADT va pouvoir comptabiliser le nombre d'occurrences de segments (arbitrairement de 2 à 4 mots). Un filtre de sélection des segments a été placé pour ne retenir que les segments dont la fréquence de production est supérieure à 400 pour l'analyse d'une série de deux items et à 2700 pour une série de trois items. Un ensemble d'environ 40 segments a donc été retenu pour ces analyses. Ce seront les variables actives ou colonnes du tableau de fréquences. Les individus actifs ou lignes sont composés par toutes les séances de tous les sujets, soit 195 lignes notamment pour une série de deux items et 386 pour les séries de trois items. Dans le tableau de fréquences ainsi constitué pour cette expérience, au croisement de la colonne "segment AAB" et de la ligne "séance 2 - pigeon B2", se trouvera la valeur de la fréquence de ce segment dans cette séance : 128. Trois variables illustratives ont été ajoutées qui ne participent pas directement à l'analyse. De par leur corrélation avec les autres variables actives, elles seront positionnées à posteriori sur la représentation graphique et seront une aide à l'interprétation. Ces variables vont permettre de regrouper les individus-lignes en les affectant d'un code. Pour les séries de deux items, la variable Tâche (2 modalités) caractérise les séances selon le mode proactif (code 1) ou selon le mode rétroactif (code 2). La variable phase (3 modalités) va permettre d'étudier les segments de réponse des sujets selon un découpage arbitraire des expériences en deux ou trois phases. Pour les séries de deux items, une phase "début" codé Fb regroupe, selon l'expérience, les premières séances ou blocs de séances pour chaque individu. La phase "finale" Fe regroupe les séances ou blocs de séances correspondant à la fin de l'acquisition. La phase "intermédiaire" Fm regroupe les séances ou blocs restants. Une dernière variable illustrative a été constituée en croisant les deux précédentes (6 modalités). Pour les expériences avec des séries de trois items, une variable illustrative Phase à trois modalités a été créée. La modalité début (P1) regroupe les dix premières séances d'apprentissage quelque soit le groupe de sujet, la phase finale (P3), les dix dernières et les séances restantes sont regroupées dans la phase intermédiaire (P2). Une seconde variable Phase x Groupe (9 modalités) va permettre de coder pour chaque groupe d'individus la phase d'apprentissage. (G1 : groupe ABC,

G2 : AB\_ABC et G3 : CBA). Ainsi, la modalité P3G3 code pour les dix dernières séances des individus du groupe CBA.

Afin de pouvoir comparer les réponses des animaux selon le mode proactif (A, AB, ABC) et rétroactif (A, BA, CBA), nous avons recodé les réponses des sujets du mode rétroactif. C'est pourquoi, une réponse du type B devient pour cette analyse une réponse de type A et inversement, une réponse de type A devient une réponse de type B pour les séries de deux items et l'item C est remplacé par A, et A par C pour les séries de trois items. Au final, le recodage donne le profil suivant de réponses correctes -A, AB, ABC- pour le groupe rétroactif, identique à celui des groupes proactifs.

Finalement, ce tableau de fréquences a pu être décrit par l'analyse des correspondances. Le critère de regroupement entre les "individus" du tableau est leur profil (Analyse Factorielle des Correspondances basée sur la distance du Khi-deux). Cette dernière permet de décrire des "silhouettes statistiques" ou "des profils comportementaux". Un profil est un ensemble de modalités comportementales (segments de réponses) permettant de caractériser un groupe d'individus. Cet ensemble est nécessairement réduit mais suffisant pour être spécifique de ce groupe et le distinguer d'autres groupes caractérisés par des modalités comportementales différentes. Le profil d'un groupe ne se caractérisant que relativement par rapport à l'ensemble des individus considérés dans l'analyse.

Une classification portera sur ces résultats. Elle va comparer statistiquement la fréquence globale de production de chaque segment avec la fréquence de ces mêmes segments classés par séance, par groupe et par protocole. Si la fréquence d'un segment AB par exemple en dernière séance d'apprentissage est statistiquement supérieure à la fréquence globale de AB au cours de l'apprentissage, la séquence AB sera alors caractéristique de la dernière séance d'apprentissage.

4/ Ces analyses descriptives de séquences seront complétées par une analyse des chaînes de Markov qui calcule la probabilité qu'une réponse, exécutée par l'animal, soit fonction du hasard, soit fonction de la réponse précédente voire des deux réponses précédentes .... Cette analyse pourra être révélatrice de ce que l'animal a appris. Si en fin d'apprentissage de la série AB, elle révèle que la probabilité de produire une réponse est fonction de la réponse précédente, on peut supposer que l'animal a bien appris que la série correcte est composée de deux stimuli et non de trois par exemple (Anderson et Goodman, 1957 ; Gottman et Roy, 1990).

# Chapitre I : Acquisition de séries chromatiques dans différentes conditions de renforcement chez le pigeon

## 1- Introduction

L'apprentissage de séries chez le pigeon, confronté à plusieurs items simultanément, se fait en plusieurs étapes. A chaque nouvelle étape l'animal doit rajouter un item à la liste précédemment apprise. Ce paragraphe tente de préciser les processus impliqués dans cet apprentissage selon que l'animal doit rajouter un nouvel item en début ou en fin de liste. Ces protocoles d'apprentissage que nous appellerons respectivement rétroactif et proactif correspondent en fait à des variations des conditions de renforcement au cours de l'apprentissage. Nous tenterons ensuite d'établir un modèle mathématique en fonction des facteurs d'apprentissage mis en évidence. A cet effet, nous allons mener plusieurs expériences, et comparer les résultats à ceux obtenus par d'autres membres de l'équipe dans des conditions d'apprentissage sériel différentes. Ceci s'avère indispensable en particulier pour l'élaboration et la validation d'un modèle. Nous préciserons pour chaque expérience les résultats originaux de ce travail et ceux ayant fait l'objet d'autres mémoires.

## 2- Résultats

### 1. Acquisition d'une série de deux items selon le mode rétroactif ou proactif, avec ou sans rappel de la tâche précédente

Une étude précédente avait révélé que des pigeons, soumis à l'acquisition d'une série de deux items de manière proactive, semblent avoir appris cette série par étapes. Dans une étape initiale, les animaux ont appris à distinguer les items pertinents (A et B) des non pertinents (C et D). Dans une phase intermédiaire, ils produisaient presque exclusivement les items pertinents indépendamment de leur ordre. Finalement, ils produisaient différenciellement la réponse correcte AB par rapport à la séquence inverse BA. Durant la phase intermédiaire, le taux de production global du second item de la liste dépassait largement celui des autres items. De plus, de nombreux essais débutaient par une réponse sur ce second item de la liste, c'est à dire l'item B, directement renforcé. Ces résultats suggèrent que l'acquisition d'une série d'items selon la procédure de libre correction implique la formation de liens associatifs entre les items pertinents et entre le dernier item et le renforcement (Mélan et al., 1996).

L'expérience suivante nous a permis d'étudier plus en détail le rôle du renforçateur lors de



l'acquisition de séries de deux items. Nous avons fait varier les conditions de renforcement en utilisant deux méthodes différentes de conditionnement. Avec la méthode de conditionnement proactif, à chaque étape de l'acquisition le nouvel item est ajouté en fin de liste (A, AB). Avec la méthode rétroactive, le nouvel item est ajouté en début de liste (A, BA). Dans le second cas, la réponse correcte se termine toujours par l'item A qui est alors suivi du renforcement dans les deux phases d'apprentissage.

Terrace et collaborateurs ont suggéré que la méthode rétroactive permettrait de meilleures performances car l'apprentissage serait facilité par le maintien du lien entre le dernier item de la série et le renforçateur (Straub et al., 1979). Ils ont mené une expérience de production d'une série selon cette méthode. Celle-ci a été interrompue après 25 séances car les animaux faisaient une fixation sur le dernier item et n'avaient pas introduit le nouvel item en premier élément de la série de deux items à apprendre. D'un autre côté, des résultats contradictoires ont été obtenus dans des expériences d'appariement retardé à des exemples présentés successivement. MacDonald a montré une augmentation des performances lorsque les oiseaux devaient répondre de manière rétroactive alors qu'aucune différence n'avait été mise en évidence selon le type de réponse proactive ou rétroactive par Terrace (MacDonald, 1993 ; Terrace, Chen et Jaswal, 1996). Le protocole de libre correction devrait nous permettre de trancher car, en l'absence de renforcement, les animaux changent leur réponse et même si une fixation sur le dernier item s'observe, elle est transitoire (Mélan et al., 1996 ; Castéras et al., 1997).

#### a) Méthode

23 pigeons adultes, maintenus dans les conditions expérimentales précisées dans la partie Matériel et Méthode, sont soumis à l'acquisition d'une série de deux items. Le groupe proactif AB (n=14) et le groupe rétroactif BA (n=9) seront d'abord soumis à l'acquisition de la tâche consistant à produire cinq fois consécutivement l'item A suivi à chaque fois de la consommation du renforcement. Dans la deuxième phase décrite ici, le groupe proactif devra produire jusqu'au même critère la série AB, c'est à dire produire l'item A suivi de l'item B. Le groupe rétroactif apprend la série inverse, picorer l'item B suivi de l'item A. Ce groupe a été conditionné et les résultats en partie analysés par Caroline Durif dans le cadre d'un DESU (Durif, 1997).

**b) Résultats**

Les oiseaux des deux groupes ont atteint le critère de la première phase A - renforcement en 1 séance, à l'exception d'un animal du groupe AB qui a nécessité deux séances. Pendant l'acquisition de la série de 2 items, le nombre de séances au critère et le nombre d'essais par séance varient entre les sujets. Ainsi, le regroupement des données par animal, toutes séances confondues, a permis une première analyse globale. Puis, l'évolution des réponses instrumentales des sujets au cours de l'apprentissage a été appréhendée.

L'activité et les performances globales des oiseaux sont illustrées dans le tableau I.1.1. grâce à l'analyse de différents paramètres comportementaux. Le groupe BA diffère du groupe AB par une durée moyenne d'activité par essai supérieure ( $t_{21}=2.48, p<0.022$ ). Cette augmentation résulte en fait d'un plus grand nombre de coups de bec par essai ( $t_{21}=2.94, p<0.008$ ), principalement des répétitions ( $t_{21}=3.45, p<0.002$ ) plutôt que des erreurs (n.s.).

	<b>Groupe AB</b>	<b>Groupe BA</b>
	<b>Performance</b>	
	moyenne (ESM)	moyenne (ESM)
nombre séances au critère	5.78 (0.60)	7 (0.80)
nombre essais par séance	149.35 (18.17)	141 (8.0)
nombre réponses par essai	10.1 (0.28)	* 12.95 (0.28) ( $p<0.008$ )
nombre répétitions par essai	5.49 (0.28)	* 7.98 (0.81) ( $p<0.002$ )
nombre erreurs par essai	2.60 (0.45)	2.97 (0.28)

	<b>Activité globale</b>	
	moyenne (ESM)	moyenne (ESM)
durée d'activité par séance	635.54 (27.50)	671.45 (28.27)
durée par essai	39.67 (4.56)	* 57.06 (6.09) ( $p<0.022$ )

Tableau I.1.1. Synthèse des performances et activités globales. Moyenne et erreur-type sont données pour chaque groupe et pour chaque variable. Une différence significative entre les groupes est spécifiée par une astérisque et sa probabilité est donnée par le t de Student.

<b>Acquisition AB</b>		
	<b>Choix</b>	<b>Répétitions</b>
A (%)	18.79 (0.93)	17.16 (1.10)
B (%)	13.20 (0.63)	34.46 (1.17)
C (%)	4.61 (0.37)	2.84 (0.48)
D (%)	5.28 (0.78)	3.63 (0.76)
<b>Acquisition BA</b>		
A (%)	23.08 (1.22)	38.80 (2.94)
B (%)	12.59 (0.83)	11.85 (2.03)
C (%)	3.08 (0.37)	2.00 (0.26)
D (%)	4.72 (0.50)	3.85 (0.96)

Tableau I.1.2. Fréquence relative (moyenne et erreur-

type) des choix et des répétitions des 4 items présentés pour les deux groupes AB et BA.

Toutes séances confondues, le taux moyen de production des items pertinents (tableau I.1.2) est largement supérieur à celui des items non pertinents (AB: 86.43% et BA: 86.24%). Les comparaisons des taux de production des différentes couleurs peuvent être résumées de la manière suivante : pour le groupe AB,  $B > A > C = D$  ( $p < 0.001$  pour chaque comparaison) et pour le groupe BA,  $A > B > D > C$  ( $p < 0.001$  à l'exception de la dernière comparaison entre D et C,  $p < 0.035$ ). Ces résultats indiquent que les oiseaux produisent préférentiellement l'item directement renforcé. Si l'on distingue les choix de couleur et les répétitions, on retrouve les mêmes profils de production et on constate que la préférence de l'item renforcé est dûe en grande partie aux nombreuses répétitions de cet item.

La figure I.1.1. ci-dessous montre la décomposition des réponses en choix de couleurs d'une part et en répétitions sur celles-ci d'autre part et ce, au cours des deux premières et des deux dernières séances. Les taux de production sont comparés par groupe et par séance. On constate que, dès la première séance pour le groupe BA et la deuxième pour le groupe AB, les oiseaux choisissent et répètent plus fréquemment l'item directement renforcé. Cette préférence se maintient jusqu'à l'avant-dernière séance pour le groupe AB et la dernière pour le groupe BA (pour les deux groupes à chaque séance,  $p < 0.01$  pour les différentes comparaisons entre le second item de la liste et les trois autres). Dans le groupe AB l'item A précédemment appris est caractérisé par un taux global stable de choix et de répétitions tout au long de l'apprentissage (environ 34%), alors que pour le groupe BA la production du nouvel item va croître de 16.2% en première séance à 37.7% en dernière séance ( $p < 0.001$ ).

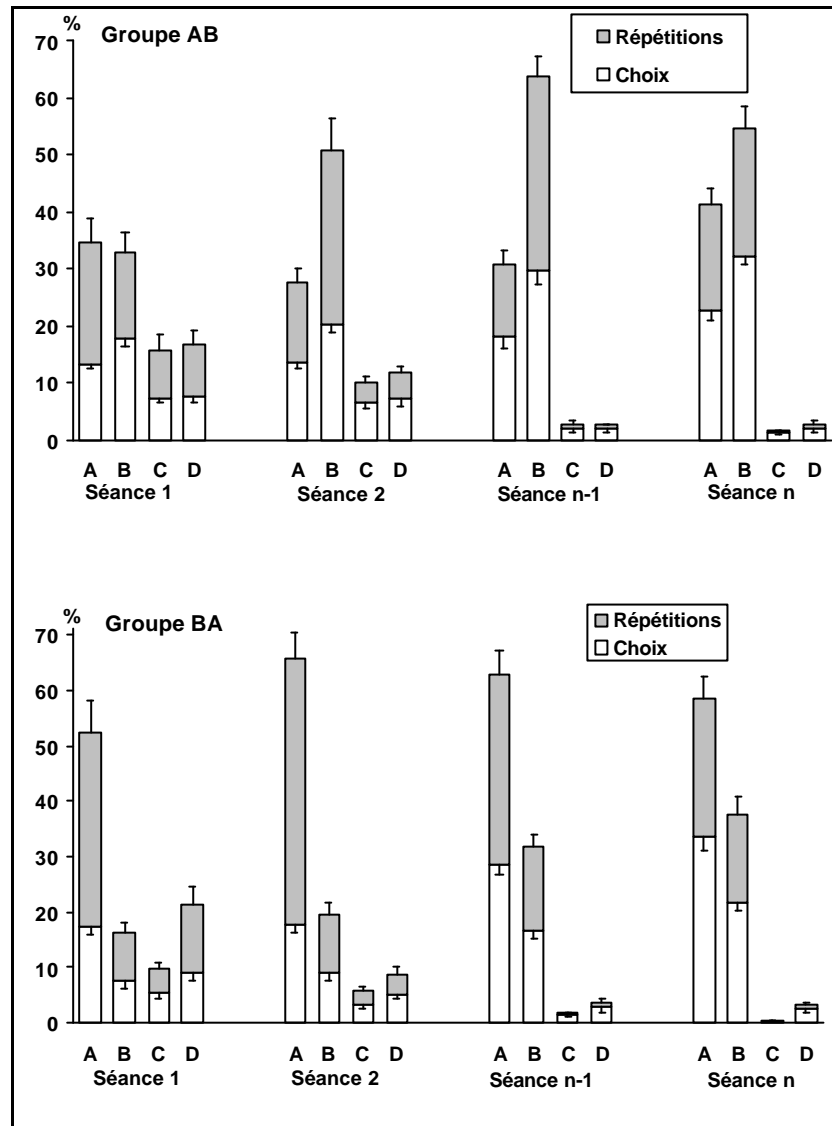


Figure I.1.1. Evolution des taux de production des couleurs en choix et en répétitions (moyenne et erreur - type) au cours de l'apprentissage (2 premières et 2 dernières séances) selon le mode proactif (groupe AB) et le mode rétroactif (groupe BA).

Etant donné la préférence globale pour l'item précédant le renforcement, un effet de récence a été recherché en analysant, par séance, le taux des réponses débutant chaque essai. L'ensemble de ces résultats est illustré sur la figure I.1.2.

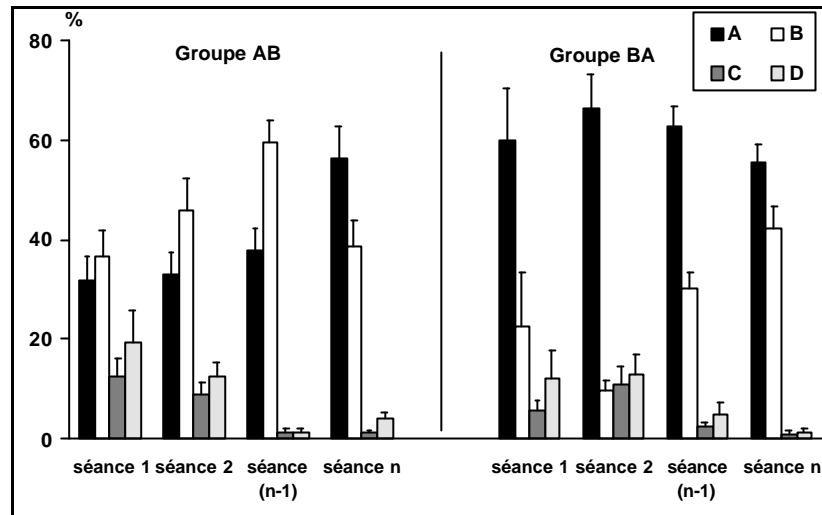


Figure I.1.2. Evolution des taux de production (moyenne et erreur-type) des 4 couleurs en première réponse de chaque essai lors des deux premières et des deux dernières séances pour les groupes AB et BA.

Les oiseaux du groupe AB débutent les essais de la première séance préférentiellement par les items pertinents sans distinction entre les deux ( $A=B>C=D$ ,  $p<0.001$ ) et par le second item à l'avant-dernière séance ( $t_{11}=2.16$ ,  $p<0.05$ ). Les oiseaux du groupe BA débutent pendant toutes les séances jusqu'à l'avant-dernière, significativement plus souvent leurs essais, par une réponse sur le second item de la liste à apprendre ( $A>B=C=D$ ,  $p<0.002$ ). La dernière séance est particulière en ce sens que les animaux des deux groupes n'affichent plus de préférence entre les items pertinents.

Les données analysées jusqu'à présent portent sur les quatre items pris individuellement (taux de production, choix, répétitions...) alors que l'animal produit des séquences de réponses. Une analyse factorielle des correspondances a permis d'analyser les séquences de réponses caractéristiques et leur évolution au cours des différentes phases de l'apprentissage. La figure I.1.3. est une représentation bi-dimensionnelle des données, avec un recodage des items A et B du groupe rétroactif en B et A respectivement. Le plan F1 x F2 explique 60.1% du Khi-deux global qui rend compte de la pertinence du modèle. L'axe F1 oppose les séquences formées d'items non pertinents avec ou sans répétitions (CC, DD et CD) et les séquences correctes et composites (AB, BAB). L'axe F2 marque l'opposition entre les séquences de répétitions sur l'item A et sur l'item B. Une classification hiérarchique ascendante sur tous les individus-lignes (séances) a révélé trois classes qui peuvent être interprétées comme trois phases dans l'apprentissage. En effet, ce découpage en classes est en accord avec le découpage arbitraire de l'apprentissage en 3 phases effectué grâce à la variable illustrative Phase à 3 modalités (début, intermédiaire et fin codées Fb, Fm et Fe). Ces points

sur le graphe sont bien positionnés selon cette classification. L'axe F1 peut être interprété comme l'axe représentant l'évolution de l'apprentissage. Chaque classe a pu être caractérisée par un ensemble de séquences de réponses. Cette caractérisation est fonction du rapport de la fréquence de chaque séquence dans cette classe par rapport à la fréquence globale de production au cours de l'apprentissage. La première classe Fb, correspondant au début de l'apprentissage, se caractérise pour les deux groupes par des séquences de répétitions sur les items non pertinents et sur le premier item de la série précédemment appris. La classe intermédiaire se caractérise pour le groupe AB par des séquences comportant le nouvel item répété ou bien combiné avec les items non pertinents. Pour le groupe BA, ce sont surtout des séquences répétées du deuxième item de la liste combinées avec un item non pertinent. La séquence correcte, la séquence inverse et la séquence composite sont représentatives de la fin de l'apprentissage pour les deux groupes.

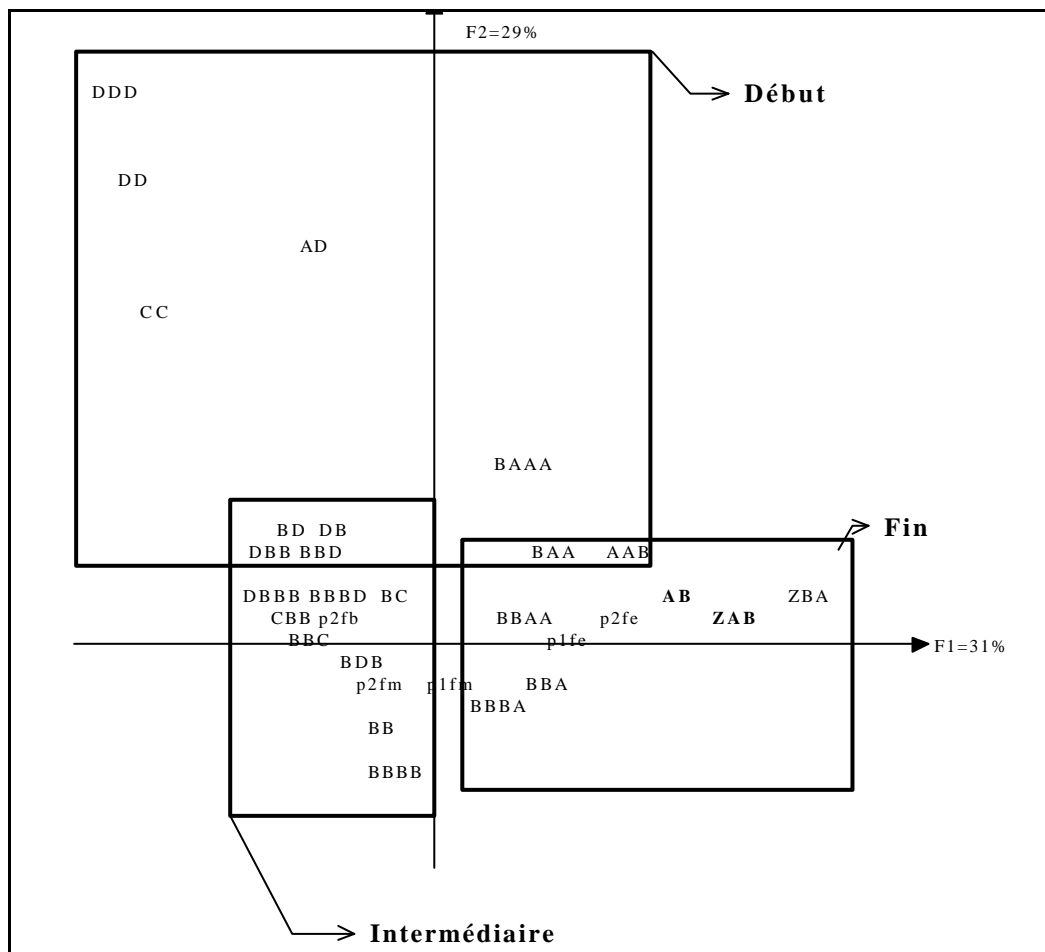


Figure I.1.3. : Plan factoriel F1 x F2 représentant les séquences caractéristiques produites par les sujets des groupes AB et BA au cours de l'apprentissage sériel. Ce plan explique 60% de l'inertie du nuage.

### c) Discussion

Pour acquérir la série de deux items, les animaux des deux groupes devaient au départ rappeler l'item A précédemment appris. Ils devaient ensuite produire un nouvel item B soit en début de liste (méthode rétroactive) soit en fin de liste (méthode proactive) pour être renforcés. Les données ont révélé que la relation A-renforcement était bien établie pour les deux groupes à la première séance d'acquisition de la série de deux items. En effet, le taux de production de l'item A était de 35% et 52% respectivement pour le groupe AB et le groupe BA. Le taux plus élevé pour le groupe rétroactif pourrait s'expliquer en partie par la conservation de ce lien entre les phases de production de l'item A et de la série BA.

Le nouvel item introduit dans le groupe AB devient, dès la première séance, significativement plus choisi que les deux items non pertinents, même en première réponse débutant les essais. En revanche, dans le groupe rétroactif, les taux de production de B, C et D ne varient pas significativement les uns des autres lors de la première séance. Le taux de production de l'item B ne devient supérieur à ceux des non pertinents qu'à partir de la deuxième séance. Ce taux restera inférieur à celui de l'item A directement renforcé tout au long de l'apprentissage. De plus, ces animaux requièrent un nombre de coups de bec supérieur pour produire la séquence correcte. Il s'agit principalement de répétitions portant sur l'item précédemment appris et toujours directement renforcé (A) (respectivement 35% et 48% en séance 1 et 2). Finalement, l'analyse de la première réponse débutant chaque essai révèle un fort effet de récence dès la première séance et ce jusqu'à l'avant-dernière séance alors que cet effet n'est significatif qu'à l'avant-dernière séance pour les animaux du groupe AB.

En dépit de ces différences du comportement instrumental des animaux conditionnés selon les modes proactif et rétroactif, les oiseaux des deux groupes maîtrisent la série de deux items dans un nombre comparable de séances. En résumé, le maintien de la contiguïté entre un item de la série et le renforçateur n'a pas facilité l'apprentissage de la série contrairement à ce qui a été suggéré par certains auteurs (Straub et al., 1979). Les résultats nous amènent à proposer que la contiguïté conservée à travers les phases de l'apprentissage du même item de la liste avec le renforcement semble perturber la sélection de l'item B comme nouvel item pertinent.

## 2. Surapprentissage d'une série de deux items

L'expérience précédente a mis en évidence deux phénomènes particuliers. D'une part, de nombreux essais débutent par la production de l'item le plus proche du renforcement dans la série à produire, indiquant un effet de récence dû à la contiguïté temporelle entre cet item et le renforcement. Cet effet de récence a également été mis en évidence dans des discriminations de séquences de deux items (Weisman, Dodd, Wasserman et Larew, 1980) et de trois items (Terrace, 1986a ; Shimp, 1976) puis, tel que nous le verrons ultérieurement, dans l'acquisition de séries de trois items (Castéras et al., 1997). Tous ces résultats montrent que cet effet est caractéristique des phases initiales de l'apprentissage mais disparaît à la fin pour permettre la production de l'ordre correct. D'autre part, le taux global des répétitions est de 54.2% et 60% en début d'acquisition et va décroître significativement au cours de l'apprentissage pour atteindre 42% et 41.4%. respectivement pour les groupes AB et BA ( $p < 0.005$  entre début et fin d'apprentissage pour chaque groupe). Cette observation concorde avec celle de D'Amato montrant la disparition des répétitions lors de la maîtrise d'un apprentissage sériel chez le singe (D'Amato et al., 1988).

Cependant, ces effets de récence et de diminution des répétitions se sont manifestés essentiellement à la dernière séance. Afin de vérifier le maintien voire l'évolution éventuelle de ces effets, nous avons soumis les animaux des deux groupes à un rappel quotidien de la série de deux items. Si l'effet de récence devait être absent, le taux des répétitions pourrait encore diminuer si l'on postule que le rappel aboutit à une augmentation de l'efficacité du comportement instrumental. Nous avons poursuivi un deuxième objectif, à savoir l'étude de l'effet de ce rappel sur l'acquisition corrélative d'une série de trois items. Les résultats de ce second objectif seront présentés et discutés ultérieurement (Expérience I.3.).

### a) Méthode

Neuf pigeons sélectionnés au hasard dans les groupes de l'expérience 1. seront utilisés pour étudier le surapprentissage d'une série de deux items dans le groupe proactif ( $n=5$ ) et dans le groupe rétroactif ( $n=4$ ).

Pour les deux groupes, chaque séance expérimentale débute par la réacquisition de la série de deux items. Après atteinte du critère de cette série l'animal est renforcé pour la production d'une série de 3 items. Le groupe proactif AB sera renforcé pour la production de la série ABC et le groupe rétroactif pour celle de la série CBA. Or, lors de l'acquisition de la série de trois items on



assiste à une diminution, puis à l'arrêt de la production des réponses dans le groupe rétroactif. Aussi, l'expérience a été interrompue pour ce groupe après quatorze séances et la comparaison des performances de surapprentissage des deux groupes porte sur ces quatorze séances.

### b) Résultats

Les paramètres comportementaux résumant l'activité et les performances globales des animaux sont illustrés dans le tableau I.2.1. Les oiseaux des deux groupes atteignent le critère d'acquisition de la série de 2 items lors d'un nombre comparable de séances. Les animaux du groupe BA, nécessitent cependant en moyenne moitié moins d'essais que ceux du groupe AB pour atteindre ce critère. Bien que le nombre moyen de réponses par essai soit comparable pour les deux groupes, le groupe rétroactif produit significativement plus de répétitions que le groupe proactif ( $t_7=2.25$ ;  $p<0.026$ ) et donc moins d'erreurs par essai. Au niveau de l'activité globale, le groupe BA montre une activité plus faible, exprimée par un délai plus élevé entre l'affichage des cibles et la première réponse, par une durée d'activité moyenne inférieure par séance et par une durée d'activité moyenne supérieure par essai.

	<b>Groupe AB</b>	<b>Groupe BA</b>
	<b>Performance globale</b>	
	moyenne (E.S.M.)	moyenne (E.S.M.)
% séances au critère	61.4 (3.6)	75.7 (7.2)
essais au critère	29.5 (5.0)	16.5 (2.6)
réponses par essai	4.7 (.03)	4.5 (0.2)
répétitions par essai	1.3 (0.2)	1.8 (0.2) * $p<0.026$
erreurs par essai	1.4 (0.1)	0.7 (0.1)
	<b>Activité globale</b>	
	moyenne (E.S.M.)	moyenne(E.S.M.)
latence 1ère réponse	27.3 (12.5)	42.2 (11.3)
activité/séance (sec)	527.9 (50.8)	391.9 (74.6)
durée/essai (sec)	16.7 (3.8)	29.5 (4.1)

Tableau I.2.1. Performance et activité globales exprimées par différents paramètres comportementaux (moyenne et erreur-type) pour les groupes AB et BA.

Les taux globaux de production des choix de couleurs et des répétitions, résumés dans le tableau I.2.2. indiquent que les animaux des deux groupes produisent le dernier item de la série (55.1% et 57.5%) plus fréquemment que le premier (34.4% et 38.8%) (AB  $t_3= 5.66$ ,  $p<0.001$  ; BA:  $t_8=2.30$ ,  $p<0.001$ ). De plus, l'item C est globalement plus choisi par le groupe AB que par le

groupe BA ( $t_{21}=2.41$ ,  $p<0.001$ ).

Rappel AB		
	Choix	Répétitions
A (%)	25.86 (0.91)	8.52 (2.12)
B (%)	39.76 (1.69)	15.29 (1.35)
C (%)	6.96 (1.12)	1.91 (0.40)
D (%)	1.38 (0.23)	0.32 (0.09)
Rappel BA		
A (%)	36.18 (2.09)	21.34 (2.76)
B (%)	25.00 (1.49)	13.77 (2.54)
C (%)	0.46 (0.19)	0.92 (0.86)
D (%)	2.06 (0.88)	0.27 (0.18)

Tableau I.2.2. Pourcentages (moyenne et erreur-type) à travers les séances de production (choix et répétitions) pour les 4 items selon les modes proactif et rétroactif.

Une analyse comparée de la fin de l'apprentissage (2 dernières séances de l'expérience I.1.) et du début du rappel (2 premières séances) révèle que les animaux du groupe AB produisent significativement moins de répétitions sur les items pertinents (A:  $t_3=3.45$ ,  $p<0.004$  et B:  $t_3=2.12$ ,  $p<0.046$ ). Les oiseaux du groupe rétroactif produisent les choix et les répétitions d'une manière comparable entre la fin de l'apprentissage et le début du rappel.

La comparaison des trois premières et des trois dernières séances de rappel indique que les résultats globaux reflètent bien le comportement des animaux tout au long du rappel (figure I.2.1.). En effet, les choix de couleur et les répétitions des quatre items restent relativement stables. On peut seulement remarquer que l'item C est produit, d'une part, de manière croissante mais non significative par les animaux du groupe AB au cours du rappel (de 3.45% à 8.40%, n.s.) et, d'autre part, produit significativement plus par ces animaux que par ceux du groupe BA en fin de rappel ( $t_7=7.26$ ,  $p<0.001$ ). L'analyse entre le début et la fin du rappel de la première réponse débutant chaque essai montre que pour chaque groupe, il y a autant d'essais débutant par A que par B ( $A=B>C=D$ ,  $p<0.001$ ). De plus, en fin de rappel, le nombre d'essais débutant par l'item C est significativement supérieur chez les AB comparé aux BA ( $t_7=3.074$ ,  $p<0.018$ ).

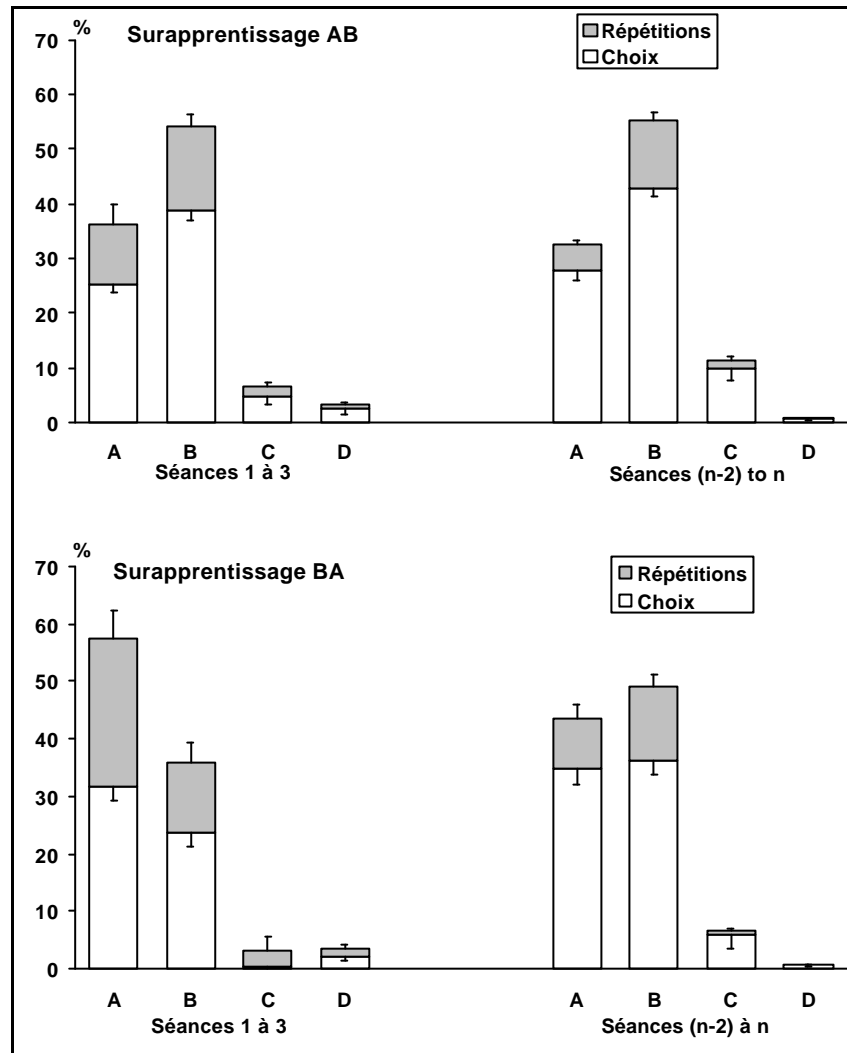


Figure I.2.1.: Evolution des taux de production des couleurs en choix et en répétitions (moyenne et erreur - type) au cours du surapprentissage (3 premières et 3 dernières séances) selon le mode proactif (groupe AB) et le mode rétroactif (groupe BA).

Vu le faible nombre de réponses par essai, il était tentant d'analyser les essais par type et de visualiser leur évolution. Huit types d'essais ont ainsi été définis selon qu'il s'agit d'un essai sans erreur, c'est à dire une séquence correcte (ABs et BAs), une séquence composite (BAB et ABA), ou d'un essai débutant par A, B, C ou D. Les fréquences des essais sans erreur (AB et BA) sont comparables pour les deux groupes et ne varient pas entre le premier et le dernier bloc de trois séances (figure I.2.2.).

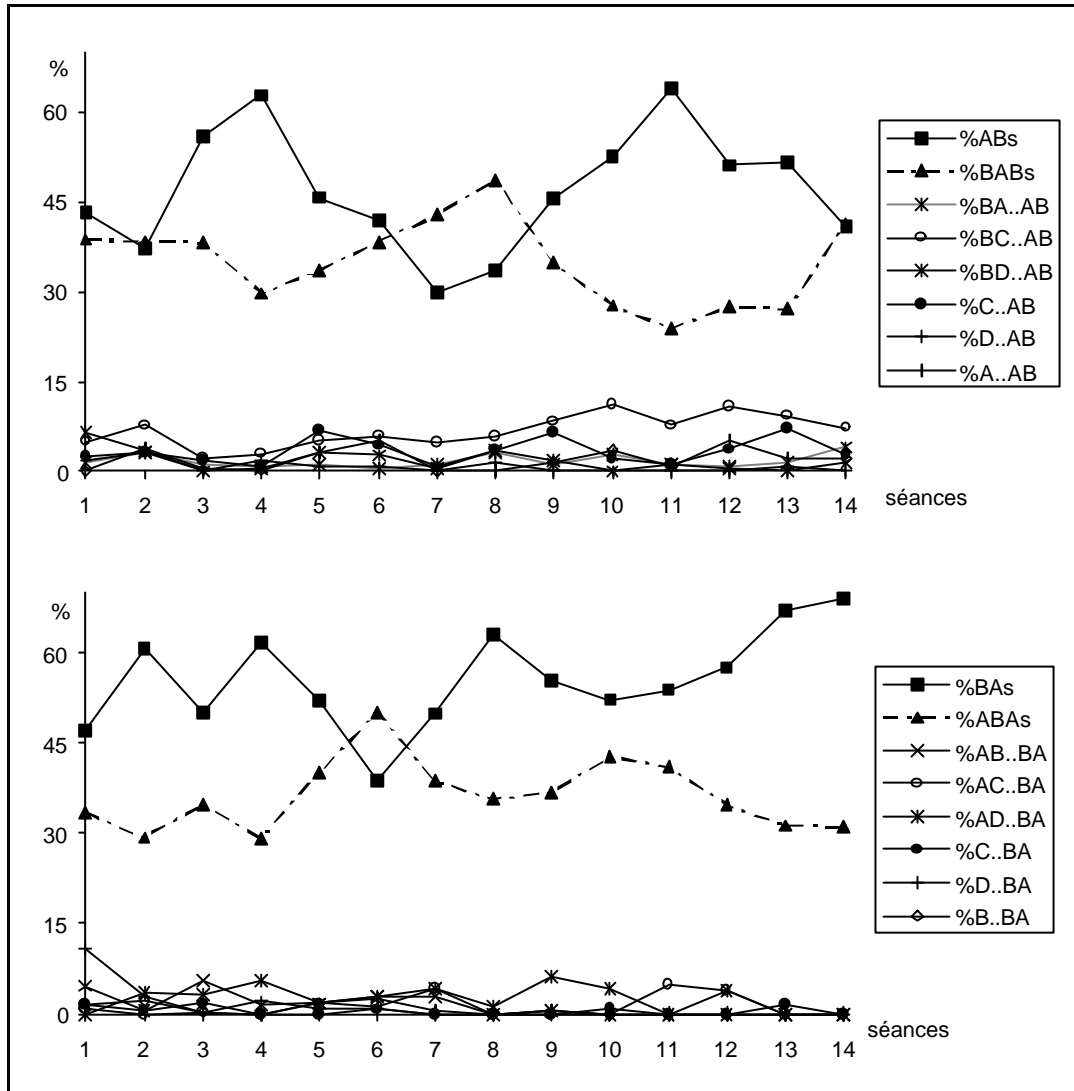


Figure I.2.2. Evolution des fréquences de séquences caractéristiques produites par les deux groupes au cours des 14 séances de rappel.

Comme dans l'expérience précédente, les données ont été analysées par la technique d'analyse factorielle des correspondances (figure I.2.3). Le tableau de fréquences constitué ici comporte les 40 variables actives (séquences) plus une variable illustrative [croisement des deux modes proactif et rétroactif (p1 et p2) et des phases du rappel (début Fb et fin Fe)] en colonnes et 76 individus actifs en lignes (séances). Une classification hiérarchique ascendante décrit les séances analysées en deux classes correspondant aux deux phases du rappel décrites ci-dessus. Une première analyse montre que les points début et fin sont proches pour chaque groupe. Ce rapprochement confirme la proximité des profils de production, c'est à dire la stabilité des réponses des sujets dans chaque groupe entre début et fin du rappel.

Les deux groupes semblent se distinguer entre eux par des segments de réponses caractéristiques. Le groupe AB sur la partie gauche du plan est caractérisé par des séquences

incluant l'item C (BC, CB ;  $p < 0.001$ ), puis par des séquences comprenant les items pertinents AB, BA, la séquence composite BAB et les séquences débutant par la lettre Z qui est un indicateur de début d'essai. Ce groupe est donc caractérisé par la production de séquences exactes en ce sens que l'animal ne produit que l'ordre correct AB ou bien des séquences débutant par l'item B comme BAB ou BBAB. Par contre, le groupe BA bien que produisant des séquences correctes, est principalement caractérisé par des séquences de répétitions du premier item de la liste (B codé A sur le graphe) et des séquences composées de l'item D et du second item de la liste (item A codé B).

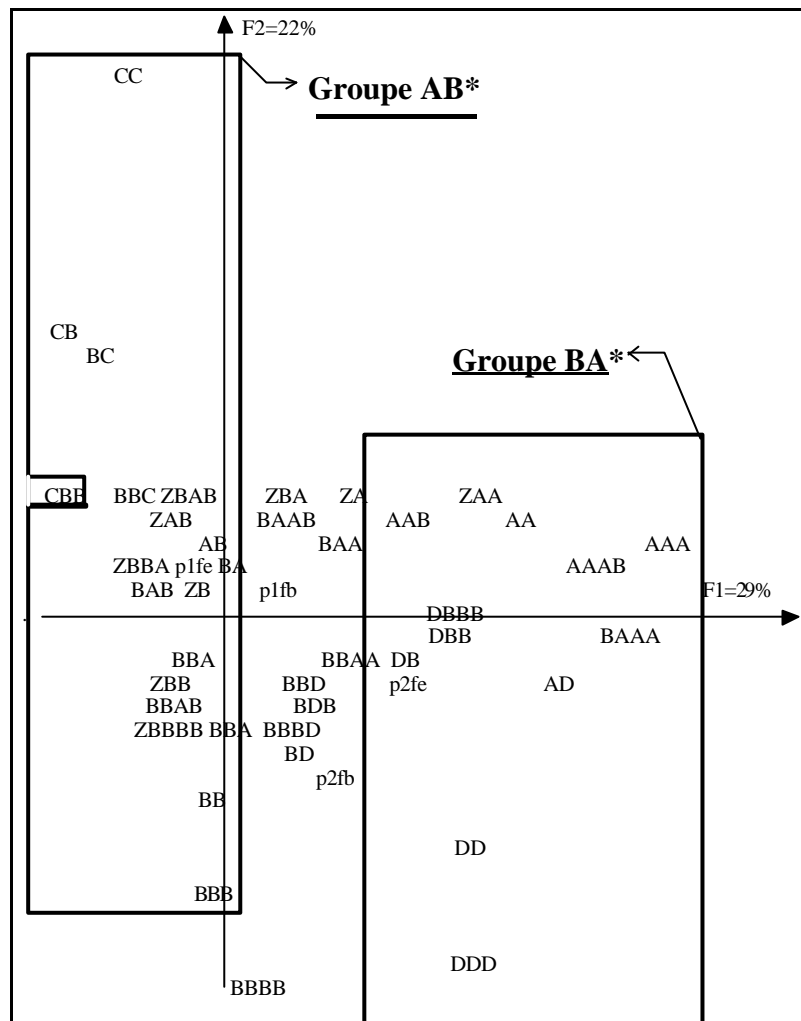


Figure I.2.3. Représentation du plan factoriel F1 x F2 expliquant 51% du Khi-deux total

### c) Discussion

Conformément à nos attentes, les performances des animaux, exprimées par les taux de production de la réponse correcte et des différents items, n'ont pas été fondamentalement modifiées au cours du rappel de la série de deux items avant l'acquisition de la série de trois items. De même,

des pigeons ayant atteint un critère de 75% de réponses correctes dans un autre apprentissage sériel n'améliorent pas leurs performances après deux mois d'entraînement supplémentaire (Terrace, 1991). Malgré un taux stable de réponses correctes, le protocole de libre correction nous a permis de montrer que les pigeons améliorent l'efficacité de leurs réponses pour résoudre la tâche. Ceci s'exprime d'une part par une diminution du taux des répétitions entre l'apprentissage et le rappel et au cours du rappel. Ce résultat est conforme à l'hypothèse de D'Amato (1988) qui a postulé que les répétitions diminuent durant la maîtrise de la tâche. D'autre part, bien que globalement les oiseaux des deux groupes produisent préférentiellement le second item de la liste, ce comportement ne se retrouve pas dans le choix de l'item débutant les essais. En fait, l'effet de récence a disparu depuis la séance au critère lors de l'apprentissage initial (expérience I.1.).

L'analyse du comportement instrumental des pigeons du groupe AB révèle que les séquences ordonnées correctement sont en compétition avec des séquences débutant par le second item de la liste et des séquences incluant l'item C. Ces résultats nous amènent à penser que l'introduction de l'item C lors de la tâche consécutive d'acquisition de la série de trois items (ABC) interfère avec le rappel de la série AB. Durant le rappel, ces animaux produisent en effet globalement significativement plus l'item C que l'item D. Ceci vaut également pour le premier coup de bec débutant chaque essai. Ceci pourrait expliquer le nombre plus élevé d'erreurs par essai. Par contre, l'ensemble des observations indique que les animaux du groupe BA n'ont pas identifié l'item C à ajouter à la liste BA, ce qui expliquerait probablement le plus faible taux d'erreurs par essai et la persistance des réponses sur le deuxième item (l'item A). En d'autres termes, la supériorité des performances des animaux BA (moins d'erreurs par essai) ne serait qu'apparente, elle refléterait l'absence d'apprentissage de la série de trois items.

Ces résultats indiquent que, dans certaines conditions expérimentales du moins, les pigeons sont capables d'apprendre simultanément des listes de longueurs différentes. Ils sont à rapprocher de ceux obtenus dans une tâche de reconnaissance sérielle (serial probe recognition task) chez des pigeons. Dans cet apprentissage, leurs performances restent proches du hasard (52% de réponses correctes) après 30 séances d'entraînement avec des listes dont la longueur varie entre 1 et 6 items (Wright, Santiago, Sands et Urcuioli, 1984). Les auteurs ont montré que plusieurs facteurs sont critiques pour l'apprentissage de cette tâche. D'abord, lorsque la longueur maximale des listes est réduite à trois et corrélativement les listes sont regroupées par blocs en fonction de leur longueur, les pigeons témoignent d'une amélioration des performances (62%). Cependant, malgré le

regroupement des listes par longueur, une interférence importante apparaît entre les listes de longueurs différentes. En revanche, lorsque les oiseaux sont confrontés à des listes d'une longueur fixée à trois items, ils apprennent rapidement la tâche et réalisent 88% de réponses correctes après 15 séances. De manière intéressante, la modification des items produit un effet perturbateur plus faible que la modification de la longueur de la liste. Les auteurs suggèrent que l'effet perturbateur résultant de l'utilisation de listes de longueur variable pourrait indiquer que les oiseaux préfèrent une séquence stéréotypée d'événements lorsqu'il progressent à travers des essais consécutifs. Nos résultats indiquent également l'existence d'un phénomène d'interférence, qui peut se manifester ici uniquement de la série de trois items avec celle de deux items.

En conclusion, la constance du profil de production des items et du taux de réponses correctes, ainsi que l'absence d'effet de récence durant le rappel démontre que le critère d'apprentissage retenu lors de l'expérience précédente est fiable. Cependant, les pigeons peuvent améliorer l'efficacité de leurs réponses en produisant moins de répétitions.

### 3. Acquisition d'une série de trois items selon le mode rétroactif ou proactif, avec ou sans rappel de la tâche précédente

Cette expérience va nous permettre d'aborder l'acquisition d'une série de trois items lorsque le troisième item est à rajouter à une série de deux items apprise précédemment. Trois objectifs sont réalisés au travers de cette expérience.

Le premier objectif est de reprendre l'hypothèse d'un effet facilitateur du mode d'apprentissage rétroactif. Contrairement à nos attentes, cette hypothèse n'a pas été vérifiée lors de l'apprentissage d'une série de deux items. Deux explications ont été proposées pour rendre compte de ce résultat. La première propose qu'en raison d'un apprentissage trop rapide de la tâche A-renforcement, le bénéfice du maintien dans la tâche suivante de l'item A proche du renforcement est peu marqué de sorte à ne pas avantager le groupe BA (Durif, 1997). Nous avons proposé une explication alternative, à savoir les animaux du groupe BA ont des difficultés à isoler et à ajouter l'item B en début de liste, le lien item A - renforcement étant trop "intense". Or, l'analyse du surapprentissage d'une série de deux items a révélé des performances comparables à celles rapportées à la dernière séance de l'acquisition initiale. En d'autres termes, on peut considérer que les animaux maîtrisent la série de deux items une fois qu'ils ont atteint son critère d'acquisition (cinq fois la séquence correcte de manière consécutive et sans erreur), que ce soit selon la méthode

proactive ou rétroactive. Nous pouvons alors admettre que la série a été bien apprise et étudier si le mode rétroactif facilite ou non l'acquisition d'une série de trois items. A cet effet, nous avons soumis les pigeons BA à l'acquisition de la série CBA, puis comparé leurs performances à celles décrites précédemment pour le groupe proactif ABC (Castéras, 1996).

Le deuxième objectif de la comparaison d'acquisition de séries de trois items selon les modes proactif et rétroactif est de vérifier jusqu'à quel point les processus sous-jacents à l'acquisition d'une série de deux items rendent compte de l'acquisition d'une série de trois items. Plus particulièrement, la sélection des items pertinents peut être prédite assez facilement. Par contre, l'ordonnancement des différents stimuli par des productions différentielles semble moins sûre car avec trois stimuli, l'animal peut construire six séquences ABC, ACB, BAC, BCA, CAB, CBA alors qu'il n'y avait que deux séquences AB et BA lors de l'apprentissage de la série de deux items. D'un autre côté, l'animal pourrait simplement rajouter le nouvel item C au début (CBA) ou à la fin (ABC) de la série précédemment apprise.

Le troisième objectif consiste à étudier l'effet facilitateur que peut produire le rappel quotidien d'une série précédemment apprise (AB ou BA) sur l'acquisition corrélative d'une série plus longue (ABC ou CBA). Cet objectif est motivé par plusieurs observations. D'abord, lors de l'acquisition de la série ABC, le taux des transitions A-B diminue de 40% à 12% entre la première et la dixième séance (Castéras, 1996). Ensuite, une expérience pilote a montré que lorsque les animaux sont soumis à la réacquisition du critère de la tâche A-renforcement au début de chaque séance d'acquisition de la série AB, ils nécessitent moitié moins d'essais pour atteindre le critère d'acquisition de AB (Camps, 1995). Pris ensemble, ces résultats pourraient indiquer un oubli relatif de la paire AB lors de l'apprentissage de la série ABC et une prévention de cet oubli par la procédure de rappel. Castéras (1996) a confirmé cette hypothèse en montrant que le rappel de la série AB en début des séances d'acquisition de ABC facilite cette dernière. Il nous a paru utile d'étendre ces observations au groupe rétroactif. Par conséquent, le groupe ayant appris la série BA a été soumis au rappel de ce critère à chaque séance avant d'être soumis à l'acquisition de la série CBA. Or, après 14 séances, l'expérience a été stoppée. En effet, les animaux réatteignent rapidement le critère de la série de deux items mais lorsque les conditions expérimentales de la séquence CBA sont introduites, ils cessent de produire des réponses. Par conséquent, l'étude des effets du rappel d'une série courte sur l'acquisition d'une série longue se limitera au groupe proactif. Cette étude sera réalisée en comparant les performances du groupe avec rappel AB\_ABC à celles des groupes sans rappel ABC



et CBA. Dans la discussion générale de ce premier chapitre, nous reviendrons sur l'absence d'apprentissage du groupe rétroactif avec rappel.

#### a) Méthode

Neuf pigeons ont été utilisés pour former un groupe proactif sans rappel (groupe ABC, n=3), un groupe proactif avec rappel (groupe AB\_ABC, n=3) et un groupe rétroactif (groupe CBA, n=3). Pour les trois groupes, la méthode utilisée est identique à celle utilisée dans les expériences précédentes en ce qui concerne la présentation simultanée de quatre stimuli. Tous les animaux ont d'abord appris la tâche A-renforcement, puis la production de la série de deux items qui est AB dans les deux groupes proactifs et BA dans le groupe rétroactif et finalement la série de trois items. La réponse correcte est alors ABC pour les groupes proactifs et CBA pour le groupe rétroactif. Rappelons que pour le groupe avec rappel les conditions de renforcement de la série de trois items sont introduites une fois que les animaux ont réatteint le critère de la série AB en début de chaque séance d'apprentissage. Pour tous les groupes, le critère d'apprentissage est de cinq réponses correctes consécutives.

Les résultats relatifs à l'acquisition d'une série selon le mode proactif (groupes ABC et AB\_ABC) seront repris, complétés (Castéras, 1996), puis comparés à l'acquisition de la série CBA.

#### b) Résultats

Les performances globales des trois groupes, toutes séances confondues pour chaque animal, sont illustrées dans le tableau I.3.1. grâce à l'analyse de différents paramètres comportementaux. Les résultats des analyses de variance à un facteur Groupe figurent également dans ce tableau. Ceux des tests post-hoc de Newman-Keuls sont reportés dans le tableau I.3.2. L'analyse de variance révèle donc un effet groupe pour le nombre moyen de séances et le nombre moyen d'essais au critère d'apprentissage. Ce sont les animaux du groupe ABC qui nécessitent significativement plus de séances et d'essais que les deux autres groupes d'animaux. Le groupe rétroactif CBA qui requiert autant d'essais que le groupe AB\_ABC, les réalise cependant en un nombre significativement plus élevé de séances.

	Groupe ABC	Groupe CBA	Groupe AB_ABC	F de l'ANOVA
nombre de séances au critère	58.33 (3.53)	42.67 (4.26)	30.00 (3.06)	$F_{2,6}=15.15$ , $p<0.004$
nombre d'essais au critère	1140.67 (79.34)	648.00 (163.23)	691.00 (57.81)	$F_{2,6}=6.15$ , $p<0.035$
nombre de réponses par essai	28.41 (1.07)	66.50 (13.98)	19.81 (2.52)	$F_{2,6}=8.71$ , $p<0.017$
nombre de répétitions par essai	11.23 (0.95)	31.05 (8.23)	5.64 (1.03)	$F_{2,6}=7.67$ , $p<0.022$
nombre d'erreurs par essai	15.91 (1.18)	33.63 (5.57)	13.92 (1.65)	$F_{2,6}=9.50$ , $p<0.033$

Tableau I.3.1. Performances (moyenne et erreur-type) pour chaque groupe lors de l'acquisition d'une série de trois items. Les valeurs-tests F de l'ANOVA et leurs probabilités sont données dans la quatrième colonne.

Lorsque l'on analyse les performances globales des animaux à partir d'un essai-moyen, ce n'est plus le groupe ABC mais le groupe CBA qui présente les plus faibles performances. En effet, le nombre moyen de réponses, d'erreurs et de répétitions est supérieur pour le groupe CBA dont les performances sont alors moindres. Ce groupe se distingue plus particulièrement du groupe AB\_ABC par un nombre moyen significativement supérieur de réponses et de répétitions par essai et des deux groupes proactifs par un nombre moyen supérieur d'erreurs par essais.

Lignes / Colonnes	Nombre moyen de	Groupe ABC	Groupe CBA	Groupe AB_ABC
Groupe ABC	séances		$p<0.023$	$p<0.0038$
	essais		$p<0.044$	$p<0.027$
	réponses / essai		X	ns
	erreurs / essai		X	ns
	répétitions / essai		X	ns
Groupe CBA	séances	X		$p<0.049$
	essais	X		ns
	réponses / essai	$p<0.027$		$p<0.022$
	erreurs / essai	$p<0.012$		$p<0.17$
	répétitions / essai	$p<0.019$		$p<0.02$

Tableau I.3.2. Synthèse des tests post-hocs de Newman-Keuls. Les résultats des comparaisons entre le groupe CBA et les groupes ABC et AB\_ABC sont exprimés par la probabilité associée au test lorsque la valeur moyenne pour le groupe CBA est significativement supérieure à celle des groupes en colonne pour la variable étudiée.

Afin d'analyser l'évolution de ces variables au cours de l'apprentissage et de permettre des comparaisons inter-groupes, nous avons regroupé les séances d'apprentissage par blocs de trois séances : Bloc 1 (séances 1 à 3), Bloc 2 (séances 4 à 6), Bloc 3 (3 séances du milieu de l'apprentissage), Bloc 4 (séances n-5 à n-3) et Bloc 5 (séances n-2 à n), n correspondant à la séance

d'atteinte du critère et différent pour chaque groupe. Nous avons comparé les performances des trois groupes d'animaux au cours de l'apprentissage par des ANOVAs à deux facteurs Groupes x Blocs. Pour les trois variables étudiées, L'analyse révèle un effet groupe, un effet bloc et une interaction entre ces deux effets (tableau I.3.3.).

	Effet Groupe	Effet Bloc	Interaction AB ABC
réponses / essai	$F_{2,6}=12.62, p<0.007$	$F_{4,24}=28.84, p<0.0001$	$F_{8,24}=5.99, p<0.0002$
erreurs / essai	$F_{2,6}=30.91, p<0.0001$	$F_{4,24}=14.48, p<0.0001$	$F_{8,24}=3.24, p<0.011$
répétitions / essai	$F_{2,6}=7.96, p<0.02$	$F_{4,24}=41.10, p<0.0001$	$F_{8,24}=8.88, p<0.0002$

Tableau I.3.3. Synthèse des résultats des ANOVAs Groupes x Blocs pour les variables nombre de réponses, nombre de répétitions et nombre d'erreurs par essai.

Nous avons résumé les résultats des tests post-hoc de Newman-Keuls dans le tableau I.3.4. L'ensemble des résultats révèlent que l'effet Bloc reflète une diminution du taux des réponses, erreurs et répétitions par essai entre les deux ou trois premiers blocs et les deux derniers blocs de l'apprentissage pour les trois groupes. L'effet groupe, quant à lui, indique que ce sont les pigeons du groupe CBA qui produisent en moyenne significativement plus de réponses, de répétitions et d'erreurs par essai que les deux groupes proactifs. L'interaction entre les deux facteurs, est dûe principalement aux performances des pigeons du groupe CBA au cours des trois premiers blocs de l'apprentissage. Une seule différence significative apparaît entre les deux groupes proactifs. Lors du deuxième bloc de trois séances, les pigeons ABC produisent significativement plus de répétitions par essai que ceux du groupe AB\_ABC ( $p<0.05$ ).

	Nombre moyen de	Groupe ABC Groupe AB_ABC
Groupe CBA	réponses / essai	Groupe : $p<0.007$ Inter. blocs 1,2 $p<0.0002$ ; bloc 3 $p<0.017$
	erreurs / essai	Groupe : $p<0.001$ Inter. blocs 1,2,3 $p<0.018$
	répétitions / essai	Groupe : $p<0.025$ Inter. blocs 1,2,3 $p<0.0002$

Tableau I.3.4. Synthèse des tests post-hocs de Newman-Keuls pour les ANOVAs Groupes x Blocs. Les résultats des tests de comparaison entre le groupe CBA et les groupes ABC et AB\_ABC sont exprimés par la plus forte probabilité associée au test, lorsque pour la variable étudiée, la valeur du groupe CBA est significativement supérieure à celle des deux autres groupes. Les résultats des interactions expriment pour chaque variable étudiée, les blocs dans lesquels les performances du groupe CBA sont supérieures aux deux autres.

La figure I.3.1 ci-dessous représente l'évolution au cours de l'apprentissage du nombre de réponses, de répétitions et d'erreurs qui décrivent un essai moyen. Cette figure synthétise les résultats présentés précédemment.

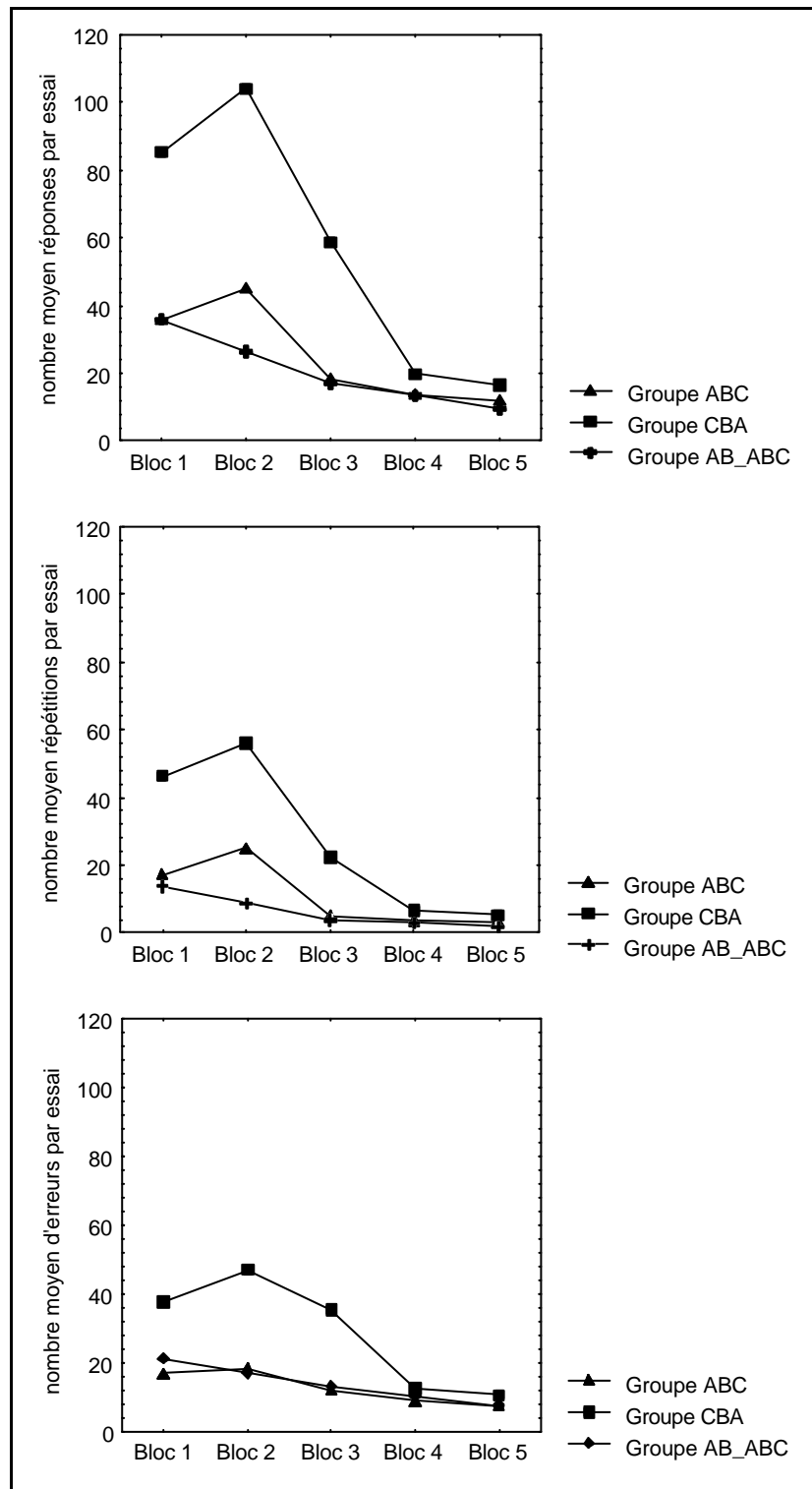


Figure I.3.1. Evolution au cours de l'apprentissage (Blocs 1 à 5) des nombres moyens par essai de coups de bec, de répétitions et d'erreurs pour les trois

groupes.

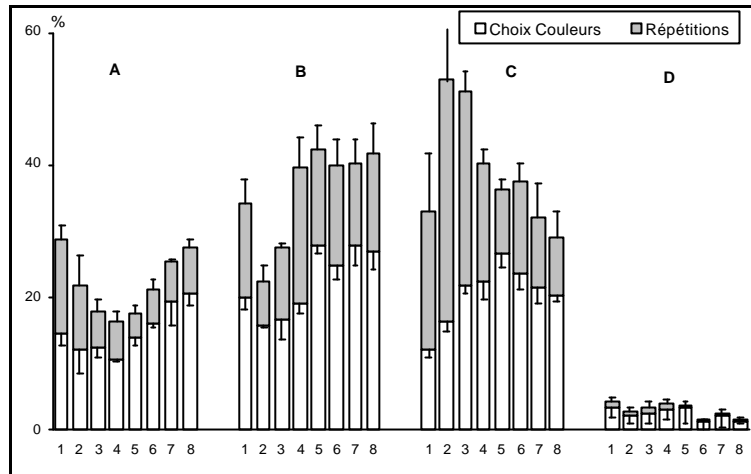
L'évolution de la production des réponses en termes de choix de couleurs et de répétitions de couleurs, a également été étudiée en découpant l'apprentissage en blocs de trois séances (figure I.3.2.). Tout comme pour l'analyse précédente, les deux premiers et les deux derniers blocs correspondent au début et à la fin de l'apprentissage. Le milieu de l'apprentissage a été détaillé en deux blocs pour le groupe AB\_ABC : blocs 3 et 4 (séances 10 à 12 et n-11 à n-9) auxquels se rajoutent deux autres blocs pour les groupes ABC et CBA : blocs 5 et 6 (séances 16 à 18 et n-17 à n-15). Pour chaque groupe, nous avons comparé les taux de production des différents items entre eux par bloc. La synthèse des résultats statistiques est présentée en Annexe I (p. 131).

Pour le groupe AB\_ABC, soumis au rappel de la série AB lors de chaque séance d'acquisition de la série ABC, on retrouve un fort taux de production des items pertinents A et B pendant la première moitié de l'apprentissage. Lors du premier bloc, le nouvel item C est produit aussi rarement que l'item D. Son taux de production devient significativement supérieur aux trois autres items lors du bloc 6 ( $p < 0.014$  pour chaque comparaison). Cette prédominance de l'item C est le fait des répétitions portant préférentiellement sur cet item ( $p < 0.007$  pour chaque comparaison). Lors des blocs 7 et 8 les trois items pertinents sont choisis et répétés à part égale dans ce groupe. Les résultats de l'ANOVAs et des tests post-hoc de Knewman-Keuls sont présentés en Annexe I (p.131).

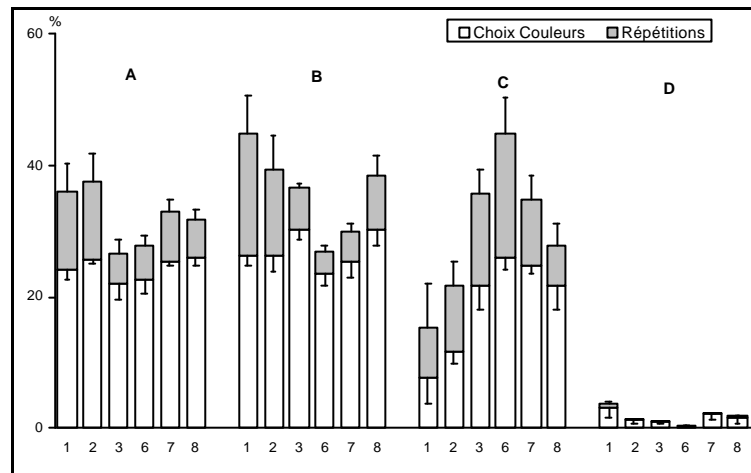
Dans le groupe ABC, l'item C est introduit plus précocement que dans le groupe avec rappel. Il est équiprobable aux deux autres items pertinents dès le premier bloc de séances et est produit significativement plus fréquemment que les trois autres couleurs lors des blocs 2 et 3 ( $p < 0.02$  pour chaque comparaison), et ce principalement sous forme de répétitions. Dans les blocs suivants, les items C et B codominent jusqu'aux deux derniers blocs lors desquels l'item B est préférentiellement produit. Les deux groupes proactifs se distinguent alors à la fin de l'apprentissage par une diminution relative des taux des items A et C dans le groupe sans rappel.

Le groupe CBA, quant à lui, se caractérise par un faible taux de production du nouvel item pertinent dont le taux de production reste tout au long de l'apprentissage significativement inférieur à ceux des items A et B. Plus précisément, lors des deux premiers blocs, les items C et D sont très peu produits. Lors des blocs 3 et 4, ces oiseaux choisissent et répètent les items en fonction de leur distance au renforçateur ( $A > B > C > D$ ). Par la suite, on assiste à une inversion de la préférence depuis l'item A vers l'item B ( $B > A > C > D$ ).

Groupe ABC



Groupe AB\_ABC



Groupe CBA

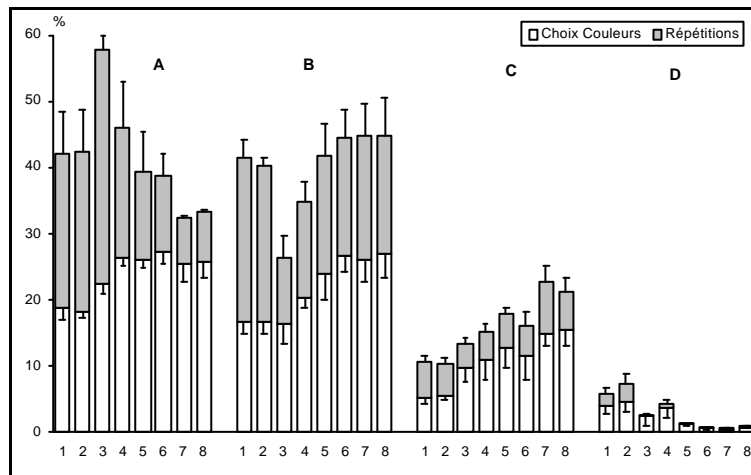
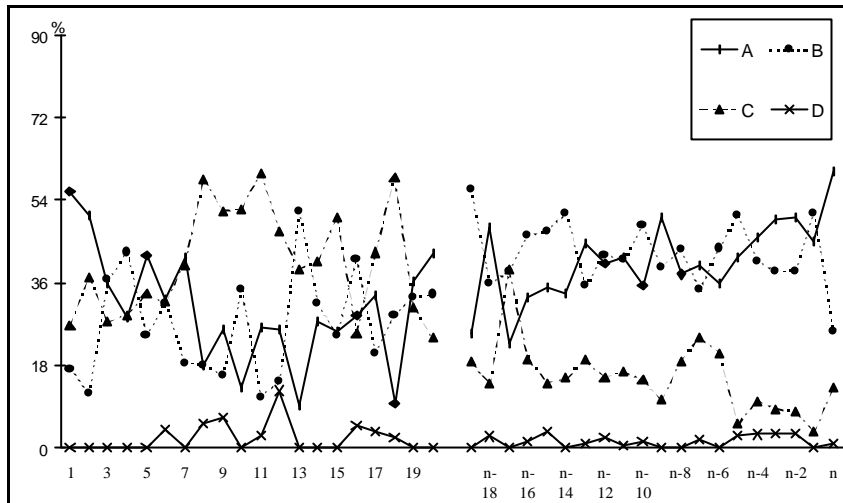


Figure I.3.2. Evolution de la production des choix et des répétitions des quatre items pour les trois groupes lors de l'apprentissage de la série de trois items.

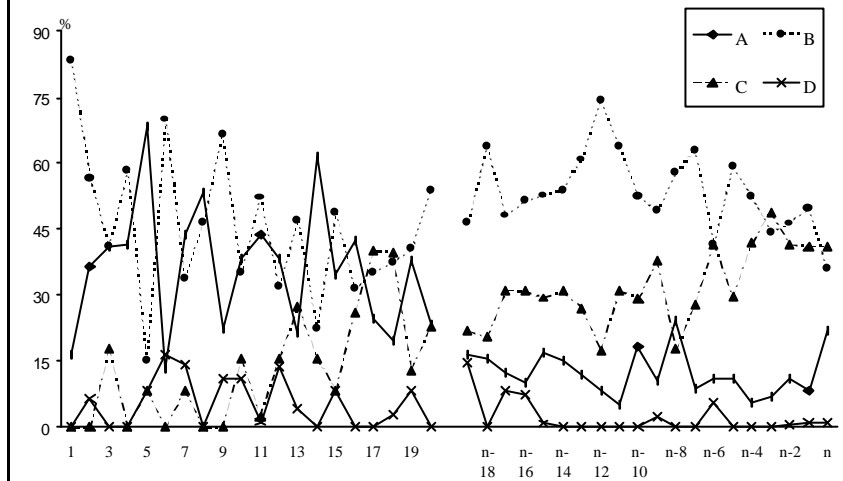
Pour les trois groupes on note une diminution significative du taux global des répétitions entre le premier et le dernier bloc (groupe ABC :  $T_8=10.14$ ,  $p<0.001$  ; groupe AB\_ABC :  $T_8=4.03$ ,  $p<0.004$  ; groupe CBA :  $T_8=4.125$ ,  $p<0.003$ ). Par ailleurs, la figure I.3.2 semble indiquer que les variations de production d'une couleur donnée ne se répercutent pas au hasard sur la production des autres items. Ceci nous a amené à calculer le coefficient de corrélation de Spearman entre l'évolution des items pertinents deux par deux. On obtient une corrélation négative entre les deux derniers items de la série dans les trois groupes (ABC :  $r=0.74$ ,  $p<0.036$ ; AB\_ABC :  $r=-0.94$ ,  $p<0.004$  ; CBA :  $r=-0.97$ ,  $p<0.001$ ). De plus, une corrélation négative s'observe entre le premier et le dernier item des séries AB\_ABC et CBA ( $r=-0.82$ ,  $p<0.041$ ;  $r=-0.78$ ,  $p<0.02$  respectivement). Finalement, pour le groupe CBA on observe une corrélation positive entre les deux premiers items ( $r=0.76$ ,  $p<0.028$ ). En résumé, le dernier item de la liste évolue inversement au premier et/ou au second item dans tous les groupes. De manière intéressante, dans le groupe CBA, le nouvel item évolue parallèlement au second item de la liste.

Afin de vérifier la présence d'un éventuel effet de récence, nous avons comparé les proportions d'essais débutant avec les différents items pour chaque bloc de séances (figure I.3.3.). Le seul effet de récence s'observe de manière transitoire pour le groupe ABC. En effet, ces animaux débutent au bloc 3 les essais préférentiellement par l'item C comparé aux autres items ( $p<0.027$  pour chaque comparaison). En dehors de cette exception, en début d'apprentissage les animaux des deux groupes proactifs débutent leurs essais indifféremment avec l'un ou l'autre des trois items pertinents, alors que le groupe CBA se caractérise par des essais débutant par les items appris précédemment (A=B). En fin d'apprentissage, on trouve dans le groupe ABC des essais débutant indifféremment avec les deux premiers items de la série et pour le groupe avec rappel, des essais débutant avec le premier item de la liste à apprendre. Parallèlement, les oiseaux du groupe CBA débutent les essais significativement plus souvent avec le second item de la liste à apprendre. On peut noter chez ces animaux que les essais débutant par le nouvel item C sont plus fréquents que ceux commençant avec une réponse sur l'item A à partir du sixième bloc ( $p<0.02$ ).

Groupe ABC



Groupe CBA



Groupe AB\_ABC

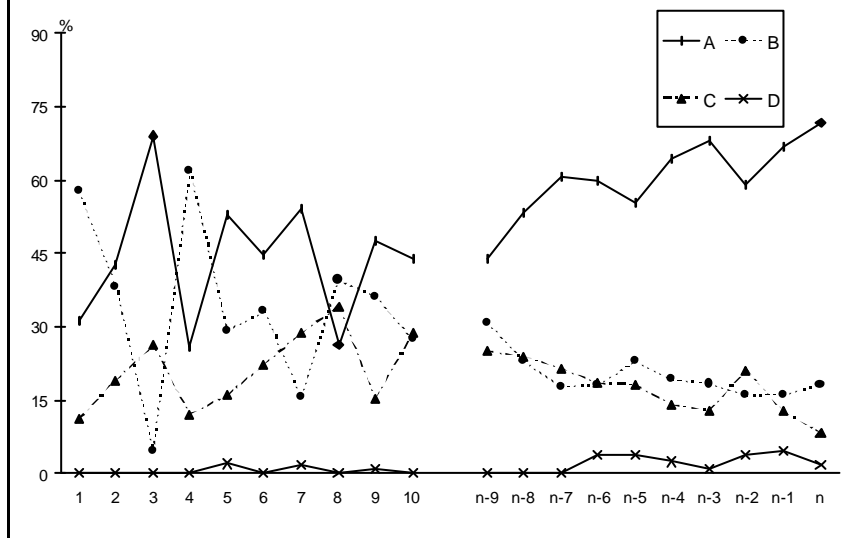


Figure I.3.3. Evolution du taux de production de la première réponse débutant chaque essai au cours de l'acquisition de la série de trois items pour les trois



groupes.

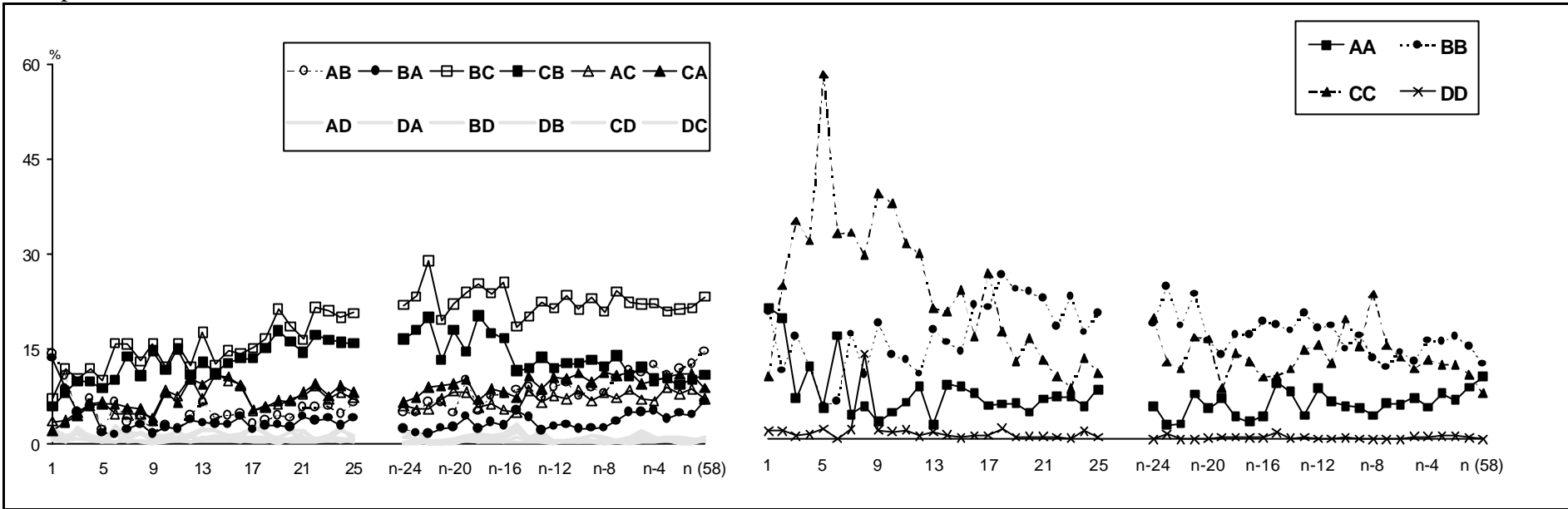
En résumé, les animaux des trois groupes auraient appris à ne pas commencer un essai par le dernier item de la liste (renforcé), mais seul le groupe proactif avec rappel débute les essais sans ambiguïté avec le premier item.

Passons maintenant au comportement instrumental en tant que tel, à savoir la production de séquences de réponses. Nous allons étudier au cours des séances consécutives l'évolution des fréquences des transitions (deux coups de becs successifs). La figure I.3.4. montre pour les trois groupes l'évolution des fréquences relatives des douze transitions entre deux items différents sur le graphe de gauche et des fréquences relatives des répétitions d'un même item sur le graphe de droite. L'analyse des matrices de transition de premier ordre, réalisée séparément pour chaque animal, pour chacun des huit blocs de trois séances (tableau I.3.5.) nous permet de décrire ces différents graphes. Pour chaque animal et pour chaque groupe, le Khi-deux de chaque matrice de transition indique que pour l'ensemble des animaux, les transitions sont dépendantes. C'est à dire que les animaux ne produisent pas deux réponses successives au hasard. Le modèle log-linéaire appliqué à cette matrice nous renseigne si une transition donnée est produite au hasard, significativement au-dessus ou au-dessous du hasard. Notons que la diminution globale du taux des répétitions révélée précédemment est confirmée par les tables des transitions qui montrent par ailleurs qu'elle concerne les items pertinents des trois groupes.

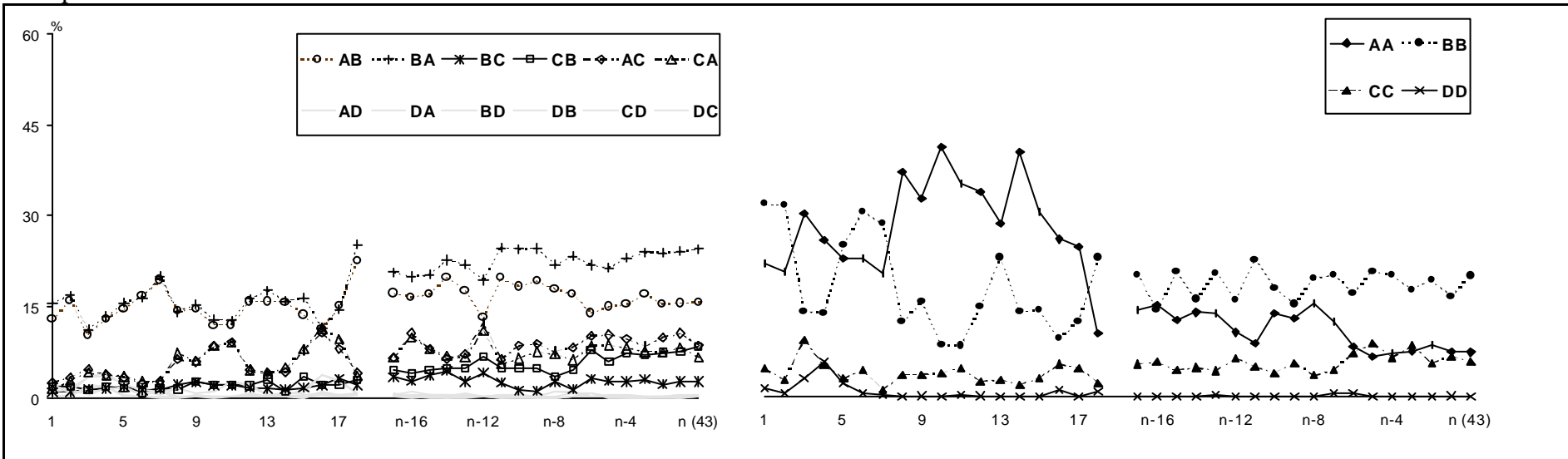
Les oiseaux du groupe ABC doivent produire dans l'ordre les transitions AB et BC pour être renforcés. Or, les transitions AB diminuent de 14.11% à 4.70% respectivement entre la première et la troisième séance. Il faut noter que cette transition était renforcée et produite à hauteur de 40% en fin d'apprentissage de la phase précédente. Le nouvel item C, qui est maintenant suivi du renforcement lorsqu'il est produit après une séquence AB, a été discriminé très rapidement puisque l'analyse des matrices des transitions révèle que les séquences des répétitions de l'item C sont produites bien au-dessus du hasard. Les oiseaux vont produire de plus en plus de transitions BC et CB. La transition BC est produite au-dessus du hasard à partir du milieu de l'apprentissage et ce jusqu'à la fin. Les transitions inverses BA et CB quant à elles, sont produites au hasard ou significativement au-dessous du hasard tout au long de l'apprentissage à l'exception du pigeon lors des blocs 5 et 7. Le graphe montre en effet en fin d'apprentissage une production différentielle de AB (12.8% ordre correct) par rapport à BA (4.6%), et de BC (22.6%) par rapport à CB (10.3%). Le taux des transitions formées des items A et C reste stable à partir du bloc 2 (8%). On remarque

que la transition CA et non pas AC est produite bien au-dessus du hasard dès le milieu de l'apprentissage.

Groupe ABC



Groupe CBA



Groupe AB\_ABC

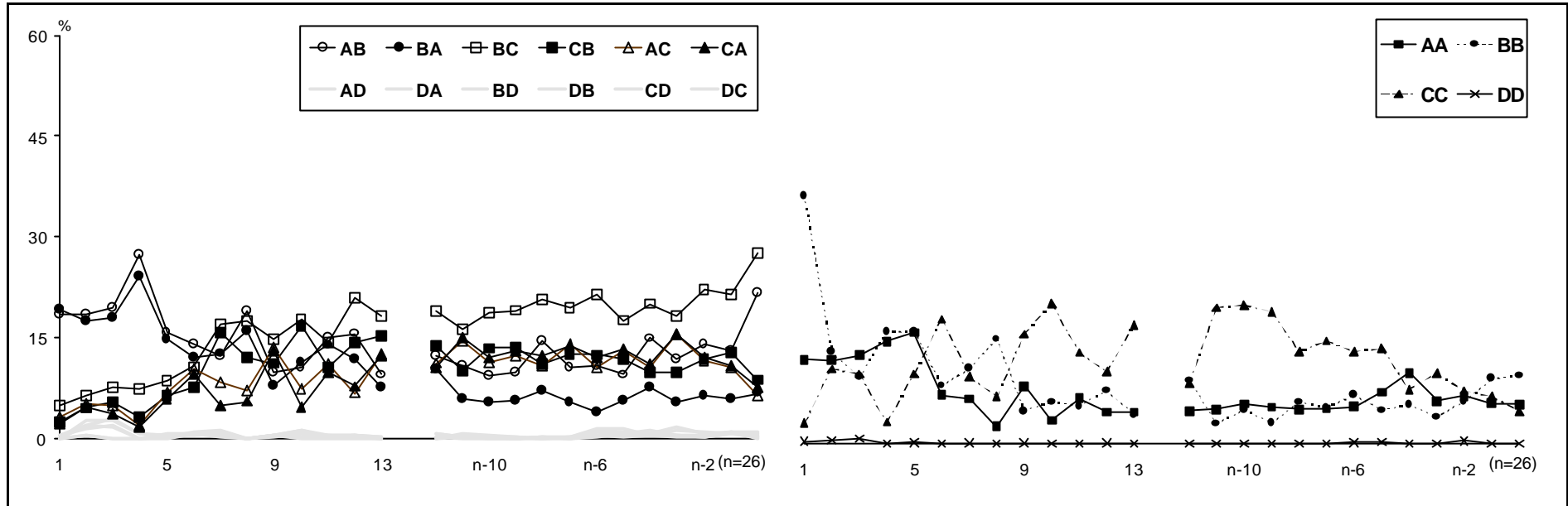


Figure I.3.4. Evolution des fréquences des transitions (graphe de gauche) et des fréquences des répétitions (graphe de droite) entre les 25, 18 et 13 premières séances et les 25, 18 et 13 dernières séances respectivement pour les groupes ABC, CBA et AB\_ABC.

Après le rappel de la séquence AB en début de chaque séance d'acquisition de la série ABC, le taux de production de la transition AB ne diminue pas comme pour le groupe ABC. A l'exception d'un sujet lors du bloc 1, ces oiseaux produisent cette transition bien au-dessus du hasard tout au long de l'apprentissage. Les transitions BC et CB apparaissent plus tardivement, la transition BC est produite au-dessus du hasard dès la douzième séance et ce jusqu'à la fin. En fin d'apprentissage, on retrouve la production différentielle pour la transition AB (21.7%) par rapport à BA (6.7%) et pour BC (27.5%) par rapport à CB (8.6%). Le taux de production des transitions AC et CA reste relativement stable avec une production intermédiaire aux transitions entre les autres items pertinents. Comme dans le premier groupe, les oiseaux vont faire significativement la transition CA.

Le groupe CBA devant produire les transitions CB et BA est particulier en ce sens que contrairement à nos attentes, les transitions AB et BA sont effectuées au hasard ou au-dessous du hasard lors des premières séances, et la séquence correct BA n'est produite au-dessus du hasard qu'en fin d'apprentissage. Ce résultat s'explique par le fait qu'en début d'apprentissage, parmi toutes les transitions débutant par les items A ou B, le taux relatif des transitions AB et BA est bien inférieur à celui des répétitions sur A et sur B. Pour les mêmes raisons, on ne retrouve pas de production différentielle des transitions dans l'ordre correct (CB, BA) par rapport à l'ordre inverse (BC et AB). Cependant, si l'on calcule les taux de transitions en ignorant les répétitions, on retrouve une production différentielle significative. Enfin, les transitions impliquant les items A et C ont un niveau de production intermédiaire aux deux autres groupes d'items (A et B ; B et C).

Groupes ABC et AB\_ABC:

Sujets	Séquences AB/BA															
	Bloc1		Bloc2		Bloc3		Bloc4		Bloc5		Bloc6		Bloc7		Bloc8	
ABC_1	0	0	+	0	--	--	---	---	0	--	0	---	++	--	+	--
ABC_2	0	0	0	--	--	--	---	---	0	---	0	---	0	---	++	---
ABC_3	0	--	0	--	0	0	0	--	0	--	0	---	++	---	+++	---
ABABC_1	0	0	++	0	+++	++					+++	--	0	---	++	---
ABABC_2	++	0	++	++	0	++					0	--	+++	0	+++	0
ABABC_3	++	++	+++	+++	+++	+++					++	0	++	0	+	-

		Séquences BC/CB															
Sujets	Bloc1		Bloc2		Bloc3		Bloc4		Bloc5		Bloc6		Bloc7		Bloc8		
ABC_1	--	--	0	0	--	--	--	--	++	0	++	0	++	0	+	--	
ABC_2	-	---	0	--	--	0	--	0	++	+	++	---	++	0	++	--	
ABC_3	0	0	0	0	0	0	0	0	+++	++	+++	0	+++	++	+++	0	
ABABC_1	0	0	0	--	0	0					+++	0	+++	0	+++	0	
ABABC_2	0	0	0	0	++	++					+++	++	+++	0	+++	++	
ABABC_3	--	--	0	--	++	++					++	0	+++	0	+++	++	

		Séquences AC/CA															
Sujets	Bloc1		Bloc2		Bloc3		Bloc4		Bloc5		Bloc6		Bloc7		Bloc8		
ABC_1	---	---	--	--	0	0	0	0	0	+++	--	+++	---	++	--	+++	
ABC_2	--	---	--	--	0	0	0	0	--	++	--	+++	--	++	---	++	
ABC_3	--	--	--	--	0	0	0	0	0	+++	0	+++	0	+++	--	+++	
ABABC_1	0	0	++	0	+++	0					+++	+++	0	+++	++	+++	
ABABC_2	0	0	0	0	++	0					0	++	0	+++	0	+++	
ABABC_3	--	--	--	0	--	--					0	0	0	++	0	+++	

		Séquences AA/BB															
Sujets	Bloc1		Bloc2		Bloc3		Bloc4		Bloc5		Bloc6		Bloc7		Bloc8		
ABC_1	+++	++	+++	0	+++	+++	+++	+++	++	0	+++	0	0	0	0	0	
ABC_2	+++	++	+++	+++	++	+++	+++	+++	+++	--	+++	++	+++	0	++	0	
ABC_3	++	0	+++	0	++	0	++	0	0	--	0	--	--	---	0	---	
ABABC_1	0	0	0	0	0	---					--	---	0	--	0	--	
ABABC_2	--	0	--	--	--	--					--	---	--	---	--	---	
ABABC_3	0	0	0	--	0	---					--	---	--	---	--	---	

		Séquence CC									
Sujets	Bloc1	Bloc2	Bloc3	Bloc4	Bloc5	Bloc6	Bloc7	Bloc8			
ABC_1	+++	0	++	++	---	--	0	0			
ABC_2	+++	++	+	0	---	0	0	0			
ABC_3	+++	++	0	--	---	---	---	---			
ABABC_1	+++	++	0			--	---	---			
ABABC_2	0	++	---			---	---	---			
ABABC_3	+++	+++	0			0	--	---			

Groupe CBA

		Séquences AB/BA															
Sujets	Bloc1		Bloc2		Bloc3		Bloc4		Bloc5		Bloc6		Bloc7		Bloc8		
CBA_1	--	--	---	---	--	--	0	0	0	0	++	+++	0	++	0	++	
CBA_2	--	--	0	0	0	0	0	0	0	0	+++	+++	+++	+++	+++	+++	
CBA_3	0	0	0	0	0	0	++	0	++	+++	++	+++	++	++	0	+++	

		Séquences BC/CB													
Sujets	Bloc1	Bloc2		Bloc3		Bloc4		Bloc5		Bloc6		Bloc7		Bloc8	
CBA_1	--	---	---	---	--	--	---	--	---	---	---	---	---	---	---
CBA_2	--	--	--	--	--	--	--	--	--	---	---	---	0	---	++
CBA_3	---	---	---	---	---	---	---	--	0	---	0	---	0	---	0

		Séquences AC/CA														
Sujets	Bloc1	Bloc2		Bloc3		Bloc4		Bloc5		Bloc6		Bloc7		Bloc8		
CBA_1	0	--	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	++	0	++	0
CBA_2	--	--	0	0	0	0	0	0	++	++	+++	0	+++	0	+++	0
CBA_3	0	--	--	--	0	0	+++	+++	+++	0	+++	0	+++	0	+++	0

		Séquences AA/BB														
Sujets	Bloc1	Bloc2		Bloc3		Bloc4		Bloc5		Bloc6		Bloc7		Bloc8		
CBA_1	+++	++	+++	+++	0	+++	--	+++	--	++	--	++	--	+++	--	+++
CBA_2	+++	++	0	++	0	++	--	++	---	++	---	0	---	--	---	--
CBA_3	0	++	++	++	0	++	---	++	---	--	---	--	---	0	---	0

		Séquence CC							
Sujets	Bloc1	Bloc2	Bloc3	Bloc4	Bloc5	Bloc6	Bloc7	Bloc8	
CBA_1	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	
CBA_2	+++	+++	+++	++	+++	+++	++	--	
CBA_3	+++	+++	+++	0	0	0	0	0	

Tableau I.3.5. Résultats du modèle Log-linéaire à partir des matrices des transitions de premier ordre pour des blocs de 3 séances. Chaque cellule donne l'interprétation du ratio (Fréquence observée-Fréquence théorique)/Fréquence théorique. Ce ratio nous indique si la transition étudiée est produite au hasard (0), au-dessous du hasard (-) ou au-dessus du hasard (+). Un + ou un - indique que le ratio est supérieur à +/- 1.96 ; ++ ou -- lorsque le ratio est supérieur à +/- 2.50; +++ ou --- pour un ratio +/- 3.66

L'analyse de Markov a été poursuivie pour des ordres 2 et 3 afin de déterminer avec précision l'ordre de dépendance d'une réponse. Les résultats figurent dans le tableau I.3.6. Ce tableau indique par exemple pour le pigeon P1 du groupe ABC pour le bloc des séances 1 à 3, les valeurs 1 et 0.99. Ces valeurs indiquent respectivement l'ordre de dépendance entre les réponses consécutives et la probabilité d'ajustement du modèle. Ainsi, dans cet exemple, l'animal P1 produit une réponse en fonction de la précédente (ordre 1). L'analyse montre que lorsque les animaux des différents groupes débutent l'acquisition d'une série de trois items, ils produisent leurs réponses en fonction de la seule réponse précédente. Ceci est en accord avec le fait que les animaux ont précédemment appris une séquence de deux items. Par la suite, l'ordre de dépendance augmente. Cette augmentation est due au fait que les animaux ont inséré le nouvel élément dans la série et qu'ils

produisent alors une réponse en fonction des deux précédentes (tableau I.3.6).

Groupe ABC

Pigeon	1-3	5-10	15-25	35-40	44-47
P1	1-0.99	1-0.36	2-0.99	2-0.82	2-0.37
P2	1-0.81	1-0.98	2-0.49	2-0.47	2-0.80
P3	1-0.99	1-0.89	2-0.32	2-0.17	2-0.86

Groupe AB\_ABC

Pigeon	1-3	5-10	10-20	20-30
Pa1	1-0.79	1-0.53	2-0.86	2-0.70
Pa2	1-0.94	2-0.84	2-0.62	2-0.96
P14	1-0.74	2-0.92	1-0.17	2-0.47

Groupe CBA

Pigeon	1-3	5-10	15-25	35-40	44-47
J2	1- 0.99	1-0.87	2-0.55	2-0.74	2-0.99
J4	1-0.99	1-0.98	2-0.54	1-0.98	2-0.80
J6	1-0.99	1-0.97	1-0.79	2-0.54	2-0.84

Tableau I.3.6. Résultats de l'analyse de Markov : ordre de dépendance des réponses produites et probabilité d'ajustement du modèle pour chaque individu dans chaque groupe.

Comme dans l'expérience précédente, nous avons finalement réalisé une analyse factorielle des correspondances (figure I.3.5.) afin d'appréhender, au cours de l'apprentissage, la production des séquences de réponses au delà d'une transition entre deux réponses.

Le tableau de fréquences constitué ici comporte les 43 variables actives (séquences représentatives) plus une variable illustrative [croisement des phases Début (P1), Milieu (P2) et Fin (P3) et des groupes G1 (ABC), G2 (AB\_ABC) et G3 (CBA)] en colonnes et 386 individus actifs en lignes (toutes séances pour chaque individu de chaque groupe). Une caractérisation de la variable nominale illustrative (Phase) par les variables actives permet de mettre en évidence les séquences de réponses caractéristiques des différentes phases de l'apprentissage.



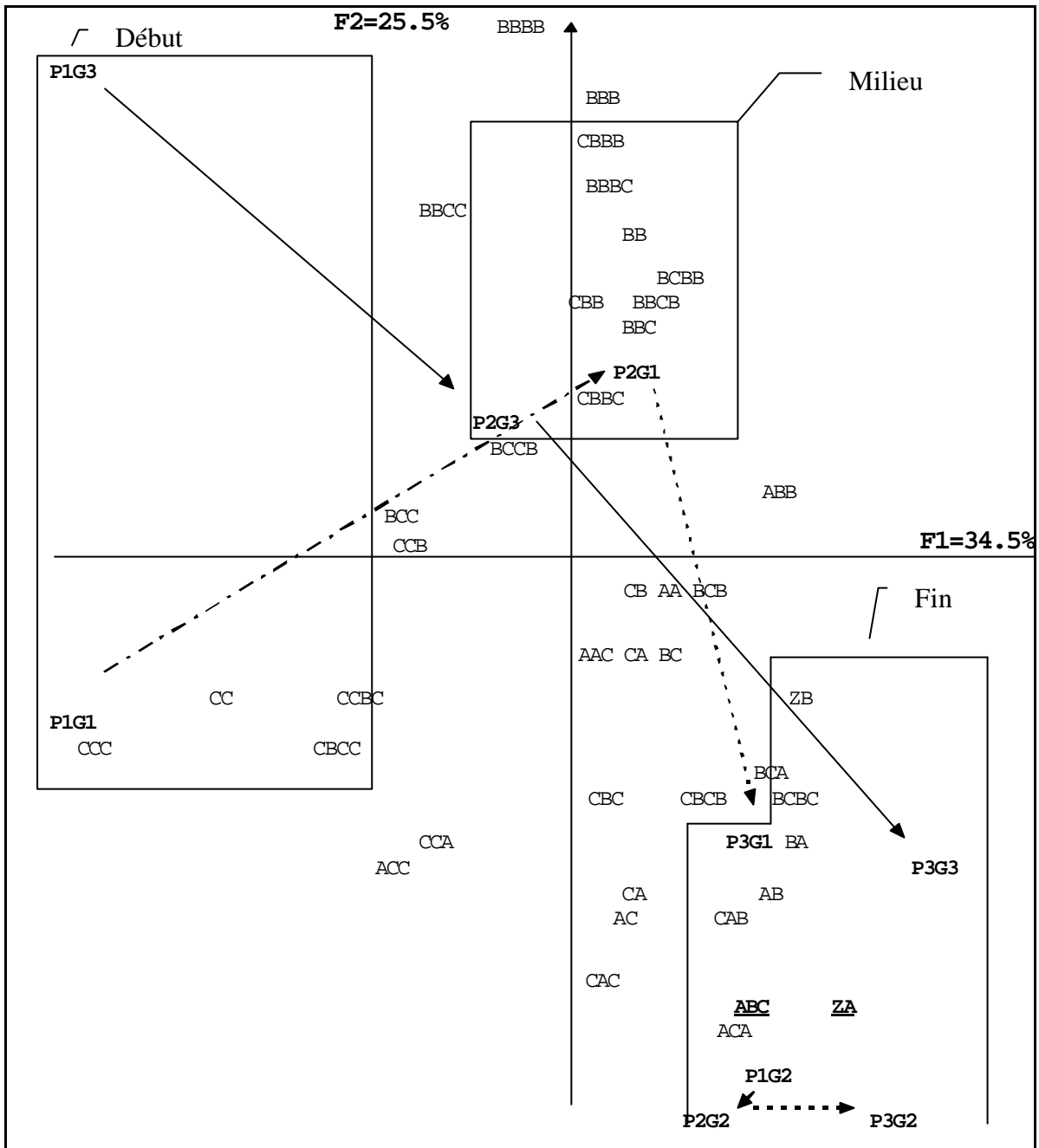


Figure I.3.5. Plan factoriel F1 x F2 représentant les séquences caractéristiques produites par les sujets des groupes ABC, AB\_ABC et CBA au cours de l'apprentissage sériel. Ce plan explique 60% de l'inertie du nuage.

Les groupes ABC et CBA présentent des profils de production au cours de l'apprentissage qui se ressemblent. Au début de l'apprentissage, ces deux groupes sont représentés sur la gauche du graphe et les réponses caractéristiques pour le groupe ABC correspondent à l'introduction du nouvel item C sous la forme de séquences répétées (CC, CCC, CCBC ;  $p < 0.001$ ). En effet, les résultats des analyses précédentes révélaient une production très faible du nouvel item C en début d'apprentissage pour le groupe CBA. L'analyse factorielle confirme ce résultat puisque le point

P1G3 correspondant aux premières séances du groupe CBA est éloigné des séquences comportant le nouvel item. En phase intermédiaire, les réponses des deux groupes sont proches et formées principalement du second item, B, et du nouvel item (BBBC, BBCB, CBB ;  $p < 0.001$ ). La fin de l'apprentissage se caractérise pour les deux groupes par la production de la séquence correcte ainsi que de la séquence ZA qui représente des essais débutant par le premier item de la série à produire (ABC, ZA, ACA, AB ;  $p < 0.001$ ). L'Axe F1 représente donc le parcours temporel de l'apprentissage avec le début de l'apprentissage à gauche et la fin à droite.

Le groupe AB\_ABC est particulier puisque quelque soit la phase de l'apprentissage, ses réponses caractéristiques sont en fait la réponse correcte et ses sous-séquences. Le rappel de la séquence AB semble entraîner une production faible, et donc non représentée, de séquences de répétitions de l'item C et de séquences composées des items B et C. En revanche, ces oiseaux produisent de nombreuses séquences formées des trois items dans l'ordre correct ou dans le désordre.

### c) Discussion

Straub et Terrace (1981) ont suggéré que l'acquisition d'une série de trois items parmi quatre présentés simultanément devrait être extrêmement difficile, la probabilité de produire une réponse correcte étant inférieure à 1%. Dans notre expérience, la probabilité de produire la série dans l'ordre correct est de 2.7% ( $1/4 \times 1/3 \times 1/3$ ) et la probabilité de produire le critère est inférieure à 1 pour cent millions. Malgré la difficulté de la tâche, les oiseaux des trois groupes atteignent le critère d'acquisition de la série de trois items entre six cent cinquante et mille cent quarante essais. Selon le mode d'acquisition proactif, avec et sans rappel de la série précédemment apprise, ou rétroactif, des différences dans le comportement instrumental ont été mises en évidence.

Notre premier objectif était de comparer les modes d'acquisition proactif et rétroactif sans rappel lors de l'apprentissage d'une série de trois items. Rappelons que l'acquisition de la série de deux items dans l'ordre rétroactif n'avait pas entraîné d'amélioration des performances. Nous avons proposé alors que l'introduction d'un nouvel item était retardée par l'apprentissage trop "intense" de la tâche précédente, à savoir A-renforcement. L'analyse de l'apprentissage de la série de trois items révèle que les paramètres comportementaux tels que le nombre moyen par essai de réponses, d'erreurs et de répétitions des animaux du groupe rétroactif CBA dépassent significativement ceux des groupes proactifs. Bien que ces oiseaux nécessitent moins de séances et d'essais au critère que

le groupe ABC, ils ont globalement des performances inférieures. L'analyse des choix et des répétitions révèle que les animaux du groupe CBA choisissent et répètent préférentiellement tout au long de l'apprentissage les items A et B appris précédemment. Le nouvel item C est produit dès le premier bloc, mais à un faible taux (10.7%) qui augmente seulement à 21% de toutes les transitions en fin d'apprentissage. Cette augmentation résulte principalement d'un taux croissant de répétitions. D'ailleurs, la production différentielle des transitions dans l'ordre correct (CB, BA) par rapport à l'ordre inverse (BC, AB) devient significative seulement lorsque l'on exclut les répétitions. Le nombre important d'essais débutant par l'item B est un autre indice des difficultés de ces animaux à isoler l'item C. Pris ensemble, ces résultats indiquent que le mode d'entraînement rétroactif n'améliore pas plus l'acquisition d'une série longue que celle d'une série courte. Le même item A étant renforcé dans toutes les étapes de l'apprentissage, les animaux semblent se heurter à des difficultés de discrimination et de placement du nouvel item.

En revanche, lorsque le nouvel item est placé à la fin de la liste, et qu'il devient renforcé, les animaux des groupes proactifs l'introduisent et le placent rapidement. Les animaux du groupe proactif sans rappel discriminent très rapidement l'item C et le produisent dans les séquences BC ou CB. Ils produisent d'ailleurs les séquences BC significativement au-dessus du hasard dans la seconde moitié de l'apprentissage. Par ailleurs ils présentent un "oubli" relatif de la séquence AB précédemment apprise. Bien que cette séquence reste hautement corrélée à la séquence correcte de trois items, elle empêche l'atteinte rapide du critère (Castéras, 1996).

Ceci est confirmé par le fait que le rappel de la série AB avant chaque séance d'acquisition de la série ABC est la méthode qui a abouti aux performances les plus efficaces, indépendamment du paramètre comportemental considéré. Plus particulièrement, ces animaux produisent la transition correcte AB significativement au-dessus du hasard dès le départ. L'item C est alors introduit plus tardivement et la nouvelle transition correcte BC apparaît en conséquence également plus tardivement dans le groupe AB\_ABC. De plus, ces animaux débutent leurs essais préférentiellement avec l'item A à partir de la deuxième partie de l'apprentissage. Ce comportement instrumental augmente la probabilité de réaliser un essai correct, réduit ainsi potentiellement le nombre d'erreurs et donc augmente la probabilité d'atteindre le critère plus rapidement.

Ces résultats sont confirmés par l'analyse des chaînes de Markov révélant que les animaux des trois groupes produisent en début d'apprentissage une réponse en se basant sur la précédente et en fin d'apprentissage une réponse basée sur les deux précédentes.

L'ensemble de ces comparaisons va nous permettre de répondre à notre second objectif. Tout comme lors de l'apprentissage de la série AB, les trois groupes discriminent plus ou moins rapidement le nouvel item C. Le placement de cet item dans la série semble cependant reposer sur un autre processus que celui d'une discrimination entre la série correcte et les séries inverses, postulée pour la série de deux items. En effet pour le groupe CBA, pour lequel la séquence précédemment apprise BA est toujours suivie du renforcement, et le groupe AB\_ABC, pour lequel la séquence AB est rappelée et donc renforcée en début de séance, on pourrait proposer que les oiseaux forment une unité de la série précédemment apprise. Ils rajouteraient à celle-ci le nouvel item avec plus ou moins d'efficacité. Cette hypothèse est d'ailleurs également plausible pour le groupe ABC, étant donné la corrélation qui existe entre la production de la séquence AB et celle de la série de trois items à apprendre. Cette hypothèse concorde avec la proposition de Shimp (1976) qui suggère que le renforcement répété d'une séquence de réponses pendant quelques secondes renforce la séquence dans son entier et la fixe en tant qu'unité fonctionnelle. De même, Terrace (1987, 1991) a démontré que des pigeons confrontés à deux types de stimuli (figures géométriques et plages de couleurs) ont de meilleures performances lorsqu'ils ont la possibilité d'apprendre une liste en regroupant des items par type (ABCD'E', avec A, B et C des couleurs et D' et E' des figures géométriques) qu'en alternance (AB'CD'E). L'auteur propose que dans le premier cas les animaux auraient formé deux unités fonctionnelles, réduisant ainsi la charge mnésique.

La plus ou moins grande difficulté à insérer le nouvel item semble résulter de sa distance relative au renforçateur. Dans les groupes proactifs le nouvel item va être directement renforcé alors qu'il est temporellement éloigné du renforcement dans le groupe rétroactif. Pour le groupe proactif avec rappel, l'item B est également renforcé en début de chaque séance d'apprentissage, ce qui explique leurs performances nettement supérieures. Dans le groupe proactif sans rappel, les animaux vont désapprendre la série AB précédemment renforcée et produire préférentiellement le nouvel item C, avec lequel ils débutent d'ailleurs significativement plus d'essais lors des séances 10 à 12. Très rapidement ils vont produire les séquences BC et CB en les différenciant. Le faible taux de production de la séquence AB explique alors l'atteinte tardive du critère. Dans les trois groupes, le taux de production des items est alors lié à la distance relative de chacun au renforcement. Cette hypothèse est en accord avec l'hypothèse de l'extension rétrograde du renforcement selon laquelle l'exactitude des réponses diminue avec l'éloignement entre l'item à produire et le renforcement (Bever, 1984).

### 3-Discussion

L'analyse des résultats des expériences d'acquisition de séries avec et sans rappel nous permet de proposer des règles générales de ces apprentissages. Un taux de production différentiel pour les différents items en fonction de leur distance au renforcement a été démontré. Tous les animaux lors de l'acquisition de la série de deux items et les animaux du groupe ABC lors de l'acquisition de la série de trois items présentent un effet de récence plus ou moins marqué sur l'item directement renforcé. Le taux des répétitions sur chaque item, bien que diminuant au cours des apprentissages, est fonction en partie de la distance de l'item répété au renforçateur. Ces résultats confirment l'importance du renforcement dans l'agencement des items de la série à produire et l'acquisition, par les différents stimuli, d'une valeur en fonction des contingences de renforcement. Le taux de production de chaque item est indicatif de ces différentes valeurs (Castéras et al., 1997). Nous avons donc proposé que l'importance du rôle du renforçateur peut s'expliquer en partie par les théories d'attribution et de transfert de valeur (Fersen et al., 1991). En effet, ces théories proposent que l'item directement renforcé acquiert une "valeur de renforcement". Les items non renforcés acquièrent une valeur indirecte dûe à la présentation simultanée avec l'item directement renforcé auquel ils deviennent associés en fonction des contingences de renforcement. Cette valeur indirecte résulte du transfert d'une partie de l'augmentation de la valeur sur l'item directement renforcé. Des facteurs additionnels au transfert de valeur seul ont été mis en évidence : la fréquence de renforcement de chaque stimulus et son histoire de renforcement (Couvillon et al., 1992 ; Siemann, Delius et Wright, 1996a ; Delius et Siemann, 1998).

Si l'on applique le transfert de valeur à l'apprentissage sériel, nous posons l'hypothèse que lors de l'acquisition d'une liste de deux items, le second item acquiert une valeur directe conformément au fort taux de production de cet item. Le premier item acquiert alors une valeur indirecte dûe aux contingences de renforcement. Dans le cas de l'apprentissage proactif, le taux de production du premier item est élevé et stable durant l'apprentissage. Cet item ayant été directement renforcé lors de la phase précédente, nous amène à proposer que l'histoire de renforcement de cet item va favoriser son association avec le nouvel item introduit, B, lors de l'acquisition de la série AB. Dans le cas du mode rétroactif, le même item a été directement renforcé lors de chaque phase d'acquisition. Le nouvel item introduit n'a alors jamais été renforcé. Ceci explique le faible taux de

production de l'item B au même titre que les items non pertinents en début d'apprentissage. Ce taux va augmenter progressivement jusqu'à devenir significativement supérieur à celui des items non pertinents au cours de l'apprentissage. En l'absence d'histoire de renforcement et de renforcement direct, un item ne pourra acquérir une valeur que très progressivement.

Les animaux des trois groupes d'apprentissage d'une série de trois items semblent avoir formé une unité de la série précédemment apprise. Le transfert de valeur ne s'applique plus alors à chaque item séparément mais plutôt à cette unité et au nouvel item pertinent. Dans le cas du groupe ABC, la valeur de l'unité AB décroît fortement en début d'apprentissage. Le rappel de cette séquence AB dans le groupe AB\_ABC entraîne une augmentation de cette valeur, accroît sa mémorisation et accélère l'ajout du nouvel item C qui possède une très forte valeur intrinsèque, car il est directement renforcé. Au contraire, dans le groupe CBA, l'unité BA continue à être directement renforcé de sorte qu'avec le rappel de la série BA avant chaque séance d'acquisition de la série CBA, la valeur de cette unité atteint une valeur asymptotique et la probabilité de produire l'item C devient alors très faible. En absence de renforcement, on assiste à un arrêt des réponses comportementales. Dans le cas du groupe CBA sans rappel, la discrimination du nouvel item pertinent se fera alors de manière très progressive comme lors de l'acquisition de la série de deux items. En effet, cet item C, éloigné du renforcement, acquiert progressivement une valeur indirecte qui restera relativement basse, et, par la même, retardera l'atteinte du critère. Ces hypothèses relatives à la valeur des items et à la théorie du transfert de valeur ont été testées grâce à l'utilisation de modèles mathématiques.

## **4- Modélisation de l'apprentissage sériel**

### 1. Introduction:

Nos résultats d'acquisition de séries de deux et trois items ont montré que le taux de production des items est fonction de leur distance au renforcement. De plus, un effet de récence de l'item directement renforcé a été démontré. Ces résultats nous ont amené à proposer, en accord avec D'Amato (1991), que les oiseaux apprennent quelque chose sur l'ordre des items de la série dans le sens d'une discrimination de la distance temporelle qui sépare chaque item du renforcement (Castéras et al., 1997). Nous avons suggéré qu'au cours de l'apprentissage, chaque item acquiert une valeur en fonction de sa distance au renforçateur. Or, les théories d'attribution de valeur ont permis d'expliquer les performances des sujets dans des épreuves de conditionnement par l'attribution d'une valeur à chaque stimulus au cours de l'apprentissage (Fersen et al., 1991 ; Couvillon et al., 1992 ; Siemann et al., 1996a).

Nous allons décrire, dans une première partie, ces expériences d'inférence transitive, et les hypothèses d'attribution de valeur proposées pour expliquer les performances des sujets dans ces épreuves. Dans une deuxième partie, nous aborderons les modèles mathématiques qui ont permis de confirmer ou d'infirmer certaines de ces hypothèses et procéderons à leur adaptation à l'apprentissage sériel.

#### a) Attribution de valeur dans l'inférence transitive

Dans notre environnement quotidien ou dans le milieu naturel de l'animal, les objets présents varient par leur taille, forme, texture, couleur... La comparaison de ces objets en tenant compte de toutes leurs qualités est lourde. Alors, il peut être utile d'intégrer les qualités individuelles des objets en une mesure plus générale, notamment leur valeur. La valeur des objets détermine finalement nos objets préférés, thème central de la théorie de la prise de décision appliquée dans des domaines très divers tels que la psychologie, les mathématiques, l'économie... Ainsi, la majorité des explications proposées pour des expériences de conditionnement classique ou opérant reposent sur l'attribution de valeurs aux stimuli présents.

Dans les expériences d'inférence transitive, on présente au sujet une série de discriminations binaires. Les prémisses sont organisées en paires dont un terme est commun. Chaque paire est constituée d'un membre renforcé (+) et d'un qui ne l'est pas (-) (A+B- ; B+C- ; C+D- ; D+E-). Le

sujet doit alors, pour chaque paire présentée aléatoirement, apprendre à discriminer le stimulus renforcé du non renforcé. Après cet apprentissage, il est soumis à une phase test lors de laquelle la présentation de la paire BD non renforcée, permet d'étudier la transitivité des choix entre items non adjacents et renforcés un nombre équivalent de fois. Les résultats révèlent que les sujets apprennent bien les discriminations binaires et choisissent lors de la phase test préférentiellement l'item B à l'item D. De plus, ils montrent d'une part, un effet de position sérielle des prémisses : l'évolution du taux des erreurs suit une courbe en U inversé lorsque l'on progresse à travers la série de paires. Le taux des erreurs est plus faible pour les paires extrêmes AB et DE que pour les paires intermédiaires. L'explication avancée est une absence d'ambiguïté des paires extrêmes puisque l'item A est toujours renforcé et l'item E ne l'est jamais. Pour les paires intermédiaires, du fait que les items sont autant renforcés que non renforcés, la discrimination est plus difficile. D'autre part, un effet de distance entre les items a été démontré par la diminution du nombre d'erreurs et du temps de latence lorsque la distance entre les items s'accroît, par exemple dans les paires test entre BC, BD et BE.

Des explications très diverses ont été proposées pour rendre compte des performances dans ces épreuves d'inférence transitive. De manière traditionnelle, ces épreuves étaient présentées verbalement (Paul est plus grand que Marie, Marie est plus petite que Jean, qui est le plus grand, Paul ou Jean?). Les tentatives explicatives sont alors directement liées au langage. Les prémisses individuelles sont coordonnées de manière logique pour trouver la solution aux paires critiques (Piaget, 1965). Une limite à cette explication est que la qualité du raisonnement ne devrait pas être influencée par le contenu des prémisses, ce qui est cependant le cas (Siemann et Delius, 1994). Depuis la mise en évidence de raisonnements transitifs chez des enfants en bas âge et chez des animaux, des explications non logiques ont été proposées. Les modèles spatiaux supposent le développement d'un dispositif paralogique spatial qui condense en une seule représentation imagée (ou d'attributs verbaux associés aux items) toutes les informations nécessaires à la transitivité (Trabasso et Riley, 1975). L'hypothèse d'un stockage hiérarchique et linéaire des items ou des paires présente l'avantage d'être plus économique qu'une mémorisation individuelle des paires notamment, et elle permet la comparaison directe de tous les items. D'autre part, elle est en accord avec des résultats expérimentaux qui montrent que si des sujets sont entraînés avec 10 paires construites à partir de cinq items, leurs performances seront meilleures si les conditions de renforcement suivent une hiérarchie linéaire (A+B-, A+C-...B+C-...C+E-, D+E-) que si les conditions de renforcement vont à l'inverse de cette hiérarchie, pour trois de ces paires. Dans le



second cas, les sujets humains ont des temps de réaction nettement plus élevés, et les pigeons sont incapables d'apprendre la tâche (Siemann et al., 1994).

Les modèles de conditionnement qui ont été proposés, sont basés sur le principe qu'une présentation non-verbale des prémisses correspond, pour l'essentiel, à un conditionnement opérant. Au cours de l'apprentissage, les différents stimuli acquièrent des valeurs associatives différentes, dont le rang correspond à la position sérielle des stimuli (Fersen et al., 1991; Couvillon et al., 1992; Siemann et al., 1994).

#### b) Description des modèles probabilistes d'attribution de valeur

L'explication la plus simple du phénomène d'inférence transitive chez l'animal est fournie par Fersen et collaborateurs en 1991, avec le modèle de transfert de valeur. La valeur qu'acquiert un stimulus lors de l'apprentissage possède deux composantes : la première, dite de renforcement direct, concerne le nombre de fois que l'item positif a été choisi (B+ dans la paire B+C-) et la valeur dite de renforcement indirect qui est attribuée à l'item non renforcé (B- dans A+B-). Cette valeur indirecte est fonction de l'item renforcé. Ainsi, une fraction  $k$  de la valeur de A renforcé, dans cet exemple, va être transférée à l'item non renforcé, B, grâce à la présentation simultanée des deux stimuli (contiguïté spatio-temporelle). Cette deuxième composante permet l'établissement d'un classement des items intermédiaires et permet d'obtenir une information sérielle du type :  $V_a > V_b > V_c > V_d > V_e$ .

Couvillon et Bittermann (1992) ont argumenté que le nombre de fois que l'animal est renforcé comparé au nombre de fois qu'il est non renforcé pour le choix de chaque item est suffisant pour rendre compte de leurs performances. Ainsi, dans la paire X+Y-, le choix du stimulus positif (X+) résulte en une augmentation de la valeur de l'item X+ et le choix du stimulus négatif (Y-) en une diminution de la valeur de Y-, sans qu'il soit nécessaire d'inclure un transfert de valeur. Une explication plus simple encore met en évidence que c'est le protocole de conditionnement lui-même qui entraîne de façon inévitable un transfert de valeur (Siemann et al., 1996a). Ainsi, face à la paire A+B-, l'animal choisit l'item A qui est systématiquement renforcé et évite B qui est alors rarement pénalisé. Ceci encourage le choix de B dans la paire B+C- pour lequel l'animal est renforcé. De cette manière, rapidement les choix de B sont globalement plus souvent renforcés que pénalisés. A l'inverse, lorsque l'on considère la paire D+E-, E étant systématiquement pénalisé, l'animal va choisir D, ce qui encourage les choix erronés de D dans la paire C+D-. Le choix de l'item D est alors

renforcé et puni de manière plus équitable que ce qui se passe pour B. Il en résulte une graduation des valeurs des items, décroissante depuis l'item A à l'item E, suffisante pour expliquer les performances aux paires de test.

Malgré les nuances qu'il convient d'apporter à chacun de ces modèles d'attribution de valeur, ils montrent tous l'intérêt de traiter les performances d'inférence transitive sur la base de la valeur des items. D'une part, un tel mécanisme n'exclut pas la possibilité d'une représentation mentale traduisant les valeurs associatives des items. D'autre part, cette façon de voir se rapproche de nos raisonnements quotidiens, de notre tendance à classer les objets selon une échelle de valeurs.

Voyons maintenant plus en détail le modèle mathématique de conditionnement proposé par Fersen et collaborateurs (1990, 1991). Il est basé sur l'hypothèse de Luce (1959) selon laquelle la valeur associative d'un stimulus ( $V_i$ ) est augmentée d'une certaine quantité si le choix de cet item est suivi d'un renforcement et diminuée d'une certaine quantité s'il est suivi d'une punition (théorie de l'attribution de valeurs). Les différentes valeurs des stimuli sont alors modifiées en appliquant l'opérateur  $\beta^+$  (coefficient de renforcement) dans le cas d'un renforcement positif

$$V_{i+1} = V_i + (V_i * \beta^+)$$

et  $\beta^-$  (coefficient de non-renforcement) dans le cas d'un non-renforcement

$$V_{i+1} = V_i - (V_i * \beta^-)$$

Il utilise une fonction de choix des items qui donne la probabilité de choisir un item en fonction de la somme des valeurs des items présentés simultanément ( $\Sigma V$ ) :

$$P_i = V_i / \Sigma V$$

Fersen et al. (1990) introduisent une fonction supplémentaire afin de simuler, dans le cas de la paire A+B-, le transfert de valeurs à l'item B suite à l'attribution de valeurs à l'item A. Ainsi, le choix correct sur A entraîne un renforcement indirect de B ( $1/n \Delta V_a$ ) :

$$V_a = V_a + \Delta V_a \text{ avec } \Delta V_a = (V_a * \beta^+)$$

$$V_b = V_b + 1/n \Delta V_a.$$

On peut noter que ce modèle est basé sur un mécanisme simple de choix des items et que les valeurs ne sont pas contraintes dans certaines limites. Le tableau suivant donne les pourcentages observés et simulés de choix corrects pour les prémisses à la fin de l'apprentissage et pour la paire test non renforcée ( $B_0D_0$ ).

	A+B-	B+C-	C+D-	D+E-	B <sub>0</sub> D <sub>0</sub>
Prédits	92	86	65	86	92
Observés	88	78	67	94	88

Pourcentages de choix corrects pour les prémisses et la paire test  $\beta^+=0.0004$  et  $\beta^-=0.008$  (Fersen et al., 1990).

Nous pouvons noter que le modèle simule correctement les choix transitifs mais les surestime légèrement. De plus, la valeur du coefficient de non renforcement est plus élevée que la valeur du coefficient de renforcement. Cette différence peut être attribuée, selon les auteurs, à une discrimination lente des items.

Couvillon et Bitterman (1992) ont, de leur côté, adapté le modèle de Bush et Mosteller (1951). Les auteurs de ce modèle postulent que la force associative de chaque membre d'une paire varie en fonction du renforcement ou non-renforcement, indépendamment de la force du stimulus avec lequel il est associé. Le changement de valeur est exprimé par l'équation de Bush-Mosteller selon la notation de Rescorla-Wagner (1972) :

$$\Delta V = \beta(\lambda - V)$$

où dans le cas d'un renforcement  $\lambda=1$  soit  $\Delta V = \beta^+(1 - V)$

et dans le cas d'un non-renforcement  $\lambda=0$  soit  $\Delta V = -\beta^-V$

Donc, à la présentation de la paire A+B-, si le sujet choisit l'item A, sa valeur augmente, s'il choisit l'item B, la valeur de B diminue. Mais vu qu'une procédure de correction est utilisée, le sujet choisira alors l'item A et la valeur de cet item augmentera dans tous les cas. Ce modèle utilise une fonction de choix exponentielle basée sur celle utilisée pour simuler une tâche similaire avec deux paires (A+B- et B+C-) chez l'abeille (Couvillon et Bitterman, 1986). Les auteurs ont donc simulé les expériences d'inférence transitive chez le pigeon à partir des résultats de Fersen et collaborateurs (1991). Le tableau ci-dessous donne les résultats des proportions de choix corrects des prémisses à la fin de l'apprentissage et la proportion des choix transitifs de la paire non renforcée B<sub>0</sub>D<sub>0</sub>.

	A+B-	B+C-	C+D-	D+E-	B <sub>0</sub> D <sub>0</sub>
Prédits	89	76	65	99	88
Observés	90	75	68	91	86

Pourcentages de choix corrects pour les prémisses et la paire test  $\beta^+=0.02$  et  $\beta^-=0.20$  (Couvillon & Bitterman, 1992).

L'ajustement de ce modèle est correct pour de nombreuses valeurs de  $\beta$ , avec des valeurs de  $\beta^+$  toujours inférieures à celles de  $\beta^-$ . Selon les auteurs, cette différence s'explique du fait que les erreurs répétées ne sont pas sanctionnées (Couvillon et al., 1992).

Les résultats satisfaisants de ces modèles ainsi que d'autres plus complexes (Wynne, 1995 ; Siemann et al., 1996 a et b) suggèrent tous qu'il n'y a pas égalité entre les valeurs des items intermédiaires Vb, Vc et Vd. Il existerait un biais choix/renforcement qui entraîne l'inégalité  $Vb > Vc > Vd$  permettant la réponse correcte à la paire test BD. Siemann et Delius (1997) ont montré que le transfert de valeur ne joue en fait qu'un rôle mineur dans la mise en place de l'inégalité des valeurs. Par conséquent, un modèle mathématique très simple permet de rendre compte des performances de pigeons et d'humains dans ces épreuves qui n'impliquent alors pas nécessairement des capacités cognitives très importantes. Toutefois, une simulation à partir d'un modèle simple n'exclut pas l'implication de processus plus complexes.

#### c) Extension métaphorique des modèles d'attribution de valeur à l'apprentissage sériel

Contrairement à la plupart des tâches de conditionnement dans lesquelles deux items sont présentés, les épreuves d'inférence et d'apprentissage sériel impliquent la mémorisation de plusieurs items. De plus, les sujets doivent intégrer une information sérielle. Cette information sérielle est caractérisée par un classement hiérarchique des items par leur valeur. Cependant, pour l'inférence transitive, les items sont présentés par paires et le sujet ne doit choisir que l'item renforcé. Dans l'apprentissage sériel, le sujet doit produire une séquence de réponses dont seule la dernière est directement renforcée. Alors, afin de modéliser la production d'une séquence, il est indispensable d'intégrer le processus de transfert de valeur. Dans le cas contraire, ce modèle ne permettrait que de simuler la discrimination d'un item parmi les quatre présentés simultanément.

Notre première idée a été de développer une fonction de choix qui tient compte des 4 alternatives de réponses possibles. Il nous semblait difficile d'adapter la fonction de choix unique du modèle de Fersen aux choix multiples de l'apprentissage sériel. En effet, après quelques essais d'ajustement, le modèle ne faisait plus d'erreurs alors que dans nos expériences, les erreurs diminuent au cours des essais mais restent toujours présentes. Ce résultat a justifié l'utilisation d'un tirage aléatoire associé aux différentes probabilités. Cette fonction sera détaillée plus loin. De plus, nous

avons utilisé une version modifiée de l'opérateur  $\beta$  en limitant l'évolution des valeurs lorsque l'apprentissage est en phase asymptotique (Bush et Mosteller, 1951). Nous avons ensuite défini les caractéristiques essentielles du modèle de l'apprentissage sériel qui sont les suivantes :

1-Quatre items sont présentés simultanément. L'essai se termine seulement par la production d'une séquence correcte.

2-Au cours de l'essai, le choix d'un item entraîne une modification de sa valeur dont la nature varie selon qu'il est ou non renforcé.

3-Lors d'une séquence correcte, un transfert de valeur intervient depuis l'item directement renforcé vers le ou les autres items corrects non renforcé de la série.

4-Le modèle doit produire la séquence demandée cinq fois sans aucune erreur pour terminer la simulation.

5- Le modèle utilise 2 variables qui sont les coefficients  $\beta^+$  de renforcement et  $\beta^-$  de non renforcement.

## 2. Modèle de choix pseudo-aléatoire

### a) Algorithme

L'algorithme, développé au départ pour simuler le choix d'un seul item, prend en compte la présentation simultanée de quatre stimuli, la valeur de chacun étant fixée arbitrairement au départ à 0,1. La probabilité de chaque item est calculée selon le principe :

$$P_i = V_i / V_{\text{totale}} \quad (1)$$

Sachant que  $V_{\text{totale}}$  est la somme des valeurs des quatre stimuli, soit 0,4 au départ, la probabilité associée à chaque item est de 0,1/0,4 soit 25%. En d'autres termes, au début de l'apprentissage, la probabilité de choix est identique pour les quatre items et correspond au hasard.

La fonction qui va simuler les choix au cours de l'apprentissage (fonction de choix) est une fonction pseudo-aléatoire en ce sens que le modèle va tirer une valeur aléatoire entre 0 et 100% et qu'il va placer cette valeur dans la zone correspondante à un des 4 items. Si au départ, chaque item a 25% de chance d'être choisi, la zone correspondante au premier item s'étend de 0 à 25%, au second item de 25,01% à 50%, au troisième de 50,01% à 75% et finalement au quatrième item de 75,01% à

100%. Si la valeur tirée est 48,05%, le modèle sélectionne alors le second item. Si ce choix est suivi d'un renforcement, on applique l'opérateur selon la formule :

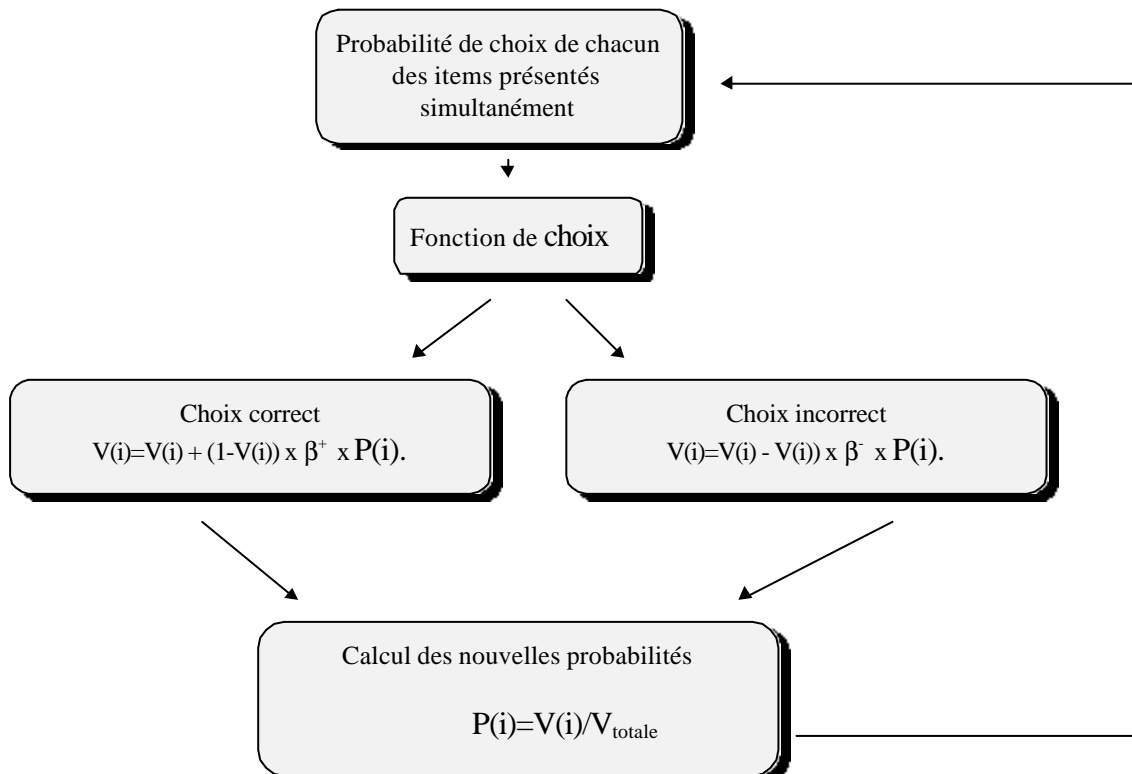
$$V_i = V_i + (1 - V_i) \times \beta^+ \times P_i \quad (2)$$

$V_i$  correspond à la valeur de l'item choisi,  $\beta^+$  au coefficient de renforcement et  $P_i$  est la probabilité de choix de l'item considéré. Lorsque le choix n'est pas suivi d'un renforcement, la valeur de l'item choisi diminue de la manière suivante :

$$V_i = V_i - V_i \times \beta^- \times P_i \quad (3) \quad (\beta^- \text{ coefficient de non-renforcement})$$

Après modification de la valeur à cet essai, un calcul des nouvelles probabilités est exécuté selon la formule (1). Il nous a paru utile d'étendre ce modèle non pas à un sujet mais à une population de sujets participant à la même expérience. Ainsi, le modèle va refléter un comportement moyen. Les modifications de valeur moyenne de chaque item sont données par les équations 2 et 3 qui prennent en compte la probabilité de choix de l'item dans le calcul de la nouvelle valeur. L'essai suivant débute avec le choix d'un nouvel item après que les zones de choix des quatre items aient été mises à jour en fonction des nouvelles probabilités.

Ce modèle peut être résumé par l'organigramme suivant :



Pour simuler la production de séries de deux, trois ou quatre items, nous introduisons le processus de transfert de valeur. Dans ce cas, lorsqu'une séquence est renforcée, la valeur de l'item directement renforcé augmente d'une certaine quantité,

$$V_i = V_i + DV$$

La valeur du ou des items corrects qui le précèdent augmente d'une fraction de cette quantité. Par exemple pour une série de trois items, le calcul de la valeur des deux items précédent celui directement renforcé sera :

$$V_j = V_j + 1/n \times DV$$

$$V_H = V_H + 1/2n \times DV$$

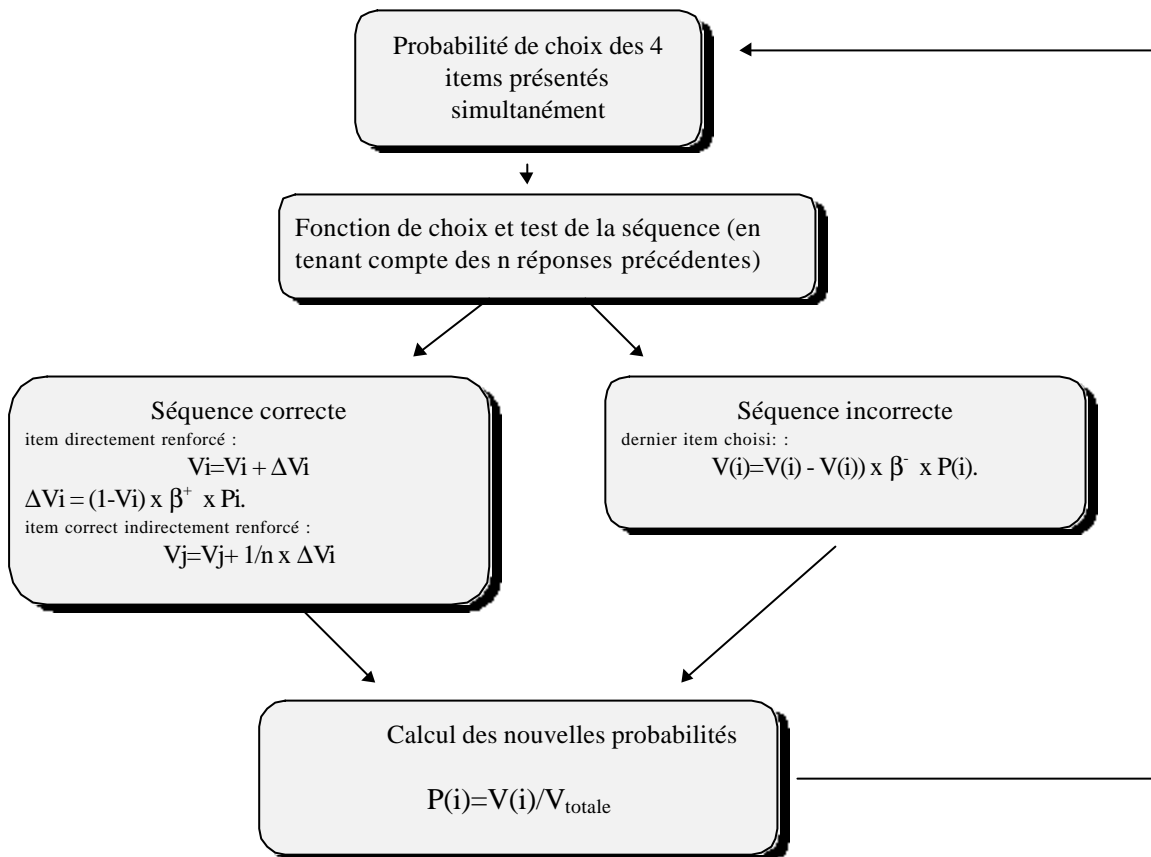
Ce processus introduit alors un classement des valeurs. Par exemple, lors de l'acquisition de la série ABC, on obtiendra le profil suivant  $V_c > V_b > V_a$ .

La simulation est stoppée lorsque le modèle produit cinq réponses ou séquences correctes consécutives, conformément au protocole d'apprentissage. Nous pouvons déterminer l'ajustement du modèle aux données expérimentales en comparant les probabilités simulées des quatre items aux probabilités (proportions) de choix observées. Pour cela, nous calculons la somme des différences au carré entre probabilités observées et théoriques (SAQ)

$$SAQ = \sum [(P_{obs}(i) - P_{théo}(i))^2]$$

Plus la valeur du SAQ est faible, mieux le modèle est ajusté. En modifiant les valeurs des coefficients  $\beta$ , nous avons pratiqué de nombreuses simulations qui nous ont permis de déterminer pour quelles valeurs de ces coefficients on obtient le meilleur ajustement.

L'organigramme suivant résume les étapes lors de l'acquisition d'une séquence :



### b) Simulations

Ce modèle a permis de simuler la sélection de l'item A puis des séries de deux et de trois items à partir des quatre items présentés simultanément.

#### 1) Acquisition d'un item parmi 4 présentés simultanément

	A	B	C	D	$\beta^+=0,02$
Données expérimentales	36,32	18,68	23,27	21,72	$\beta^-=0,18$
Données simulées	36,6	20,2	21,1	22,1	$s_{AQ} = 7.3 \cdot 10^{-4}$

Tableau I.4.1. Résultats de la simulation de l'acquisition d'un item parmi 4 présentés simultanément,  $\beta^+=0,02$  et  $\beta^-=0,18$ .

Bien que le modèle surestime légèrement les probabilités de choix des quatre items, il rend bien compte de la discrimination de l'item A pertinent comparé aux trois autres items B, C et D. Nous pouvons remarquer que c'est avec un coefficient de non renforcement supérieur au coefficient



de renforcement que le modèle est le mieux ajusté. Ce résultat pourrait s'expliquer par un effet plus important du non renforcement entraînant une diminution plus rapide des valeurs des items non pertinents.

### 2) Acquisition d'une série de deux items selon les modes proactif et rétroactif

Pour la simulation de séquences de deux items selon les modes proactif (AB) et rétroactif (BA), chaque item conserve au départ la valeur qu'il avait acquise lors de la simulation de l'acquisition de A-renforcement.

Groupe AB	A	B	C	D	$\beta^+=0,01$
Données expérimentales	31,83	53,12	7,17	7,88	$\beta^-=0,14$
Données simulées	31,61	52,30	8,32	7,77	$s_{AQ}=2.05 \cdot 10^{-4}$
Groupe BA	A	B	C	D	$\beta^+=0,1$
Données expérimentales	63,42	22,82	5,41	8,35	$\beta^-=0,14$
Données simulées	60,65	28,39	5,41	5,53	$SAQ=4.66 \cdot 10^{-3}$

Tableau I.4.2. Résultats de la simulation de l'acquisition d'une série de deux items selon les modes proactif et rétroactif,  $\beta^+=0,1$  et  $\beta^-=0,14$ .

Ici aussi nous pouvons remarquer la valeur plus élevée du coefficient de non renforcement. Il est intéressant de noter que le ratio des deux coefficients est de 14 pour le groupe proactif et qu'il n'est plus que de 1,4 pour le groupe rétroactif. Dans ce dernier groupe, le fait que l'item A est toujours directement renforcé dans les deux phases d'apprentissage, pourrait alors expliquer qu'un renforcement a plus d'effet sur cet item et ceux qui lui sont associés que dans le cas du groupe proactif avec le renforcement d'un nouvel item (B dans cette phase).

### 3) Acquisition d'une série de trois items selon les modes proactif et rétroactif

Contrairement à l'acquisition de séries de deux items, le modèle ne parvient pas ici à simuler l'acquisition jusqu'au critère des séries de trois items. Seuls 4 succès consécutifs ont pu être simulés. Les résultats sont donnés dans le tableau ci-dessous. Ces résultats concordent avec l'hypothèse d'une hiérarchie des valeurs depuis l'item directement renforcé jusqu'au premier item de la série. Nous pouvons remarquer que dans les simulations d'acquisition de séries de trois items, le coefficient de renforcement est supérieur ou égal au coefficient de non renforcement. Cette différence observée

peut être interprétée comme une insuffisance de la théorie du transfert de valeur à expliquer la production du critère. Cette observation nous amènera à postuler plus loin la mise en œuvre d'un autre processus.

Le faible taux de l'item C dans le groupe CBA a pu être simulé de manière satisfaisante en modifiant la fonction de transfert de valeur de la manière suivante : au lieu de transférer 50% de l'augmentation de la valeur de l'item A sur l'item B et 25% sur l'item C, nous avons introduit une fonction puissance qui permet de transférer une fraction plus faible de la valeur de l'item A sur l'item C qui n'a jamais été renforcé et se trouve éloigné de l'item A. Le transfert de valeur est alors le suivant :

$V_j = V_j + (1/p^3) \Delta V_j$  (p est le numéro de l'item indirectement renforcé; p=1 pour l'item B et p=2 pour l'item C). Ainsi, l'item B reçoit 50% de l'augmentation de valeur de l'item A alors que l'item C n'en reçoit que 6,2%.

Groupe ABC	A	B	C	D	$\beta^+ = 0,05$
Données expérimentales	20,31	34,41	42,43	2,85	$\beta^- = 0,01$
Données simulées	24,4	31,0	42,6	2,0	$SAQ = 1.57 \cdot 10^{-3}$
Groupe CBA	A	B	C	D	$\beta^+ = 0,03$
Données expérimentales	43,74	38,47	15,14	2,66	$\beta^- = 0,03$
Données simulées	44,51	37,77	16,62	1,10	$SAQ = 6.09 \cdot 10^{-4}$

Tableau I.4.3. Résultats de la simulation de l'acquisition d'une série de trois items selon les modes proactif et rétroactif, ABC :  $\beta^+ = 0,05$  et  $\beta^- = 0,01$  et CBA :  $\beta^+ = 0,03$  et  $\beta^- = 0,03$ .

Les résultats expérimentaux ont montré que le profil moyen de production des quatre items au cours de l'apprentissage dans les différents groupes concorde avec l'hypothèse de l'apprentissage d'une distance au renforçateur. Mais, ce profil est modifié au moins dans le dernier bloc de 3 séances avec une augmentation de la production de l'item intermédiaire B. Pour ce bloc de séances, le profil pour le groupe ABC devient B>C>A, pour CBA B>A>C. Le tableau ci-dessous présente les taux moyens de production des quatre items au cours de l'apprentissage des séries de trois items et les taux moyens des trois dernières séances de ces apprentissages.

Groupe ABC	A	B	C	D
Toutes séances	20,31	34,41	42,43	2,85
3 dernières séances	24,77	37,81	35,92	1,49
Groupe CBA	A	B	C	D
Toutes séances	43,74	38,47	15,14	2,66

3 dernières séances	37,58	41,87	19,77	0,79
---------------------	-------	-------	-------	------

A première vue, ce résultat expérimental ne peut s'expliquer avec l'hypothèse d'un transfert de valeur qui devrait toujours donner le profil de production  $C > B > A$  ou  $A > B > C$ . L'hypothèse proposée est une modification au cours de l'apprentissage de la part de la valeur transmise depuis l'item directement renforcé vers celui qui le précède c'est à dire l'item B. En effet, si l'on admet qu'en fin d'apprentissage, l'item directement renforcé transmet son augmentation de valeur à plus de 95% à l'item qui le précède et 12,25% au plus éloigné, le modèle simule alors bien un profil de production dans lequel l'item B prédomine.

Groupe ABC	A	B	C	D	$\beta^+=0,01$
Données expérimentales	24,77	37,81	35,92	1,49	$\beta^-=0,01$
Données simulées	23,68	37,82	35,49	2,99	$SAQ=3.99 \cdot 10^{-4}$
Groupe CBA	A	B	C	D	$\beta^+=0.02$
Données expérimentales	37,58	41,87	19,77	0,79	$\beta^-=0.01$
Données simulées	36,45	39,36	22,68	1,49	$SAQ=1.96 \cdot 10^{-3}$

Tableau I.4.4. Résultats de la simulation de l'acquisition d'une série de trois items selon les modes proactif et rétroactif après modification du transfert de valeur, ABC :  $\beta^+=0,01$  et  $\beta^-=0,01$  et CBA :  $\beta^+=0,02$  et  $\beta^-=0,01$ .

#### 4) Acquisition de la série ABC suite au rappel de la série AB

Cette simulation devait reproduire les conditions d'acquisition de la série ABC suite au rappel de la série AB en début de chaque séance d'apprentissage. Notre hypothèse expérimentale est que l'oubli "relatif" de la transition AB permet l'introduction et le placement du nouvel item C mais retarde l'acquisition de la série ABC. Cette hypothèse s'est avérée juste puisque les animaux du groupe AB\_ABC ayant subi le rappel de la série AB, ont besoin de moitié moins de séances pour atteindre le critère et on n'observe pas de chute du taux de production de AB. La simulation du rappel a consisté à faire plusieurs simulations de l'acquisition de AB en prenant à chaque fois les nouvelles valeurs des items au critère pour débiter une nouvelle simulation. Cette première partie a permis d'obtenir des valeurs plus élevées des items A et B et indirectement des valeurs plus faibles pour les items C et D. A partir de ces valeurs de A et de B, nous avons ensuite fait une simulation de l'acquisition de la série ABC

Groupe AB_ABC	A	B	C	D	$\beta^+=0.04$
Données expérimentales	29,75	33,26	35,52	1,47	$\beta^-=0.01$
Données simulées	28,02	33,01	36,77	2,21	$s_{AQ}=3.9410^{-4}$

Tableau I.4.5. Résultats de la simulation de l'acquisition de la série ABC suite au rappel de AB  $\beta^+=0,04$  et  $\beta^-=0,01$ .

Bien que l'ajustement du modèle paraisse satisfaisant, le critère d'acquisition n'a pas été atteint. La simulation effectuée représente l'acquisition jusqu'à quatre succès consécutifs. On retrouve une supériorité du coefficient de renforcement comparé au coefficient de non renforcement.

### c) Discussion

Ce modèle permet de simuler en partie l'acquisition d'une série ordonnée à partir d'équations très simples. Les modifications des coefficients de renforcement et de non renforcement permettent d'accélérer ou de ralentir cette acquisition. Un coefficient de non renforcement élevé va permettre la discrimination, et donc une diminution rapide de la production, des items non pertinents et pondérer l'augmentation de la valeur des items pertinents. En effet, si un item acquiert une trop forte valeur, il aura tendance à être choisi et répété. Le coefficient de non renforcement va alors limiter l'évolution des valeurs et entraîner une diminution des répétitions au cours de la simulation. Le coefficient de renforcement va permettre, quant à lui, de distinguer les items pertinents des non pertinents. Finalement, c'est le processus de transfert de valeur qui aboutit au classement hiérarchique des items selon leur valeur respective. C'est en modulant ce dernier que nous pouvons modifier l'ordre des items et simuler l'évolution en fin d'apprentissage de l'item intermédiaire B.

Ce modèle semble correct pour la simulation des taux de production des différents items mais ne produit pas le critère demandé lors de l'acquisition de la série de trois items. Ce résultat nous amène à penser qu'un second processus est impliqué à la fin de l'apprentissage pour la production du critère. Or, ce modèle ne peut simuler qu'un seul processus à la fois. L'analyse des chaînes de Markov a révélé l'existence d'un lien entre l'item directement renforcé et celui qui le précède en début d'apprentissage et entre l'item directement renforcé et les deux items qui le précèdent en fin d'apprentissage. Or, bien que le processus de transfert de valeur regroupe d'une certaine manière les items pertinents entre eux, le modèle n'inclut pas de véritable relation conditionnelle entre les items. A savoir, la production de l'item B devient conditionnée à la production préalable de l'item A dans la séquence AB par exemple. C'est pourquoi, nous avons développé un nouveau modèle dans lequel

nous avons modifié la fonction de choix et introduit la notion de probabilité conditionnelle. Une autre limitation de ce premier modèle est que la forte valeur de l'item directement renforcé entraîne un effet de récence persistant. Or, les résultats expérimentaux révèlent que celui-ci est absent lors de l'acquisition d'une série de trois items dans les groupes CBA et AB\_ABC et transitoire pour le groupe ABC. L'utilisation de probabilités conditionnelles devrait supprimer cet effet de récence.

### 3. Modèle de choix conditionné

#### a) Algorithme

Ce modèle diffère du précédent en plusieurs points :

1- La fonction de choix ne sélectionne plus un item pseudo-aléatoirement en tenant compte de sa probabilité de production, mais sélectionne à chaque essai l'item qui possède la plus forte valeur et donc la plus forte probabilité. Ainsi, lors de la production d'une séquence AB, après quelques essais, le profil de production des valeurs pour ces deux items est  $V_b > V_a$ . Ce classement entraîne un profil de probabilité de choix  $P_b > P_a$ . Le modèle va alors simuler le choix de l'item B.

2- Le calcul des probabilités de choix de chaque item est conforme au premier modèle jusqu'à la réalisation du premier succès. Nous avons considéré que la série correcte devait être produite au moins une fois pour que l'établissement de liens entre le nouvel item pertinent et la séquence précédemment apprise débute. Au second essai, le choix d'un item sera alors établi à partir de la probabilité conditionnelle de chaque item.

Il s'agit d'une modification temporaire de la probabilité des items va permettre de se départir de l'effet de récence lors du choix des items. Lors de la réalisation du premier succès, le profil des valeurs est pour la séquence ABC,  $V_c > V_b > V_a$ . Si on conserve le calcul des probabilités de choix comme dans le premier modèle, à chaque essai successif, cette hiérarchie sera conservée et le profil de production restera  $P_c > P_b > P_a$ . Ainsi, le premier choix lors de l'essai suivant sera l'item C. Afin de permettre au modèle de réaliser le critère de cinq succès consécutifs, nous utilisons le calcul des probabilités conditionnelles qui donnera le profil de choix suivant :  $P_a > P(b/a) > P(c/b/a)$ . Lors de l'essai suivant, le modèle sélectionnera l'item A, puis l'item B et finalement l'item C entraînant un succès.

3- Dans ces conditions, suite au premier succès, le modèle ne produit plus d'erreur et atteint le critère très rapidement. Ce résultat est contraire aux données expérimentales puisque, bien que l'effet de récence disparaisse, les animaux continuent à produire des erreurs. Aussi, pour simuler la

production de choix erronés, nous utilisons un bruit de fond. Celui-ci est classiquement utilisé dans les réseaux de neurones pour introduire un taux d'erreurs. L'utilisation de cette variable, dénommée Bruit, est en accord avec le fait que les neurones réels sont des éléments bruyants (Kandel, Schwartz et Jessell, 1991). Pour ce faire, nous fixons une certaine valeur de bruit qui reste constante durant toute la simulation. Lorsque le modèle simule un choix, nous introduisons alors une fonction :

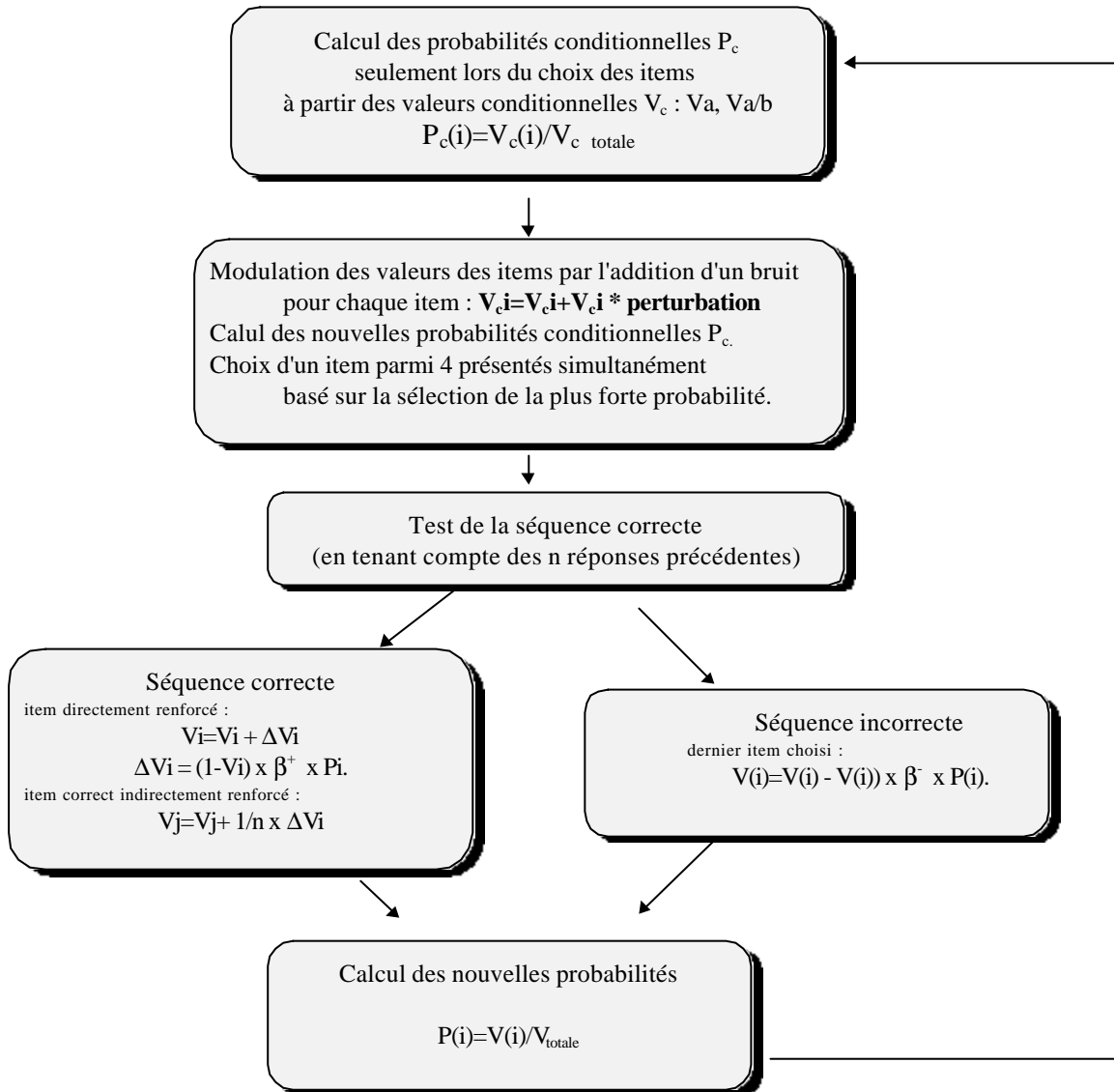
$$\text{perturbation} = (2 * \text{Bruit}) * \text{RND} - \text{Bruit} \quad (\text{RND est la fonction de tirage aléatoire d'une valeur entre 0 et 1}).$$

Cette fonction entraîne une augmentation ou une diminution de la valeur de chaque item d'une quantité comprise entre [+Bruit et -Bruit]. Ainsi, lors d'un choix, la valeur de chaque item va être modifiée temporairement de la manière suivante :

$$V_i \text{ temporaire} = V_i \text{ temporaire} + (V_i \text{ temporaire} * \text{perturbation})$$

Si la valeur du bruit est grande, la modification de valeur de chaque item sera importante au point où le modèle pourra choisir les items au hasard. La plupart du temps, les valeurs des différents items ne diffèrent pas de manière importante. En choisissant des valeurs de bruit assez faibles, on peut fixer un taux d'erreurs plus ou moins important.

Jusqu'à la production du premier succès, le modèle est conforme au précédent (p66). Suite à la production du premier succès, l'organigramme devient donc :



**b) Simulations**

**1) Acquisition d'un item parmi quatre présentés simultanément**

	A	B	C	D	$\beta^+=0,05$
Données expérimentales	36,32	18,68	23,27	21,72	$\beta^-=0,25$
Données simulées	36,5	19,4	22	22	$SAQ = 2.22 \cdot 10^{-4}$
					Noise=1.7

Tableau I.4.6. Résultats de la simulation de l'acquisition d'un item parmi quatre présentés simultanément :  $\beta^+=0,05$  et  $\beta^-=0,25$ .

Bien que le modèle surestime légèrement les probabilités de choix des quatre items, il rend bien compte de la discrimination de l'item A pertinent comparé aux trois autres items B, C et D.



Nous pouvons remarquer que, comme dans le premier modèle, c'est avec un coefficient de non renforcement supérieur au coefficient de renforcement que les données simulées sont les plus proches des données expérimentales. En effet, dans cette phase, le modèle doit permettre de discriminer rapidement l'item correct des trois autres. Aussi, c'est avec une valeur plus importante du coefficient de non renforcement que le modèle peut simuler cet effet. La valeur de bruit a été fixée à 1.7. Avec cette valeur, le modèle simule alors correctement le nombre de réponses et d'essais pour produire le critère.

2) Acquisition de deux items selon les modes proactif et rétroactif

Pour la simulation de séquences de deux items selon les modes proactif (AB) et rétroactif (BA), chaque item conserve au départ la valeur qu'il avait acquise lors de la simulation de l'acquisition de A - renforcement.

Groupe AB	A	B	C	D	$\beta^+=0,3$
Données expérimentales	31,83	53,12	7,17	7,88	$\beta^-=0,1$
Données simulées	30,5	53,9	7,8	7,9	$SAQ=2.78 \cdot 10^{-4}$
					Noise=0.95
Groupe BA	A	B	C	D	$\beta^+=0,01$
Données expérimentales	63,42	22,82	5,41	8,35	$\beta^-=0,1$
Données simulées	62,7	24,2	5,8	7,3	$SAQ=3.55 \cdot 10^{-4}$
					Noise=1.5

Tableau I.4.7. Résultats de la simulation de l'acquisition de deux items selon les modes proactif et rétroactif. ABC :  $\beta^+=0,3$  et  $\beta^-=0,1$  ; CBA :  $\beta^+=0,01$  et  $\beta^-=0,1$ .

Nous pouvons voir que ce modèle rend bien compte des profils de production des items.

Ce second modèle présente cependant l'inconvénient du nombre d'essais et de réponses au critère produits nettement inférieurs à ceux obtenus expérimentalement. En effet, pour l'acquisition d'une série de deux items, le nombre moyen d'essais est de 140 et de réponses est de 1100. Le modèle produit le critère en moins de 25 essais et 180 réponses. Nous avons fait varier le coefficient de bruit afin d'augmenter le nombre d'erreurs mais cette évolution reste quand même limitée. De toute manière, ce modèle n'a pour but que de simuler l'acquisition du critère et non pas vraiment l'évolution des productions des items au cours de l'apprentissage. De plus, à l'état de nos connaissances, il est impossible de combiner les deux modèles présentés.

3) Acquisition de trois items selon les modes proactif et rétroactif

Groupe ABC	A	B	C	D	$\beta^+=0,05$
Données expérimentales	20,31	34,41	42,43	2,85	$\beta^- = 0,05$
Données simulées	20,6	28,2	43,1	1,21	$SAQ=4,12 \cdot 10^{-2}$
					Noise=0.6
Groupe CBA	A	B	C	D	$\beta^+=0,1$
Données expérimentales	43,74	38,47	15,14	2,66	$\beta^- = 0,1$
Données simulées	42,3	32,7	14,2	1,08	$SAQ=1,03 \cdot 10^{-2}$
					Noise=0.95

Tableau I.4.8. Résultats de la simulation de l'acquisition de trois items selon les modes proactif et rétroactif. ABC :  $\beta^+=0,05$  et  $\beta^- = 0,05$  ; CBA :  $\beta^+=0,1$  et  $\beta^- = 0,1$ .

Les ajustements du modèle sont de moins bonne qualité, mais le modèle produit le critère demandé. On peut remarquer l'égalité des coefficients de renforcement et de non renforcement suggérant l'hypothèse que le seul processus impliquant la hiérarchisation des items n'est plus suffisant pour expliquer la production du critère. En effet, les simulations jusqu'à l'atteinte du critère nécessitaient jusqu'à présent, un coefficient de non-renforcement plus important que le coefficient de renforcement. La modification de valeurs de ces coefficients, pour simuler les nouvelles données expérimentales, peut être alors considéré comme un indice de changement de comportement des sujets dans cette tâche et être donc révélatrice d'un nouveau processus mnésique.

4) Acquisition de ABC après rappel de la série AB

Groupe AB_ABC	A	B	C	D	$\beta^+=0,05$
Données expérimentales	29,7	33,2	35,5	1,47	$\beta^- = 0,05$
Données simulées	22,5	30,2	35,2	1,28	$SAQ=2,01 \cdot 10^{-2}$
					Noise=0.9

Tableau I.4.9. Résultats de la simulation de l'acquisition de la série ABC après le rappel de AB :  $\beta^+=0,05$  et  $\beta^- = 0,05$ .

De la même manière que pour le premier modèle, nous avons simulé le rappel de la série AB avant d'exécuter la simulation de l'acquisition de la série ABC. Après une première simulation, les valeurs simulées pour les items A, B et C sont très proches alors que les données expérimentales ne le sont pas. Nous avons alors modifié le coefficient de transfert de valeur : 80% de l'augmentation de la valeur sur C est affectée à B et 40% à A. Le résultat de cette modification est rapporté dans le tableau I.4.9. Malgré l'augmentation des valeurs initiales de A et de B grâce au rappel, ces résultats

semblent confirmer l'existence d'un autre processus que le simple transfert puisqu'il nous a fallu modifier le taux de transfert.

Pour terminer, nous avons voulu tester l'hypothèse, formulée dans le chapitre précédent, de la formation d'une unité fonctionnelle de séquences d'items bien apprises (Shimp, 1976 ; Terrace, 1987). En effet, nous avons postulé que l'animal qui a été renforcé de nombreuses fois après la production de la série AB, par exemple, pourrait former une unité de AB et donc rajouter simplement l'item C pour produire la séquence ABC. Or, la modélisation de ce processus impliquerait des simulations d'acquisition d'un chunk et d'un item. Ce qui reviendrait à simuler l'acquisition d'une série de deux items. Cependant, dans le cas présent, le nombre de réponses au critère simulé serait bien inférieur aux 32000 et 45000 réponses nécessaires aux animaux pour atteindre le critère des séries de trois items ABC et CBA. C'est pourquoi la modélisation ne nous semble pas pertinente.

### c) Discussion

Ce deuxième modèle a permis la simulation de l'atteinte du critère d'acquisition de toutes les tâches qui lui étaient demandées. Les résultats sont conformes à ceux attendus en termes de hiérarchie des valeurs. Mais ce modèle est difficilement applicable pour simuler complètement l'apprentissage sériel chez le pigeon. En effet, nous avons postulé qu'au delà du transfert de valeur, des liens conditionnels entre les items pertinents seraient mis en place à la fin de l'apprentissage. Or, deux processus sont impossibles à simuler avec un modèle aussi simple. Afin d'appréhender la dynamique de l'apprentissage et le fonctionnement d'un ou de plusieurs processus successivement ou simultanément, il nous faudrait développer un réseau de neurones qui reposerait sur le principe du transfert de valeur mais qui pourrait au cours de l'apprentissage permettre l'introduction de nouveaux mécanismes comme l'établissement de liens conditionnels entre les stimuli. Siemann et Delius (1997) présentent un réseau pour simuler l'inférence transitive. Ce réseau, avec l'addition d'un bruit de fond, simule parfaitement le comportement humain lors de l'apprentissage des prémisses et des tests d'inférence. Ainsi, la simplicité rend les modèles algébriques très séduisants. Les réseaux de neurones sont plus explicites pour rendre compte de la succession causale des événements (Churchland et Sejnowski, 1993).

## **Chapitre II : Etude comparée d'acquisition, de généralisation de séries et tests de position sérielle chez l'humain et le pigeon**

### **1- Introduction**

Nous avons démontré dans la première partie de ce travail que les pigeons sont capables d'apprendre à produire une série ordonnée de deux ou de trois items. Nous avons postulé que les animaux utilisent l'information de la distance de chaque item au renforçateur pour positionner les items dans la série et différencier les items pertinents des distracteurs. Le modèle d'attribution de valeur, aboutissant au classement des items depuis le dernier jusqu'au premier, rend bien compte de la production décroissante des items avec la distance au renforçateur. Pour l'atteinte du critère d'acquisition des séries, ce processus ne semble cependant pas satisfaisant pour expliquer la production de la série depuis le premier jusqu'au dernier item cinq fois consécutivement. Nous avons postulé l'existence d'un second processus basé sur la connaissance de la position des items et qui ne serait utilisé qu'en fin d'apprentissage. Il permettrait donc la production des items dans l'ordre demandé.

Dans cette seconde partie, nous allons mettre à l'épreuve de deux manières différentes l'hypothèse qui s'est dégagée de la première partie de ce travail. Nous allons d'abord vérifier si les oiseaux sont capables de transférer cette règle d'un apprentissage en fonction de la distance de chaque item au renforçateur à l'acquisition d'une série formée de nouveaux items (A'B'C'D'). Dans une deuxième expérience, nous allons déterminer dans quelle mesure l'utilisation de cette règle aboutit à une connaissance de l'identité des items de la série et de leur position. Pour cela, les oiseaux sont soumis à l'acquisition de séries mixtes composées en partie d'items de la première série (ABCD) et d'items de la série de transfert (A'B'C'D'). Les résultats de ces deux expériences devraient permettre de préciser le processus qui est impliqué dans la production du critère d'apprentissage. Un deuxième but poursuivi dans cette seconde partie est d'étudier, dans une approche comparée, les capacités d'apprentissage, de généralisation et de connaissance de la position des items dans une série chez des sujets humains soumis à des conditions expérimentales similaires à celles utilisées pour le pigeon.

## A) Pigeons

### 1-Transfert à une nouvelle série

Dans des expériences de transfert à de nouvelles conditions d'apprentissage ou à de nouveaux stimuli, on s'attend généralement à une amélioration ou un maintien des performances comparées à celles obtenues dans les conditions initiales. Terrace et collaborateurs (1996) rapporte que la discrimination d'une séquence de trois items parmi d'autres séquences du même type mais non renforcées se fait en 23 séances chez des animaux d'abord entraînés à produire la série par rapport à 53 séances chez des animaux naïfs. Les auteurs montrent que cette facilitation ne peut pas s'expliquer par : 1-l'expérience préalable avec les trois items en dehors de l'apprentissage de la séquence (expérience de pseudo-production), 2-une discrimination entre les trois items, 3-les deux effets conjugués (pseudo-production suivie d'une expérience de discrimination) et 4- une expérience de sériation en ordre inverse (CBA au lieu de ABC). Cette amélioration chez les animaux pré-entraînés semble reposer sur le repérage du premier et du dernier item et sur la mémorisation de l'identité et de la position de(s) l'élément(s) déjà vu(s) ou produit(s).

En ce qui concerne l'apprentissage sériel, une seule expérience de ce type chez le pigeon est rapportée dans la littérature. Des pigeons sont d'abord soumis à l'apprentissage d'une série de deux items chromatiques, puis à une série de deux formes géométriques achromatiques. De manière inattendue, les pigeons mettent significativement plus d'essais au critère pour la seconde liste (Terrace, 1986a). En revanche, des singes entraînés à apprendre successivement huit listes de quatre items augmentent leurs performances au cours des listes. Les résultats montrent une augmentation des performances pour les trois premières phases d'acquisition de séries de quatre items. L'apprentissage de listes multiples aboutit à un comportement instrumental plus efficace caractérisé par la diminution, voire la disparition, de certains types d'erreurs (erreurs en avant) (Swartz et al., 1991). Le phénomène de transfert a cependant été démontré dans d'autres expériences chez le pigeon, comme la discrimination conditionnelle. Zentall, Hogan et Edwards (1984) rapportent une série d'expériences dans lesquelles des pigeons sont soumis à des tâches soit d'appariement soit de non appariement à l'exemple. Les animaux apprennent ensuite plus rapidement s'ils sont soumis au même type d'expérience (appariement-appariement ; non appariement-non appariement) que s'ils sont soumis à l'autre tâche (appariement - non appariement) ou inversement. Ces auteurs ont montré que plusieurs facteurs pouvaient influencer l'évolution des performances lors d'un transfert tels que la

similitude entre les stimuli, le type d'événement qui suit les réponses positives (type de renforcement...) (Zentall et al., 1984). Ainsi, suite aux expériences de Hulse et Campbell (1975) sur le parcours d'une allée unique avec des séries de renforcement croissante, décroissante ou mixte (Cf Introduction générale p 4), le transfert à une nouvelle séquence croissante et non pas mixte se traduit par un apprentissage plus rapide (Hulse et Dorsky, 1979). De la même manière, Olton et collaborateurs (1984) appliquent ce type de protocole à un labyrinthe à quatre bras dans lequel la performance mesurée n'est plus la vitesse de parcours dans les bras mais la succession des choix des sujets. Les bras sont renforcés selon la séquence 18-6-1-0 boulettes de nourriture. Les rats sont entraînés soit à parcourir les bras qui sont tous accessibles à partir de la plate-forme centrale soit à débiter par un choix forcé dans une allée et par des choix libres pour les parcours restants. Le test de transfert consiste en un choix forcé non testé jusqu'alors (choix forcé bras 6). Les animaux montrent une flexibilité et une efficacité importante en choisissant ensuite le bras 18 puis le bras 1.

Nous avons donc testé dans cette expérience la capacité des pigeons à transférer une règle relative à la distance de chaque item au renforçateur à une nouvelle série d'items chromatiques.

## 2-Apprentissage de séries mixtes

Nous allons nous intéresser à ce que les animaux apprennent sur la position des items d'une série ordonnée. Rappelons que les pigeons ont de très bonnes performances aux sous-séquences incluant le premier et/ou le dernier item d'une liste apprise (ABCD) mais pour la sous-séquence interne (BC) ils répondent plus souvent sur le second item (C) plus proche du renforçateur (Straub et al., 1981). D'Amato (1991) a proposé que le pigeon apprenne une séquence de discriminations conditionnelles mais aussi apprenne à discriminer la distance relative de chaque item au renforcement. Terrace propose en revanche que le pigeon utilise des règles pour résoudre les sous-séquences. L'animal distinguerait deux items dans une série, le premier item car il débute toujours la série à produire (effet de primauté) et le dernier car toujours directement renforcé. Il placerait ensuite l'autre item par défaut (Terrace, 1993). Cependant, les pigeons apprennent bien à produire la séquence entière correctement. Afin de tester si les sujets ont acquis dans ce cas une information sur la position des items, ils sont soumis à des expériences de production de séries avec intrus, de discrimination de séries et d'appariement à des exemples successifs. Les expériences de production de séries avec intrus consistent à faire apprendre aux sujets une ou des listes comprenant des items d'une série précédemment apprise et de nouveaux items. Par exemple, suite à l'acquisition de la série ABC, les

sujets sont soumis à l'acquisition de séries comportant deux formes géométriques X et Y et un des items A, B ou C qui conservent ou non leur position de la série initiale : XBY, XYC, AXY, CXY.... Les résultats montrent un transfert positif lorsque l'item déjà connu conserve sa position (AXY, XBY) et un transfert négatif dans le cas contraire (Terrace, 1986a). Selon l'auteur, les résultats indiquent que les pigeons ont acquis une connaissance de la position des items de la liste ABC. De même, des pigeons entraînés d'abord à produire une série ABC, discriminent ensuite plus facilement celle-ci parmi d'autres séries formées des mêmes éléments mais présentées dans un ordre différent (ACB, BAC). Cette expérience plaide également en faveur de l'hypothèse d'une connaissance de la position ordinale de chaque item d'une série de trois (Roitblat, 1987 ; Terrace, 1986b). Par contre, l'acquisition de séries longues de 4 et 5 items avec un intrus révèle l'incapacité des pigeons à positionner cet intrus lorsque celui-ci remplace un élément intermédiaire de la série originale (item B ou C) (Terrace, Chen et Newman, 1995). Ce résultat indique que la capacité à positionner des items chez le pigeon est limitée à des séries courtes et résulte probablement de l'acquisition des règles concernant le premier et le dernier item de la série. Finalement, les tâches d'appariement retardé à des exemples présentés successivement montrent que les pigeons sont capables de résoudre cette tâche lorsque deux exemples sont utilisés. Dans le cas de 3 exemples présentés successivement, les animaux atteignent un niveau de performance de 75% de réponses correctes seulement s'ils ont été entraînés au préalable à l'acquisition de la série de trois items ABC. En l'absence de cette expérience préalable, les performances ne dépassent pas 10.3% de réponses correctes au cours des 90 séances d'entraînement (Terrace et al., 1996). Les auteurs proposent que l'apprentissage préalable d'une série de trois items permet aux sujets d'acquérir une connaissance des items de la liste mais aussi de leur position. Cette connaissance de la position permet alors d'expliquer la facilitation observée dans les tâches suscitées.

De la même manière, nous avons vu précédemment (chapitre I, p5) que les singes résolvent l'acquisition de séries de manière différente. D'Amato (1991) propose que cet animal acquiert une représentation linéaire de la série et qu'il exécute un balayage de cette représentation pour retrouver la représentation de l'item qu'il doit produire. Slamecka (1985) a montré, au contraire, que chez l'humain, une représentation associative suffisait à expliquer leurs capacités d'apprentissage sériel et n'impliquait pas la connaissance de la position ordinale des différents items. Afin de déterminer si les singes possèdent malgré tout cette capacité, ils sont soumis aux expériences de production de séries avec un ou deux intrus. Les animaux doivent produire les séquences de trois, quatre et cinq items

dans lesquelles un, puis deux items sont remplacés par des intrus (X puis X et Y). Selon l'hypothèse associative, le sujet devrait créer de nouvelles associations entre les items de la série et un intrus. Le développement de telles associations devrait être long sauf si l'intrus remplace le dernier élément. Or, les résultats montrent de bonnes performances avec l'intrus dans toutes les positions de la série sauf quand il remplace l'item B (AWCDE) (D'Amato et al., 1988). Avec deux intrus, les résultats devraient être en principe réfractaires à l'hypothèse associative lorsque les deux intrus occupent des positions adjacentes. Là encore, des performances élevées sont rapportées. Pris ensemble, ces résultats indiquent que les singes sont capables d'extraire des informations au regard de la position ordinale des items. La mise en évidence d'un effet de distance symbolique chez le singe confirme cette hypothèse. Ainsi, suite à l'acquisition de la série ABCDE, les singes présentent, face aux paires BC, BD et BE, une diminution du temps de latence au second item en fonction de la plus grande distance au premier item (effet de distance symbolique ; D'Amato, 1991).

Ainsi, pour des séries courtes chez le pigeon et des séries plus longues chez le singe, les résultats montrent la capacité de ces sujets à extraire une information sur la position des items. Nous avons testé cette hypothèse en créant deux séries recomposées à partir des items des séries apprises initialement (ABCD et A'B'C'D'). Afin d'avoir une base de comparaison adéquate et de nous assurer que les pigeons maîtrisent bien les deux séries originales, nous les avons soumis au préalable au rappel de celles-ci. Pour l'acquisition des séries recomposées, nous avons posé l'hypothèse suivante : Si les performances des pigeons lors de l'acquisition des séries recomposées sont supérieures à celles observées lors du rappel, alors cette amélioration traduira une connaissance de la position des items. L'analyse des choix des animaux permettra de préciser cette hypothèse.

## B) Humains

### 1-Apprentissage sériel simultané chez l'humain et généralisation à de nouvelles séries

Dans une deuxième partie de ce chapitre, nous avons soumis des sujets humains, dans des conditions expérimentales similaires à celles des pigeons, à l'acquisition successive de séries d'items abstraits. Ces expériences nous ont permis de postuler la capacité des sujets à apprendre les règles sous-jacentes à la construction de la série et à les appliquer lors de la production de nouvelles séries. Ces expériences sont proches de celles réalisées par Stromer et Mackay (1993) ou bien Green et collaborateurs (1991). Bien que le sujet de leur expériences n'étaient pas l'étude de production sérielle, les résultats montrent des améliorations des performances au cours des apprentissages de



séries. De plus, afin de mettre les humains dans les mêmes conditions d'apprentissage que les pigeons, nous n'avons fourni que de vagues consignes qui n'étaient pas relatives à la structure sérielle. Lee (1995) a mis en évidence l'effet des consignes sur le type de connaissance que les sujets peuvent acquérir lors d'une tâche. Outre la mesure indirecte de l'apprentissage grâce aux performances, nous avons établi une mesure directe par l'intermédiaire d'un questionnaire qui doit nous renseigner sur le traitement implicite ou explicite de l'information sérielle.

Ainsi, deux groupes de sujets ont été formés et soumis à ces expériences. Un groupe de sujets est entraîné avec différentes séries d'items chromatiques, un autre groupe avec des séries d'items divers. Ce second groupe va nous permettre de contrôler l'existence éventuelle d'une interférence lors de l'utilisation de plusieurs listes d'items de même nature (chromatique). Les sujets des deux groupes sont ensuite soumis à l'acquisition d'une quatrième série dont les items ressemblent à ceux de la première série apprise. Ces items diffèrent par une teinte plus fade mais l'ordre des items de la série reste inchangé par rapport à ceux de la première série. Nous postulons que la similitude entre les stimuli des deux listes devrait être un facteur positif pour l'apprentissage de cette dernière.

## 2-Test de position sérielle

Les sujets du groupe ayant acquis les séries chromatiques sont ensuite soumis à l'acquisition d'une nouvelle liste (série 5) qui contient un item de chacune des quatre listes précédemment apprises. La position de ces quatre items est identique à celle qu'ils occupaient dans leur liste respective (premier item de la série 1, deuxième item de la série 2...). Cette expérience doit nous permettre de vérifier si les sujets ont acquis une information sur la position des items et s'ils ont créé des classes de stimuli (Stromer et al., 1993 ; Maydack et al., 1995 ; Sigurdardottir et al., 1990).

### C) Etude comparée chez les deux espèces

Dans la littérature, peu de travaux ont porté sur une étude comparée des processus mentaux dans des tâches faisant intervenir des informations sérielles. Classiquement, il est difficile de tester des sujets humains dans des tâches consacrées à l'animal parce qu'elles sont considérées comme trop faciles. Wright et collaborateurs (1984) ont soumis des pigeons, des singes et des humains à une tâche de reconnaissance d'items provenant ou non d'une série présentée au préalable (serial probe recognition task). Les processus de mémoire des différentes espèces peuvent alors être directement comparés. Les résultats montrent, pour les trois espèces, les mêmes modifications des performances en fonction de la position de l'item-test dans la série initiale et du délai précédent la présentation de cet item-test. Lorsque ce délai est nul (0 seconde), les performances augmentent pour les items en fin de liste révélant un effet de récence. Pour des délais intermédiaires (1, 2 et 10 secondes pour les singes ; 1 et 2 secondes pour les pigeons ; 10, 20 et 30 secondes pour les humains), les résultats montrent un effet de primauté sur les premiers items de la liste et un effet de récence. Pour des délais plus longs (20 et 30 s. pour les singes, 6 et 10 s. pour les pigeons et 40s. pour les humains), l'effet de récence a disparu mais l'effet de primauté persiste. La forme en "U" de la courbe de position sérielle et les modifications de celle-ci en fonction du délai avant la présentation du test amènent les auteurs à proposer l'existence de traitements en mémoire similaires pour les trois espèces. Ces processus impliqueraient la comparaison de l'item-test avec la série mémorisée au moyen d'un balayage de celle-ci. Ce type d'expérience se révèle intéressant pour proposer de nouveaux modèles animaux dans l'étude des processus mnésiques chez l'humain.

Dans le cadre de l'apprentissage sériel simultané, nous avons rapporté jusqu'à présent une étude limitée à deux espèces : pigeons et singes. Nous avons déjà mentionné l'existence d'une différence fondamentale des processus utilisés pour ces deux espèces (D'Amato et al., 1988 ; D'Amato, 1991). Enfants et animaux ont été utilisés récemment pour tester leur capacités à apprendre et construire des séquences d'items (Terrace et MacGonicle, 1994). Le choix d'enfants dans ces expériences a permis aux auteurs d'éliminer toutes médiations linguistiques qui pourraient faciliter l'acquisition de ces tâches. Ils ont comparé les performances de pigeons, de singes et d'enfants à l'acquisition de séries. Les différences observées entre singes et pigeons ont été rapportées précédemment. Les résultats relatifs aux enfants montrent un effet de l'âge sur la rapidité à acquérir une liste de cinq items chromatiques. Après sept ans, les enfants utilisent des processus d'ordonnement qui ne sont pas mis en place avant. Ces auteurs concluent en la nature différente

des processus développés dans les trois espèces mais que les sujets vont, dans tous les cas, tenter de minimiser la charge mnésique en développant des représentations de plus en plus complexes de la séquence apprise.

Nous avons donc adapté le protocole de libre correction à l'acquisition de séries chez l'humain. Les sujets des deux espèces sont soumis pratiquement aux mêmes conditions expérimentales bien que plus complexes chez les sujets humains. Par rapport aux pigeons, ces derniers doivent apprendre des séries plus longues (4 items au lieu de 2 ou 3) et des listes plus nombreuses (3 listes au lieu de 2). L'intérêt d'utiliser des conditions expérimentales très proches est donc de pouvoir comparer et discuter les processus d'apprentissage sériel chez les deux espèces. Une des limitations de cette étude porte sur la nature "naïve" de nos sujets. Bien que l'on puisse dire qu'un pigeon est naïf à produire une série d'items abstraits, il est impossible de l'affirmer chez l'humain qui apprend des séquences depuis son plus jeune âge. Ainsi, a-t-il pu développer des aptitudes particulières à traiter ce type de problème. Chez l'humain, le langage apporte un système symbolique qui lui permet de coder les éléments d'une série. Cependant, chez l'enfant avant l'acquisition du langage et chez l'animal, la question de la nature des processus non verbaux reste entièrement ouverte (Terrace, 1993).

## 2- Résultats

### 1. Généralisation et tests de position sérielle chez le pigeon

#### a) Matériel et Méthode

L'ensemble du matériel utilisé pour ces expériences est identique à celui des expériences du premier chapitre. Nous ne développerons ici que les particularités du protocole.

#### Généralisation à une nouvelle liste

Suite à l'acquisition d'une série de deux, puis trois items, les pigeons sont soumis par phases successives, à l'acquisition d'une nouvelle série. Les items sont des plages colorées mais différentes de celles utilisées pour la première série (Blanc, Mauve, Bleu foncé et Jaune clair, codées A'B'C'D'). Le passage d'une phase à la suivante est effectif après la production du critère de cinq séquences correctes consécutives et renforcées. Quatre sujets ont été soumis à l'acquisition de la nouvelle série de deux items et trois sujets à celle de la série de trois items.

Avant de soumettre les sujets aux expériences de test de position sérielle, ils ont été soumis de la nouvelle série (A'B' n=4 et A'B'C' n=2) puis au rappel de la première série (AB n=4 et ABC n=2). Lors du rappel, les oiseaux devaient produire cinq fois consécutivement la séquence correcte lors de trois séances consécutives. L'expérience de rappel et la modification du critère d'apprentissage devaient assurer la maîtrise de la tâche.

#### Tests de position sérielle

Afin d'étudier si les pigeons utilisent des informations relatives à la position de chaque item dans la séquence, des séries recomposées sont mises au point. Les sujets sont confrontés successivement à deux ensembles de quatre items, AB'CD' et A'BC'D, dont deux items proviennent de la première série d'items présentée (ABCD) et deux de la seconde (A'B'C'D'). Les animaux soumis à l'acquisition de séries recomposées de deux items doivent produire successivement les séries B'A et BA'. Pour les séries recomposées de trois items, les séquences correctes à produire sont respectivement CB'A puis C'AB'. Pour toutes ces expériences, les oiseaux doivent produire le critère d'apprentissage lors de trois séances consécutives.

b) Résultats

1) Généralisation à une nouvelle liste de deux items et apprentissage de listes recomposées

Nous étudierons plusieurs variables mesurées lors de l'acquisition d'une première liste et nous les comparerons aux résultats obtenus lors de l'acquisition de la nouvelle liste. Nous analyserons ensuite le rappel des deux tâches initiales afin de vérifier la maîtrise correcte de ces tâches. Finalement, nous comparerons les performances des sujets lors de l'acquisition des séries recomposées à celles observées lors du rappel des séries initiales.

Tâche	séances	essais	réponses	réponses /essai	erreurs /essai	Répétitions /essai
Acquisition 1	6,75 (0.85)	127,50 (11.98)	1403,50 (266.83)	13,91 (1.89)	3,07 (0.42)	8,84 (1.52)
Acquisition 2	4,25 (0.94)	177,25 (30.19)	1543,00 (334.51)	12,46 (1.39)	7,50 (0.79)*	4,95 (0.64)
Rappel Acq. 2	1.25 (0.25)	57,25 (20,46)	290 (102,45)	5,04 (0,45)	3,35 (0,13)	1,68 (0,35)
Rappel Acq. 1	2.75 (0.47)	141,00 (51,75)	532,00 (187,50)	4,99 (1,41)	3,82 (1,06)	1,17 (0,34)
Série recomposée1	1.00 (0)	33,75 (8,72)	156,00 (39,33)	4,64 (0,29)	3,65 (0,19)	1,00 (0,17)
Série recomposée2	1.25 (0.25)	52,00 (27,36)	331,75 (130,65)	6,79 (1,70)	4,56 (0,88)	2,23 (0,84)

Tableau II.1.1. Synthèse des performances (moyenne et erreur-type) au cours des différentes tâches de production de séries de deux items.

Tout d'abord, analysons les performances globales résumées dans le tableau II.1.1. Les animaux atteignent le critère d'apprentissage de la deuxième série en moins de séances que celui de la première série (4.25 pour 6.75, ns). Ils produisent moitié moins de répétitions par essai et parallèlement le nombre de choix de couleurs augmente ( $t_3=9.19$ ,  $p<0.0026$ ).

La comparaison des performances des sujets entre l'acquisition de la première série et son rappel révèle une diminution significative du nombre de séances au critère ( $t_3=6.75$ ,  $p<0.007$ ), du nombre moyen de réponses par essai ( $t_3=5.15$ ,  $p<0.014$ ) et du nombre moyen de répétitions ( $t_3=5.14$ ,  $p<0.014$ ). Les oiseaux nécessitent environ cinq fois moins de réponses pour réatteindre le critère ( $t_3=5.16$ ,  $p<0.014$ ). Entre l'acquisition de la deuxième série et son rappel, on retrouve une diminution significative du nombre de réponses au critère et du nombre moyen de répétitions par essai (respectivement  $t_3=3.84$ ,  $p<0.031$  et  $t_3=3.89$ ,  $p<0.03$ ). La comparaison des séries recomposées avec les séries de rappel ne révèle aucune différence significative.

L'analyse de la production des couleurs va nous permettre d'approfondir l'analyse de ces comparaisons. Nous avons analysé d'une part la production globale des couleurs (tableau II.1.2.) et d'autre part la production des choix et des répétitions des couleurs (figure II.1.1.). Les résultats de l'ensemble de ces comparaisons statistiques sont résumés dans le tableau II.1.3.).

Tâche	A	B	C	D
Acquisition 1	54,88 (5.52)	27,42 (4.40)	5,70 (0.69)	12,00 (2.70)
Acquisition 2	50,22 (2.99)	24,35 (3.78)	15,79 (2.76)*	9,63 (3.27)
Rappel Acq. 2	53,91 (5.09)	34,13 (3.65)	8,65 (3.25)	3,31 (1.83)
Rappel Acq. 1	54,02 (1.35)	42,11 (1.83)	2,18 (0.78)	1,70 (0.40)
Série recomposée1	26,47 (5.68)	58,09 (10.57)	3,74 (1.71)	11,70 (4.96)
Série recomposée2	49,49 (7.0)	35,50 (7.55)	5,42 (1.79)	9,59 (1.78)

Tableau II.1.2. Taux moyen de production (moyenne et erreur-type) des différents items pour chaque tâche.

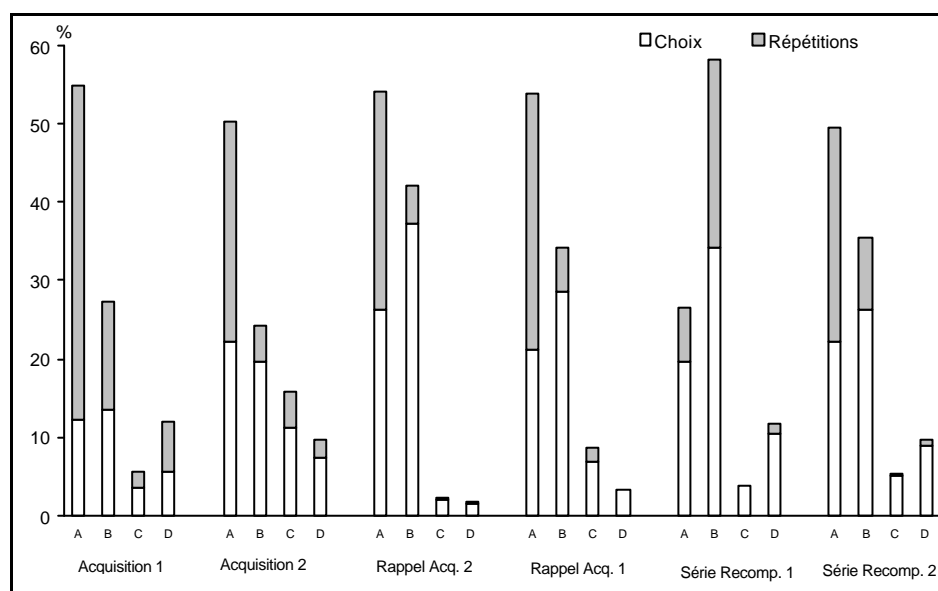


Figure II.1.1. Taux moyen de production des choix des couleurs et des répétitions des différents items pour chaque tâche.

La comparaison, lors de chaque tâche, des taux de production globale des différentes couleurs a été réalisée au moyen de tests de student pour séries non appariées (tableau II.1.3.). Globalement, l'acquisition des deux premières séries ainsi que leur rappel sont caractérisés par la production différentielle des items pertinents comparés aux items non pertinents. L'item directement renforcé, A, est produit significativement plus souvent que les autres. Notons toutefois que lors de l'acquisition de la deuxième série, les animaux semblent ne pas avoir discriminé aussi bien l'item C que l'item D au vu d'une production significativement supérieure du premier. Lors de l'acquisition des

séries recomposées, le profil de production est modifié avec soit une production majoritaire du premier item, B, pour la première série recomposée, soit une production comparable des deux items pertinents pour la seconde série recomposée.

Lors de l'apprentissage des deux premières séries, la production majoritaire de l'item directement renforcé s'explique par le fait que les répétitions sont d'avantage focalisées sur cet item.. L'analyse des choix de couleurs confirme la distinction entre les couleurs pertinentes et les couleurs non pertinentes. Lors du rappel, le taux des choix devient significativement supérieur pour le premier item de la série, B, alors que les répétitions restent prédominantes sur le second item, A. Lors de l'acquisition de la première série recomposée, les animaux choisissent et répètent plus souvent le premier item de la liste, B. Pour cette série, le taux de production du second item chute au point de devenir statistiquement comparable aux taux des deux items non pertinents. Cette évolution ne se maintient pas lors de l'acquisition de la deuxième série recomposée pour laquelle on ne trouve plus la distinction entre les items pertinents. De plus, les répétitions dans cette série portent à nouveau plus fréquemment sur l'item directement renforcé, A. Globalement, ce profil de production est intermédiaire entre celui de l'acquisition et du rappel des séries initiales d'une part, et celui de la première série recomposée d'autre part.

Tâche	Production Globale	Choix de couleurs	Répétitions
Acquisition 1	A>>B>C=D	A=B>>>C=D	A>>B=D>C
Acquisition 2	A>>>B=C>D	B=C=D, A=B, A>>CD	A>>>B=C=D
Rappel Acq. 2	A>B>>>C=D	B>A>>C=D	A>>B>>C=D
Rappel Acq. 1	A>>>B>C=D	B>>A>>>C=D	A>>>B>>C=D
Recomposée1	B>A=D=C	B>A=C=D	A=B=D
Recomposée2	A=B>>>C=D	A=B>>>C=D	A>B>C=D

Tableau II.1.3. Résultats des comparaisons des taux moyen de production des couleurs dans chaque tâche (seuils de significativité > : p< 0.05 ; >> : p< 0.01 ; >>> : p< 0.001).

Des tests de student pour séries appariées nous ont permis de comparer les taux de production de chaque couleur entre les tâches (tableau II.1.4.). Le taux des répétitions sur le second item, A, diminue significativement entre l'acquisition de la première série et de la seconde au profit d'une augmentation significative des choix sur les items pertinents. Lorsque l'on compare l'acquisition de chacune de ces deux séries avec son rappel, il en ressort une augmentation significative du taux des choix du premier item, B, ainsi qu'une diminution de la production des items non pertinents. Au

vu de l'absence de différences significatives entre les séries de rappel, nous avons moyennés les résultats pour comparer ce taux de production moyen à ceux des séries recomposées. Pour la première série recomposée, le taux de production du second item, A, diminue grâce à une diminution des répétitions sur cet item alors qu'il ne diffère pas statistiquement du taux du premier item dans la seconde série recomposée.

Tâche	Production	Choix de couleurs	Répétitions
Acq. 1 (1) vs Acq. 2 (2)	C2>C1	A2>A1 ; B2>B1 ;	A2<A1
Acq. 1 (1) vs Rappel Acq. 1 (4)	D4<<D1	A4>>A1 ; B4>B1	D4<D1 ;
Acq. 2 (2) vs Rappel Acq. 2 (3)	B3>B2 ;	B3>B2 ; C3<C2	C3<C2
Rappel Acq 1 (4) vs Rappel Acq. 2	∅	A4>>A3	∅
Recomp 1 (5) vs Rappel moyen (7)	A7>>A5	∅	A7>>A5
Recomp 2 (6) vs Rappel moyen (7)	D6>D7	D6>D7	∅

Tableau II.1.4. Résultats des comparaisons des taux moyens des couleurs entre les tâches (seuils de significativité > : p< 0.05 ; >> : p< 0.01 ; >>> : p< 0.001).

Un dernier élément à prendre en compte dans cette analyse est le taux des essais débutant par l'une ou l'autre des couleurs (figure II.1.2.). Cette analyse va nous renseigner sur l'évolution de l'effet de récence mis en évidence dans la première partie de ce manuscrit. L'analyse des résultats (tableau II.1.5) révèle un effet de récence pour l'acquisition des deux séries initiales et le rappel de la deuxième série. Cette préférence pour l'item directement renforcé, A, disparaît lors de l'épreuve de rappel de la première série et lors de l'acquisition des séries recomposées. La figure II.1.2. montre qu'en fait, le taux des essais débutant par le premier item de la liste, B, augmente progressivement à travers les épreuves pour se stabiliser lors de l'acquisition des séries recomposées.

Tâche	Production Globale
Acquisition 1	A>>B>C=D
Acquisition 2	A>>B=C=D
Rappel Acq. 2	A>>>B>>C=D
Rappel Acq. 1	A=B>>>C=D
Recomposée1	A=B>>>C=D
Recomposée2	A=B>>C=D

Tableau II.1.5. Résultats des comparaisons des taux moyen de production des couleurs en première réponse dans chaque tâche (seuils de significativité > : p< 0.05 ; >> : p< 0.01 ; >>> : p< 0.001).



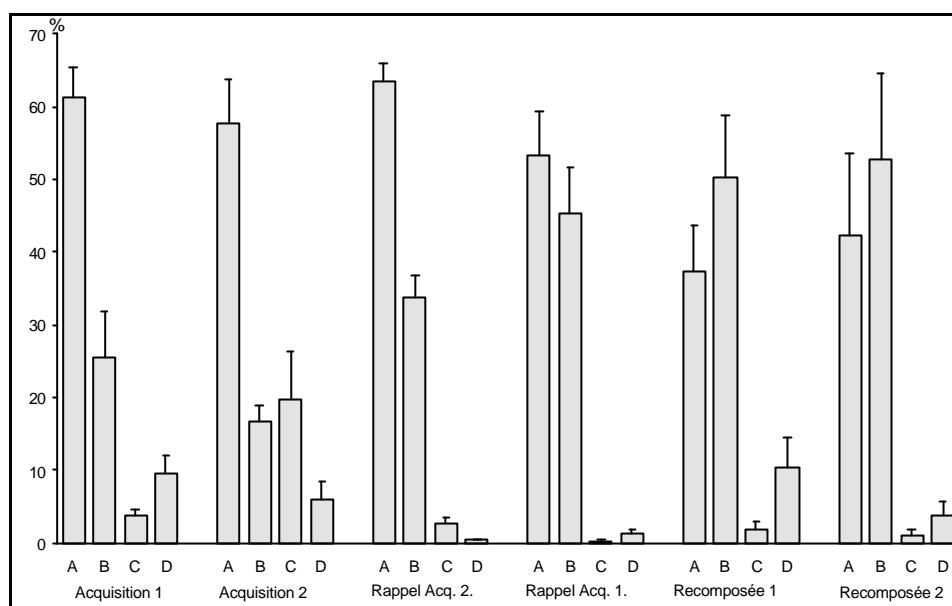


Figure II.1.2. Taux de production de chaque item en première réponse de chaque essai et pour chaque tâche.

## Discussion

Nous allons seulement résumer ici les résultats essentiels de ces expériences, pour en discuter ensuite avec ceux obtenus avec les expériences portant sur les séries de trois items. Les résultats obtenus avec des séries de deux items montrent que les sujets soumis à l'acquisition d'une deuxième liste produisent moins de répétitions et davantage de choix par essai. Malgré cette amélioration des performances, les sujets continuent à produire préférentiellement le second item de la liste, A directement renforcé. De plus un effet de récence d'ampleur comparable s'observe pour les deux acquisitions. En résumé, l'animal soumis à l'acquisition d'une nouvelle liste de stimuli dans les mêmes conditions expérimentales va améliorer ses performances 1) en réduisant le taux des réponses inefficaces (répétitions), et 2) en augmentant le taux des choix des couleurs pertinentes. Même si la probabilité de produire la séquence correcte s'accroît, l'apprentissage d'une nouvelle série n'est pas accéléré significativement.

Lorsque les pigeons sont soumis au rappel successif de deux séries précédemment acquises, ils améliorent leurs performances en diminuant le nombre moyen de réponses et de répétitions par essai. De plus, une préférence pour le premier item de la liste, B, apparaît pour le rappel de la première liste au travers de l'augmentation de son taux de production global et du taux des essais débutant par cet item. L'effet de récence disparaît ainsi lors du rappel de la première série. Ces résultats montrent que les oiseaux ont bien appris les deux premières séries.

L'étude de l'apprentissage des séries recomposées reste un peu plus complexe à interpréter. La comparaison des performances, exprimées par le nombre de séances et de réponses au critère, de ces apprentissages avec celles des tâches de rappel ne révèle pas d'amélioration. Ce résultat, qui est contraire à nos attentes, pourrait en partie refléter pour ces variables, l'atteinte d'une limite (effet plafond). Ainsi, les sujets réalisent le rappel de la première série en 1.25 séances et ne peuvent alors plus guère améliorer leurs performances. L'analyse du type de réponse produite révèle cependant quelques différences avec les expériences de rappel mais aussi entre les deux acquisitions de séries recomposées elles-mêmes. La première série recomposée est caractérisée par une orientation des choix vers le premier item de la liste, B, et une diminution significative du taux de production du second item, A. Le profil de la seconde série indique également, bien qu'à un moindre degré, une amélioration des réponses instrumentales. Les animaux ne focalisent plus sur l'item qui est directement renforcé mais ils vont produire plus souvent l'item à placer en première réponse de la série à produire.

## 2) Généralisation à une nouvelle liste de trois items et apprentissage de listes recomposées

Seuls deux sujets ont participé à l'ensemble de ces expériences, un troisième a été éliminé après l'acquisition de la deuxième série puisqu'il a cessé de travailler. L'analyse statistique des résultats s'est alors avérée non pertinente et nous nous limiterons donc à une analyse descriptive.

La figure II.1.3. montre l'évolution individuelle du nombre de réponses et d'essais au critère pour chaque tâche. Globalement, une diminution plus marquée de ces deux variables est observée pour l'animal J2. Lors du rappel des deux premières séries, les deux sujets nécessitent moins d'essais et de réponses au critère. Lors de l'acquisition des séries recomposées, ces deux variables augmentent légèrement tout en restant inférieures aux valeurs observées pour l'acquisition.

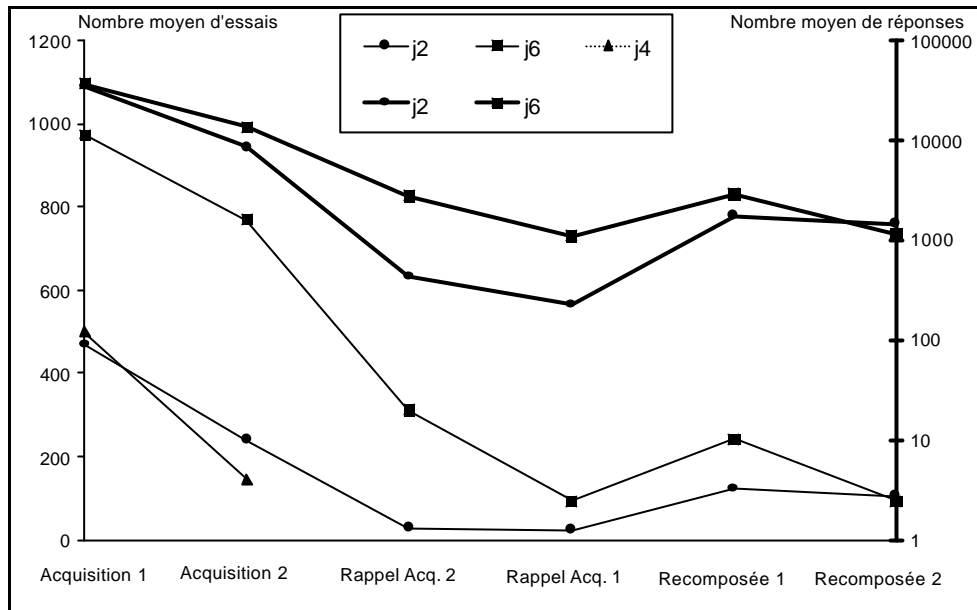


Figure II.1.3. Evolution du nombre moyen de réponses (échelle logarithmique à droite) et du nombre moyen d'essais (échelle de gauche) avec 3 sujets pour les acquisitions initiales et deux sujets pour les expériences de rappel et d'acquisition de séries recomposées.

L'analyse des variables de performance globale (nombre moyen de réponses, d'erreurs et de répétitions par essai) révèle une diminution de celles-ci aux cours des différentes expériences (figure II.1.4.). Le nombre de réponses par essai est divisé par un facteur 4 entre l'acquisition initiale et le rappel des séries. Les variables restent stables ensuite lors de l'acquisition des séries recomposées. De la même manière, les nombres d'erreurs et de répétitions par essai diminuent d'environ trente à respectivement 5.2 et 4.

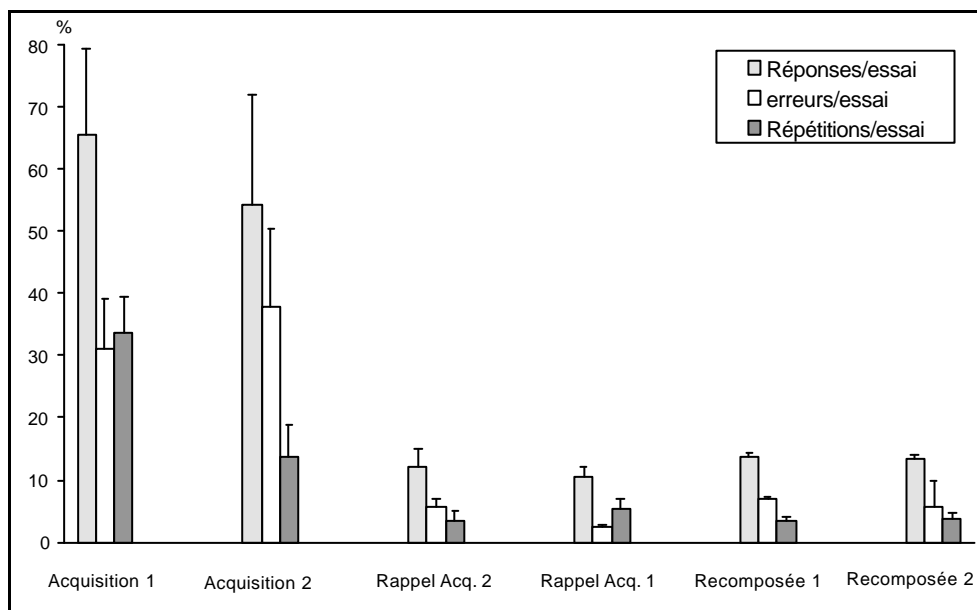


Figure II.1.4. Nombre moyen par essai de réponses, d'erreurs et de répétitions pour chaque tâche avec des séries de 3 items.

Pour ces expériences avec des séries de trois items (figure II.1.5.), nous pouvons noter que les sujets produisent l'item non pertinent, D, à un taux inférieur à 4% sauf pour l'acquisition de la deuxième série. Le taux du nouvel item pertinent, C, représente environ 15% de la production totale des items lors de l'acquisition des séries initiales et entre 25% et 30% à partir de leur rappel. Tout comme pour les expériences avec les séries de deux items, les répétitions ne portent plus préférentiellement sur l'item directement renforcé A. Finalement, la production décroissante depuis le dernier item de la série jusqu'au premier, également mise en évidence dans les expériences avec trois items dans la première partie du manuscrit, disparaît suite à l'acquisition des séries initiales.

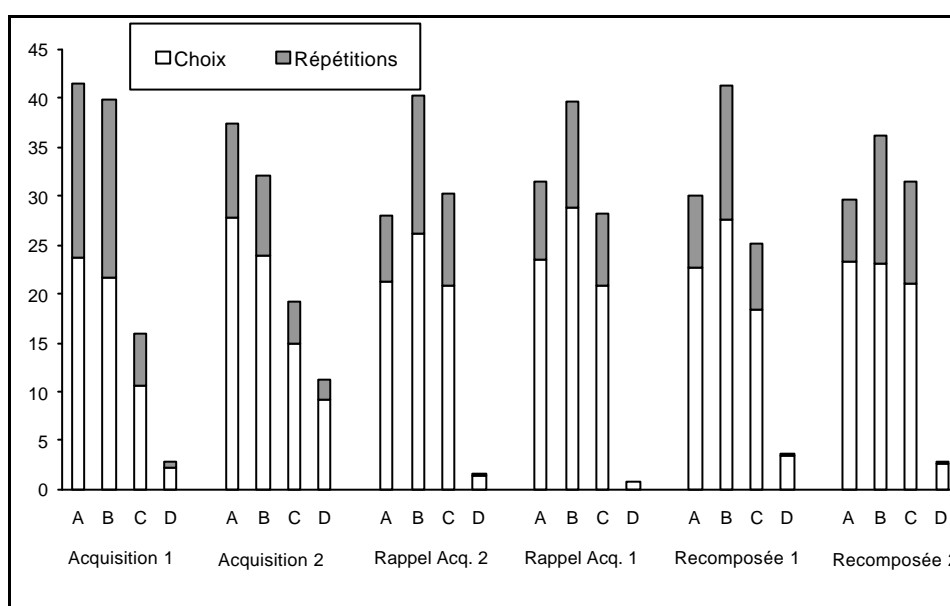


Figure II.1.5. Production moyenne des items en termes de choix et de répétitions pour chaque tâche avec des séries de 3 items.

Dans les expériences d'acquisition de séries de trois items (Chapitre 1), nous avons, d'autre part, mis en évidence une diminution voire une disparition de l'effet de récence. La figure II.1.6. illustrant les taux de production des différents items en première réponse des essais, ne révèle d'effet de récence pour aucune tâche. Le pigeon J2 débute préférentiellement les essais avec une réponse sur le premier item de la liste, C, dès l'acquisition de la deuxième série. Ce phénomène est moins marqué pour J6 qui débute préférentiellement par le premier item, C, lors des tâches de rappel et d'acquisition de la deuxième série recomposée et par le second item, B, lors des autres tâches.

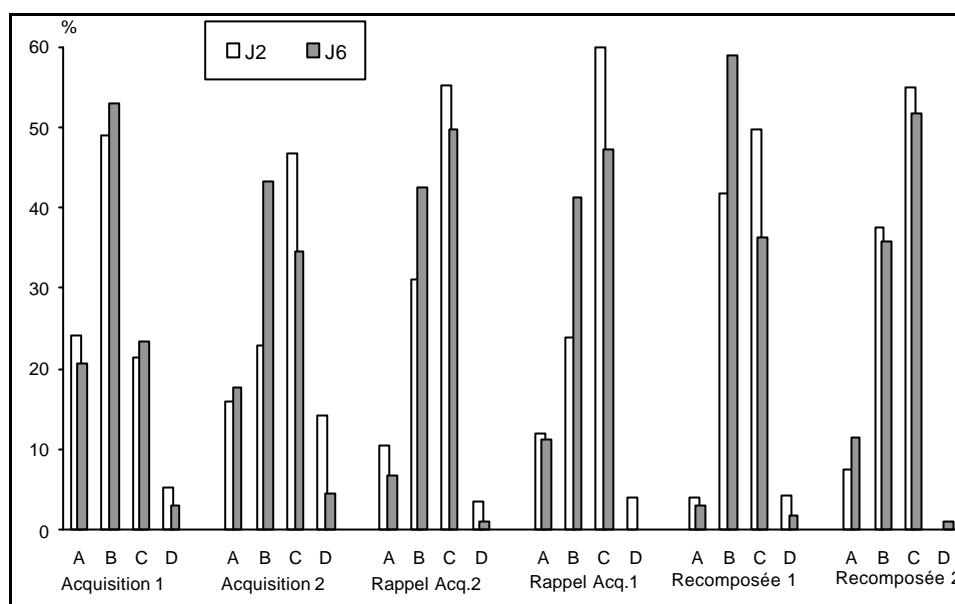


Figure II.1.6. Taux moyen individuel de chaque item en première réponse débutant les essais.

### c) Discussion

En résumé, l'ensemble des résultats relatifs aux séries de deux et trois items révèle la capacité des pigeons à généraliser à de nouvelles séries. Nos résultats concordent avec ceux obtenus dans d'autres apprentissages sériels (Hulse et Dorsky, 1979) chez le rat et (Terrace, 1986a ; Terrace et al., 1995, 1996) chez le pigeon, bien que, contrairement à Terrace (1986a), nous n'ayons pas constaté un nombre d'essais au critère plus important pour des pigeons soumis à l'acquisition d'une nouvelle liste de deux et de trois items. Lors du rappel de séries ainsi que lors de l'acquisition de séries recomposées, les animaux témoignent de très bonnes performances. Ils produisent moins de réponses inefficaces (items non pertinents et répétitions) et augmentent la probabilité de produire une séquence correcte par l'augmentation de la production du premier item de la série au dépend du dernier entraînant une disparition de l'effet de récence. Ces résultats peuvent être interprétés comme des indices de l'apprentissage de l'identité et de la position ordinale des items de la série. Ils concordent avec ceux des expériences de production de séries avec intrus (Terrace, 1986a ; Terrace et al., 1995), de discriminations de séries facilitées par l'acquisition préalable d'une série de trois items (Roitblat, 1987 ; Terrace, 1986b) ou bien d'appariements retardés à l'exemple (Terrace et al., 1996).

Ainsi, dans certaines situations expérimentales du moins, les pigeons acquièrent une connaissance de l'identité et de la position ordinale des items d'une série. Cette conclusion soulève alors la question du processus mental nécessaire au développement et à l'utilisation d'une telle

connaissance.

Terrace et collaborateurs ont montré que l'hypothèse classique du chaînage successif des stimuli ne peut rendre compte de leurs résultats expérimentaux (Terrace et al., 1981 ; Terrace, 1987). Ils ont proposé que, pour produire une séquence de deux ou trois items ou bien pour répondre à des sous-séquences de deux ou trois items, les pigeons utilisent des règles. Pour une série de deux items AB, les pigeons produiraient le premier item, A, saillant en vertu de sa primauté puis le second, B, par défaut. Avec l'ajout d'un nouvel item, C, en fin de liste, une nouvelle règle doit s'appliquer de sorte à produire cet item en dernier car saillant par sa proximité au renforçateur et la production de l'item B se fait alors par défaut. Or, l'utilisation d'items de distraction dans notre protocole de libre correction limite les contraintes de choix et élimine toute réponse par défaut. De plus, la présentation simultanée des quatre stimuli à chaque phase empêche le premier item de la série de devenir saillant.

Hulse et collaborateurs proposent chez le rat, l'utilisation d'une règle prenant en compte la valeur respective de chaque item. Cette règle est du type "plus grand que" ou "plus petit que" selon le type de parcours (Hulse et al., 1975 ; Hulse, 1978). Cette règle pourraient rendre compte en partie de la production de séries dans notre protocole. Nous avons postulé que l'attribution et le transfert de valeur (Fersen et al., 1991) ont permis d'expliquer la distinction faite entre les items pertinents et les non-pertinents ainsi que le taux de production décroissant des items avec leur éloignement au renforçateur. Nous pourrions tout aussi bien interpréter ce dernier résultat à la manière de Hulse en proposant que les pigeons ont acquis une règle selon laquelle ils produisent les items depuis celui qui a la plus faible valeur vers celui qui possède la plus forte. Nos résultats expérimentaux révèlent que, lors de la production du critère, le profil de production des items pertinents se modifie et l'effet de récence disparaît. Nous pourrions postuler que les oiseaux inverse dans ce second processus la règle apprise. Mais, l'utilisation de cette règle n'implique pas de connaître la position des items dans la série. Or, nous avons montré que les pigeons, au critère, produisaient les items non pas en fonction seulement de l'élément qui précède mais des deux éléments qui le précèdent.

Au vu des arguments qui vont à l'encontre de l'utilisation de règles pour produire une séquence ordonnée dans cette situation de libre correction, il est difficile de ne pas considérer le développement, au cours de l'apprentissage, d'une représentation mentale de la série. C'est à partir de cette représentation que les animaux acquièrent une connaissance de l'identité et de la position des items mise en évidence par les expériences présentées dans le chapitre II. Ainsi, pour produire

une série de trois items, l'animal doit connaître le premier item de la série. Ensuite, à partir de la représentation, il sélectionne le second et ne le produit qu'à la suite du premier. Puis, il choisit le troisième et le produit seulement si les deux précédents ont été produits. Cette interprétation est confortée par les résultats des analyses de chaîne de Markov qui ont montré que les oiseaux produisaient une réponse en fonction de la ou des réponses qui la précédaient. Ce que nous avons appelé liens conditionnels et testé dans le modèle de choix conditionné revient en fait à ce processus de balayage de la série déjà mis en évidence chez le singe (Terrace et al., 1995).

Nous nous devons de nuancer ces interprétations. En effet, le type de protocole, utilisé dans la production de série, peut influencer le type de processus utilisé par les sujets pour résoudre la tâche (De Lillo, 1996). En effet, il nous est difficile d'expliquer nos résultats avec l'utilisation de règles proposée par Terrace (1987) à partir d'un protocole dans lequel, à chaque phase, seuls les stimuli à apprendre sont présentés. De manière similaire, D'Amato et Colombo (1990) soumettent des singes à l'acquisition par phase d'une série (A, AB, ABC...) puis à l'acquisition d'une série à partir de la présentations de paires d'items adjacents (AB, BC, CD, DE). Les auteurs montrent que les singes peuvent développer des représentations plus sophistiquées dans des situations où ils doivent trouver les relations qui existent entre les éléments d'une série. Lorsqu'ils sont soumis à l'apprentissage par phases, ils n'utilisent pas de tel processus. Aussi, nous n'extrapolerons pas nos interprétations à d'autres situations expérimentales.

## 2. Apprentissage , généralisation et test de position sérielle chez l'humain

### a) Matériel et méthode

#### 1) Sujets

26 étudiants volontaires femmes et hommes, âgés entre 20 et 30 ans ont été recrutés par contact personnel. Ils ont été répartis en deux groupes désignés Divers et Chromatique.

## 2) Matériel

Le dispositif est constitué d'un ordinateur compatible IBM PC pentium 166 Mhz. Un logiciel "Bird" a été développé par Jérôme Vaysse dans le cadre d'un Diplôme Universitaire de Recherche de l'Université Paul Sabatier (en préparation). Ce logiciel permet la mise au point des différents protocoles expérimentaux et l'affichage pseudo-aléatoire de plusieurs stimuli sur l'écran. Il permet également l'enregistrement des réponses des sujets correspondant à un "click" de la souris sur les différents stimuli. Ce logiciel a permis de pallier à plusieurs limitations imposées par le logiciel "Lazer" utilisé pour les expériences chez le pigeon. En effet, un seul écran suffit pour programmer les différents protocoles et assurer le déroulement de l'expérience. Le nombre de stimuli géré par le logiciel peut varier entre 1 et 25. Ces stimuli peuvent être affichés selon un mode pseudo-aléatoire dans lequel la configuration affichée change à chaque essai ou bien reste en mode fixe. Les réponses des sujets peuvent se faire soit au moyen d'une pression sur le bouton de la souris soit d'une pression sur un écran tactile.

Tous les stimuli présentés ont les mêmes dimensions, à savoir une plage carrée de 3 cm d'arête. Ces stimuli sont classés en trois familles :

- *Stimuli chromatiques* : une palette de seize couleurs a été utilisée.
- *Barres parallèles* : Deux barres noires de 3 mm d'épaisseur et espacées l'une de l'autre de 4 mm sont centrées dans des carrés blancs. Elles peuvent être orientées de manière verticale, horizontale ou diagonale (gauche ou droite).
- *Formes géométriques* : un carré, un triangle, un cercle et un losange, tous noir, et présentés sur fond jaune.

## 3) Méthode

### a) Familiarisation et consignes

Afin de familiariser le sujet avec le dispositif expérimental et la procédure, un test est réalisé. Il s'agit de la présentation d'un stimulus neutre sur l'écran et les consignes minimales suivantes sont données au sujet :

" C'est un jeu. Nous allons d'abord faire un essai pour vous montrer comment faire. Si le



principe est compris, nous commencerons alors l'expérience. Des carrés de couleurs vont apparaître sur l'écran. Il s'agit de cliquer dessus à l'aide de la souris jusqu'à ce qu'ils s'éteignent. Après quelques secondes ils réapparaîtront, il faut à nouveau cliquer dessus jusqu'à leur extinction. L'expérience se termine lorsque l'écran devient uniformément gris."

L'absence de consignes précises concernant l'apprentissage devrait permettre de placer les sujets humains dans des conditions expérimentales proches de celles utilisées chez le pigeon. Nous allons voir que le déroulement de l'apprentissage sériel a été conçu dans le même but.

### b) Apprentissage sériel

Les expériences consistent en l'apprentissage successif de quatre séries pour le groupe désigné Divers et cinq séries pour celui désigné Chromatique. L'apprentissage pour les deux groupes de sujets se déroule sur trois jours. Les stimuli qui constituent les différentes séries à apprendre sont illustrés dans le tableau II.2.1. Le premier jour, les deux groupes sont soumis à l'acquisition de la série 1. Les séries 2 et 3 seront acquises le deuxième jour à dix minutes d'intervalle. Durant le troisième jour, les sujets des groupes Divers et Chromatique acquièrent respectivement la série 4 et les séries 4 et 5.

		Groupe Chromatique				Groupe Divers			
		A	B	C	D	A	B	C	D
Jour 1	Série 1	Rouge	Vert	Bleu	Jaune	Rouge	Vert	Bleu	Jaune
Jour 2	Série 2	Blanc	Gris clair	Noir	Gris foncé	==	//	\\	
	Série 3	Violet	Bleu roi	Mauve	Bleu turquoise	○		△	◇
Jour 3	Série 4	Rouge f	Vert f	Bleu f	Jaune f	Rouge f	Vert f	Bleu f	Jaune f
	Série 5	Rouge	Gris clair	Mauve	Jaune f				

Tableau II.2.1. Chronologie des différentes phases expérimentales pour les deux groupes de sujets. La lettre f code pour une teinte fade.

Notons que la série 1 est identique dans les deux groupes. La série 4, identique dans les deux groupes, rappelle la série 1 car elle est constituée des mêmes items mais dans une teinte plus fade. Pour terminer, La série 5 du groupe chromatique est constituée par le premier item de la série 1, le second item de la série 2, le troisième de la série 3 et finalement le dernier item de la série 4.

Chaque expérience se déroule lors d'une seule séance dont la durée maximale est limitée à 45 minutes. A chaque essai de chaque phase, une configuration de quatre stimuli apparaît ; elle varie

au cours des essais de manière pseudo-aléatoire de telle sorte qu'une même configuration ne peut pas apparaître plus de deux fois consécutivement (Gellerman, 1933). Chaque click de la souris sur les stimuli est enregistré comme une réponse. L'acquisition d'une série ordonnée de 4 stimuli se fait par phases successives. La réponse correcte lors de la première phase consiste à cliquer sur l'item A, lors de la deuxième phase sur les items A puis B et ainsi de suite jusqu'à l'obtention de la série ABCD. Le critère d'apprentissage permettant le passage d'une phase à l'autre est identique à celui des expériences chez le pigeon, c'est à dire produire cinq essais corrects consécutifs. Après une réponse correcte seulement, un intervalle inter-essai de trois secondes débute par l'effacement des stimuli, l'écran devient uniformément crème et un compteur apparaît au centre de l'écran. Il est alors incrémenté d'un point. L'acquisition de points correspond au renforcement positif. Les réponses répétées sur un même stimulus ne sont pas considérées comme des erreurs. Les répétitions et les erreurs de choix dans l'ordonnement des stimuli n'ont pas de conséquences sur le déroulement de l'essai. L'acquisition de séries se fait donc selon la procédure de libre correction.

Une fois la ou les séries acquises, deux questions sont posées au sujet : "Pouvez-vous nous dire quelle était la règle du jeu ?". Le sujet a été ensuite incité à verbaliser un maximum d'éléments sur l'apprentissage. Ce questionnaire a pour but de vérifier si les sujets sont capables de verbaliser la tâche qui leur était demandée, s'ils ont pu extraire les règles sous-jacentes à la production des différentes phases (produire un item 5 fois puis deux items, le deuxième étant ajouté à la fin du premier.....) et s'ils ont acquis une connaissance de la position ordinale des items.

Au cours de l'apprentissage de chaque série, Toutes les réponses et leur latence ( en 1/100<sup>e</sup> de seconde) sont enregistrée pour chaque sujet. Les fréquences de réponses sont traitées pour la plupart au moyen d'analyses de la variance (ANOVAs) à deux ou trois facteurs avec ou sans facteur répété. Pour analyser les latences, nous avons aussi comparé la latence des sujets pour produire une transition donnée telle que entre A et B à une latence moyenne de toutes les transitions débutant par le même item A (AA, AB, AC, AD). Cette analyse nous permet d'évaluer si les sujets produisent plus ou moins vite certains types de transitions, notamment les transitions correctes.

## b) Résultats

Afin d'étudier l'effet de l'apprentissage successif de listes, nous avons, dans un premier temps, analysé les réponses des sujets lors de l'acquisition des séries 1 à 3. Les séries 4 et 5 seront traitées ultérieurement. L'étude de ces dernières devrait nous permettre de répondre plus particulièrement à la capacité de créer des classes de stimuli et d'acquérir une connaissance sur la position ordinale des items. Toutefois, pour des facilités de présentation et de comparaison, les tableaux et les figures illustrent à chaque fois les données obtenues au cours de l'apprentissage des cinq séries. Notons aussi que les données relatives à la première phase d'apprentissage (cliquer sur l'item A parmi les items ABC et D) ne seront pas présentées ici.

Nous avons d'abord déterminé si les sujets améliorent leurs performances lors de l'apprentissage successif de trois listes à partir de l'analyse des nombres d'essais, de transitions, de répétitions et d'erreurs pour atteindre le critère d'acquisition. Le tableau II.2.2. synthétise ces données pour chaque phase d'apprentissage, chaque liste et pour les groupes Divers et Chromatique.

Paramètres	Liste	Groupe Divers			Groupe Chromatique		
		Phase 2	Phase 3	Phase 4	Phase 2	Phase 3	Phase 4
nombre Essais	1	30.5	12.2 (5.0)	11.8 (2.2)	9 (4.6)	1 (4.8)	4 (1.3)
	2	6.9 (0.9)	6.4 (0.7)	6.3 (0.7)	1 (0.9)	1 (0.7)	2 (0.5)
	3	5.2 (0.1)	5.7 (0.5)	5.2 (0.1)	9 (2.6)	3 (4.6)	2 (3.4)
	4	5.7 (0.5)	5.5 (0.3)	5.2 (0.2)	1 (2.7)	3 (2.1)	3 (1.7)
	5				1 (0.2)	3 (1.3)	3 (3.6)
nombre Transitions	1	115.2	126.1	286.5	46.4 (35.0)	5.6 (85.5)	0 (30.8)
	2	15.9 (2.6)	32.9	67.5 (42.6)	3.5 (2.7)	9 (5.3)	8 (30.6)
	3	8.1 (1.6)	16.2 (2.4)	16.5 (1.0)	3.8 (10.5)	1 (40.2)	7.4 (81.4)
	4	7.7 (1.0)	14.7 (2.7)	16.8 (0.9)	7.1 (6.3)	2 (13.0)	5 (19.8)
	5				2.1 (3.4)	1 (6.9)	2.5 (59.6)
nombre Erreurs	1	102.3	121.5	273.8	21.1 (31.6)	5.2 (81.0)	5 (2.6)
	2	15.4 (2.6)	31.5	65.2	1.5 (2.6)	9 (5.1)	8 (26.6)
	3	7.7 (1.4)	16.1 (2.3)	16.3 (0.9)	2.7 (10.4)	6 (39.5)	2.0 (76.4)
	4	7.5 (1.0)	14.6 (2.6)	16.8 (0.9)	5.0 (5.7)	5 (10.4)	2 (17.5)
	5				6 (2.0)	5 (6.4)	3.8 (56.6)
nombre Répétitions	1	12.9 (6.8)	4.5 (2.0)	12.6 (6.3)	3 (11.7)	0.5 (4.9)	0 (3.0)
	2	0.5 (0.2)	1.4 (1.1)	2.6 (2.4)	1 (1.1)	0 (1.0)	9 (5.0)
	3	0.4 (0.2)	0.2 (0.2)	0.2 (0.1)	1 (1.4)	5 (1.5)	4 (5.3)
	4	0.2 (0.1)	0.1 (0.1)	0.1 (0.1)	1 (1.1)	8 (2.7)	3 (2.7)
	5				1 (1.7)	6 (1.0)	8 (3.1)

Tableau II.2.2. Synthèse des paramètres (moyenne et ESM) pour chaque phase de chaque liste dans les groupes Divers et Chromatiques.

### 1) Groupe Chromatique : acquisition des séries 1 à 3

L'étude de l'évolution des performances a été réalisée au moyen d'ANOVAs des facteurs Phase d'apprentissage et Liste [1-3] pour chaque paramètre (tableau II.2.4.). Ces analyses révèlent que lors de l'acquisition successive de trois listes, les sujets montrent une amélioration très nette des performances indépendamment de la phase de l'apprentissage (2, 3 ou 4 items). Quelque soit la variable mesurée, les performances sont significativement meilleures en liste 2 qu'en liste 1. L'évolution des performances lors de l'acquisition de la liste 3 est moins marquée puisque les sujets font significativement plus d'essais que lors de l'acquisition de la liste 2 mais moins de répétitions qu'en liste 1. L'analyse des questionnaires réalisée suite à l'acquisition de cette série 3 a révélé que les couleurs qui la composent, étaient difficile à discriminer. Ceci vaut pour le Violet et le Mauve d'une part et le Bleu roi et le Bleu turquoise d'autre part. Aussi, nous n'utiliserons pas cette série à des fins de comparaisons, nous lui préférons la série 1 ou la série 2.

Phase x Listes [1 à 3]	Effet et interactions	Newman-Keuls post-hoc test
Essais	liste $F(2,72)=4.70, p<0.011$	liste(1) et (3) > liste(2), $p<0.018$
Transitions	liste $F(2,72)=3.63, p<0.03$	liste(1) > liste(2), $p<0.023$
Répétitions	liste $F(2,72)=3.89, p<0.024$	liste(1) > liste(2) et (3), $p<0.031$
Erreur	liste $F(2,72)=3.28, p<0.043$	liste(1) > liste(2), $p<0.033$

Tableau II.2.3. Synthèse des ANOVAs à 2 facteurs Phase x Liste [1-3] relatives aux performances du groupe Chromatique.

Nous avons ensuite déterminé si la distribution des couleurs lors de chaque phase varie entre les listes. La figure II.2.1 représente l'évolution des taux de couleurs pour chaque liste et pour chaque phase. Une ANOVA à deux facteurs, Couleur x Liste [1-3], a été réalisée séparément pour chaque phase d'apprentissage (tableau II.2.4.). Ces analyses révèlent qu'en phase 2, le taux de production des items pertinents A et B dépasse largement celui des items distracteurs C et D. L'interaction Couleur x Liste [1-3] révèle que les items pertinents sont significativement plus produits lors de l'acquisition de la seconde liste au dépend des items non pertinents. La phase 3 se caractérise par l'ajout de l'item C parmi les items pertinents. Il devient en effet significativement plus produit que l'item D. L'interaction Couleur x Liste [1-3] montre une production supérieure pour les deux premières listes du premier item A comparée à l'item C. Lors de la dernière phase, il n'y a pas d'effet Couleur, les sujets produisent les quatre couleurs à un taux similaire indépendamment de la liste.

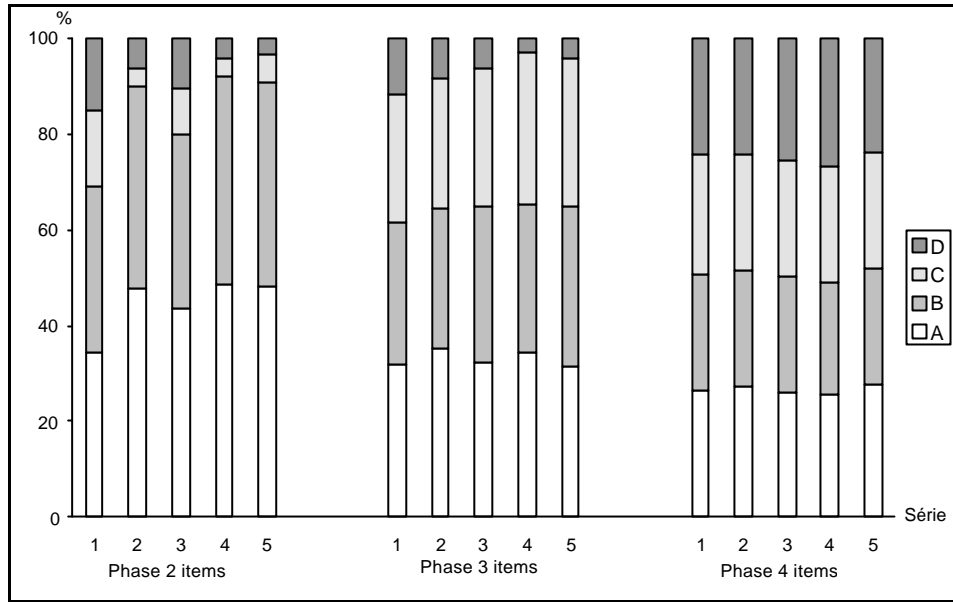


Figure II.2.1. Evolution du taux de production de chaque items au cours des séries et pour chaque phase du groupe Chromatique.

Couleur x Liste [1-3]	Effets principaux et interactions	Newman-Keuls post-hoc tests
Phase 2	Couleur $F(3,48)=64.8, p<0.0001$ Couleur x Liste $F(6,96)=9.63, p<0.0001$	$A=B>>>C=D$ $A1<<A2,A3 ; B1<B2; C1>>>C2$ et $D1>D2$
Phase 3	Couleur $F(3,48)=49.06, p<0.0001$ Couleur x Liste $F(6,96)=3.34, p<0.01$	$A=B=C>>>D$ $D1>D2$
Phase 4	Couleur x Liste $F(6,96)=2.84, p<0.013$	$A=B=C=D$

Tableau II.2.4. Synthèse des ANOVAs Couleur x Liste [1-3] relatives à la production globale des couleurs du groupe Chromatique.

Nous nous sommes ensuite intéressés à l'item choisi par les sujets pour débiter un essai. Cette analyse va nous permettre d'étudier la présence éventuelle d'un effet de récence. L'évolution du taux de production de chaque item en première réponse d'un essai est résumée sur la figure II.2.2. pour chaque phase et chaque série. Nous avons analysé ce paramètre pour chaque phase séparément au moyen d'une ANOVA à deux facteurs Couleur x Liste [1-3].

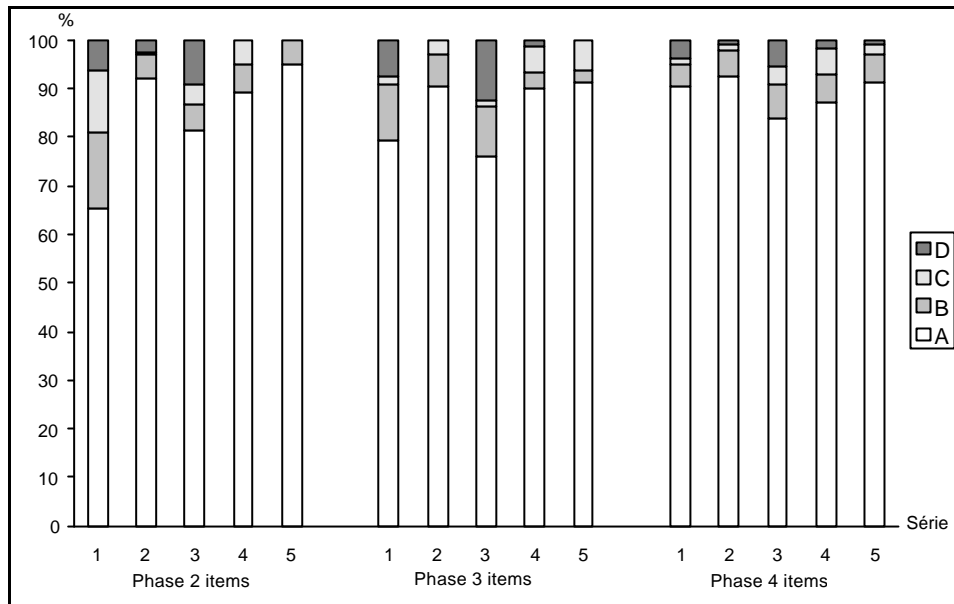


Figure II.2.2. Evolution du taux de production de chaque item en première réponse d'un essai pour chaque phase et chaque série.

Anova Couleur x Liste [1-3]	Effets principaux et interactions	Newman-Keuls post-hoc tests
Phase 2	Couleur $F(3,48)=174.9, p<0.0001$ Couleur x Liste $F(6,96)=5.85, p<0.0001$	$A \gg \gg B=C=D$ $A1 \ll \ll A2, A3$
Phase 3	Couleur $F(3,48)=124.5, p<0.0001$ Couleur x Liste $F(6,96)=2.61, p<0.05$	$A \gg \gg B=C=D$ $A1 < A2$
Phase 4	Couleur $F(3,48)=411.13, p<0.0001$	$A \gg \gg B=C=D$

Tableau II.2.5. Synthèse des ANOVAs Couleur x Liste [1-3] relatives à la production de couleurs en première réponse d'un essai du groupe Chromatique.

Les analyses des premières réponses (tableau II.2.5.) montrent que les sujets produisent préférentiellement le premier item de la série dès la phase 2 et tout au long de l'apprentissage. De plus, le nombre d'essais débutant par cet item augmente significativement à travers chaque liste.

## 2) Groupe Divers : acquisition des séries 1 à 3

Nous avons effectué les mêmes analyses que pour le groupe Chromatique. Les performances des sujets lors de l'acquisition successive des séries 1 à 3 sont résumées dans le tableau II.2.2. page 102. Une ANOVA des facteurs Phase x Liste [1-3] a été réalisée pour chacun des paramètres afin de déterminer son évolution (tableau III.2.1).

Phase x Liste [1-3]	Effet principal et interactions	Newman-Keuls post-hoc tests
---------------------	---------------------------------	-----------------------------

Essais	Liste F(2,72)=7.47, p<0.001	Liste(1)> Liste(2) et (3), p<0.02
Transitions	Liste F(2,72)=8.25, p<0.001	Liste(1)> Liste(2) et (3), p<0.01
Répétitions	Liste F(2,72)=8.66, p<0.001	Liste(1)> Liste(2) et (3), p<0.001
Erreur	Liste F(2,72)=7.78, p<0.001	Liste(1)> Liste(2) et (3), p<0.002

Tableau II.2.6. Synthèse des ANOVAS relatives aux performances du groupe Divers.

De même que pour le groupe Chromatique, les sujets améliorent significativement leurs performances au cours de l'apprentissage des séries successives. Cette amélioration est significative entre la première série et les deux suivantes. L'absence de distinction entre les séries 2 et 3 pourrait en partie s'expliquer par un effet plafond des performances. En effet, les sujets semblent avoir atteint des performances maximales tel qu'en témoigne notamment le faible nombre d'essais au critère. Celui-ci varie entre 5.2 et 6.9 par phase lors des séries 2 et 3 alors que le nombre minimal d'essais au critère est de 5.

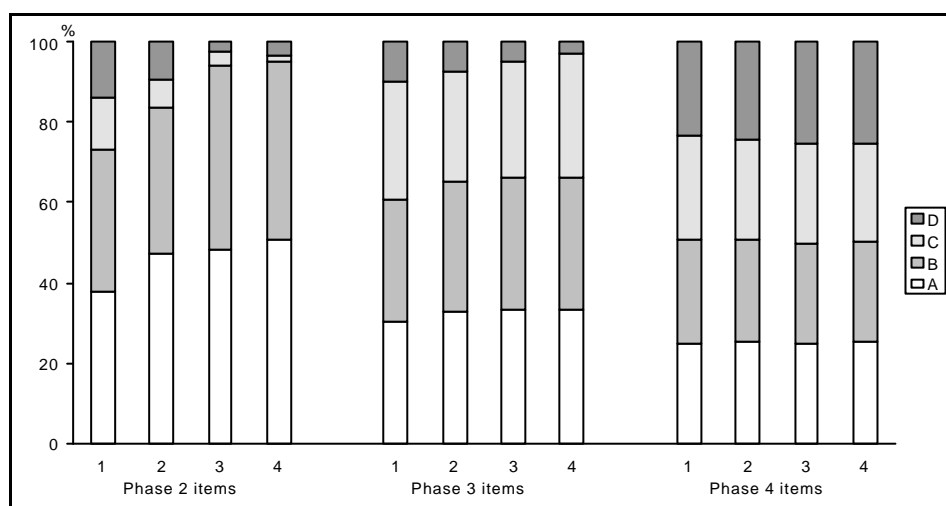


Figure II.2.3. Evolution du taux de production des 4 items pour chaque phase de chaque série du groupe Divers.

Nous avons synthétisé l'évolution de la production des différents items au cours de l'acquisition des listes dans la figure II.2.3. ci-dessus. L'analyse de la production des couleurs a été réalisée grâce à trois ANOVAs à deux facteurs Couleur x Liste [1-3] pour étudier leur évolution à chaque phase d'apprentissage (tableau II.2.7.).

Couleur x Liste [1-3]	Effets principaux et interactions	Newman-Keuls post-hoc tests
Phase 2	Couleur F(3,48)=263.63, p<0.0001 Couleur x Liste F(6,96)=13.8, p<0.0001	A>>>B>>>C=D A1<<A2,A3 ; B1=B2<<<B3 C1>C2=C3 et D2>D3
Phase 3	Couleur F(3,47)=293.27, p<0.0001 Couleur x Liste F(6,94)=4.24, p<0.001	A>>>B>>>C>>>D D1>D2=D3
Phase 4	aucun effet	A=B=C=D

Tableau II.2.7. Synthèse des ANOVAs à 2 facteurs Couleur x Liste [1-3] relatives à la production des couleurs du groupe Divers.

Tout comme pour l'autre groupe, on retrouve l'effet du facteur Couleur et une interaction Couleur x Liste. L'effet couleur traduit une diminution, au cours des phases, de la production du ou des items non pertinents. C'est à dire des items C et D en phase 2 et de l'item D en phase 3. Parallèlement, le taux de production augmente pour les nouveaux items pertinents (C en phase 3 et D en phase 4). L'interaction traduit une augmentation du taux de production des items pertinents à travers les listes. L'analyse de la première réponse débutant chaque essai devrait confirmer ce profil de production des items dans l'ordre demandé. La figure II.2.4., qui illustre l'évolution des taux de production de chaque item en première réponse d'un essai, montre que les sujets débutent la plupart des essais par le premier item de la série quelque soit la phase de l'apprentissage.

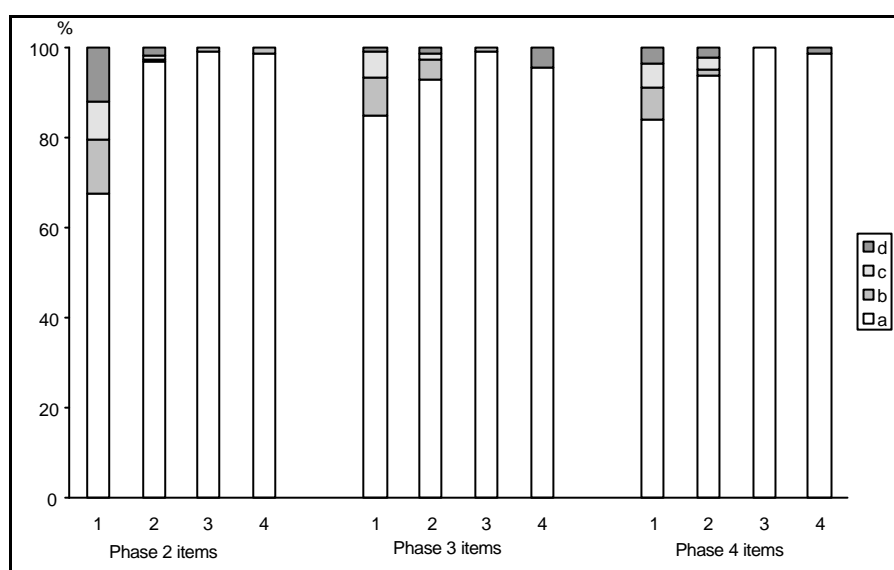


Figure II.2.4. Evolution du taux de production de chaque item en première réponse d'un essai pour chaque phase et chaque série dans le groupe Divers.

Une ANOVA à deux facteurs Couleur et Liste [1-3] confirme cette observation (tableau III.2.3).

Couleur x Liste [1-3]	Effets principaux et interactions	Newman-Keuls post-hoc tests
Phase 2	Couleur $F(3,48)=272.6, p<0.0001$ Couleur x Liste $F(6,96)=9.14, p<0.0001$	$A>>>B=C=D$ $A1<<<A2=A3$
Phase 3	Couleur $F(3,48)=708.9, p<0.0001$ Couleur x Liste $F(6,96)=4.84, p<0.001$	$A>>>B=C=D$ $A1<A2=A3$
Phase 4	Couleur $F(3,48)=1098.8, p<0.0001$ Couleur x Liste $F(6,96)=7.06, p<0.001$	$A>>>B=C=D$ $A1<A2<A3$

Tableau II.2.8. Synthèse des ANOVAs à 2 facteurs Couleur x Liste [1-3] relatives à la production des couleurs en première réponse d'un essai du groupe Divers.



Indépendamment de la phase d'apprentissage et de la liste, les sujets vont produire majoritairement des essais débutant par le premier item de la série (effet principal couleur). Au cours de chaque phase, le taux des essais débutant par cet item va croître au travers des listes (interaction Couleur x Liste). Ainsi pour la phase 4 par exemple, ce taux va passer de 84% des essais pour la liste 1 à 100% des essais pour la liste 3.

### 3) Analyse des temps de latence

L'analyse de l'évolution des temps de latence a seulement pu être réalisée pour l'acquisition de la série 1. En effet, pour les séries suivantes, les sujets produisent trop peu de transitions non pertinentes, ce qui nous empêche de faire des comparaisons entre séries ou entre groupes. De plus, des analyses partielles réalisées au laboratoire ne révèlent aucune différence significative entre les groupes et entre les séries 1 et 4 pour les transitions correctes (Camps, 1998).

Afin d'étudier si les sujets produisent les transitions correctes plus ou moins rapidement que les transitions incorrectes, nous avons regroupé 12 des 16 transitions possibles en 3 groupes. Chaque groupe est formé des 4 transitions débutant par A, B ou C et comporte une transition correcte et trois incorrectes (AB ; AA, AC, AD). Le groupe de transitions débutant par l'item D ne contient aucune transition correcte et n'a pas été considéré dans cette analyse. Pour les trois groupes de transition considérés, nous avons calculé un intervalle de confiance autour de la latence moyenne du groupe. Si la latence moyenne des transitions AB par exemple est inférieure à la borne inférieure de l'intervalle, nous pouvons conclure que les sujets produisent cette transition plus rapidement que la moyenne. Les résultats de cette analyse figurent dans le tableau II.2.9.

Série 1	Phase 2 (AB)	Phase 3 (ABC)	Phase 4 (ABCD)
Groupe 1	<b>AB</b> < ; AC> ; BB>	AA>	BB> ; CC> ; CA> ; <b>CD</b> <
Groupe 2	BA> ; BB< ; CC<	BA> ; BB> ; <b>BC</b> < ; BD<	AA> ; BB> ; CC> ; BA< ; <b>BC</b> < ; CB< <b>CD</b> <

Tableau II.2.9. Synthèse des analyses du temps de latence moyen entre deux réponses consécutives lors de l'acquisition de la série 1 pour les deux groupes de sujets.

Nous pouvons remarquer que les latences des transitions correctes (en gras dans le tableau) sont généralement inférieures à la borne inférieure de l'intervalle de confiance. Les sujets produisent

donc significativement plus vite ces transitions que les autres transitions commençant par la même couleur. La plupart du temps, les transitions concernant le même item (répétitions) ont des latences significativement supérieures à celles de la latence moyenne du groupe des transitions.

En résumé, quel que soit le groupe et quelle que soit la liste, les sujets ajoutent, à chaque phase, le nouvel item pertinent à ceux appris durant la phase précédente. Au contraire des pigeons, on trouve très rapidement un profil de production décroissant du premier item de la liste au dernier (A>B>C>D). En termes de performance, les sujets semblent atteindre très rapidement des valeurs minimales (effet plafond). Par exemple, dans le groupe Divers, le nombre d'essais au critère en phase 4 passe de 11.8 pour la liste 1 à 5.2 pour la liste 4 (nombre minimal d'essais pour produire le critère). Les profils de production de couleurs et l'analyse de la première réponse en début des essais révèlent que les sujets ont isolé le premier item de la liste. Au cours des phases successives, ils cherchent et découvrent rapidement le nouvel item à ajouter à l'item ou à la série précédemment renforcée. Le faible nombre d'erreur que produisent les sujets amène à supposer qu'ils ont unifié ce qui a été déjà appris et qu'il ne font que rajouter un nouvel élément.

La latence des répétitions supérieure à la latence des transitions correctes est un résultat intéressant si l'on considère que le sujet, lorsqu'il produit une répétition, ne déplace pas le curseur de la souris. On devrait alors trouver des latences inférieures à celles des transitions correctes ou incorrectes. Le fait que ce résultat soit contraire à cette attente nous amène à postuler que ce temps passé aux répétitions est un temps de réflexion. La disparition des répétitions au cours des phases et des séries semble être en accord avec cette hypothèse. Les sujets acquièrent de liste en liste une meilleure compréhension de la tâche dont l'exécution ne nécessiterait que peu de temps de réflexion à la fin de l'expérience.

#### 4) Groupe Divers et Chromatique, acquisition de la série 4

L'acquisition de la série 4 est particulière en ce sens que cette série est constituée des mêmes items que ceux de la série 1, chaque item ayant une teinte plus fade. Cette expérience doit nous renseigner sur l'importance de la connaissance de l'identité et de la position des stimuli en comparaison de l'utilisation des règles qui régissent l'acquisition de ces séries. Nous allons comparer les performances des deux groupes lors de l'apprentissage des séries 1 et 4. Pour cela, nous avons d'abord vérifié l'homogénéité des performances de nos deux groupes lors de l'acquisition de la

première série.

Des ANOVAS à deux facteurs Groupe x Phase ne révèle aucun effet sur le nombre de réponses, de répétitions ou d'erreurs au critère. Un seul effet groupe est mis en évidence pour le nombre d'essais au critère. Les sujets du groupe Divers produisent significativement plus d'essais au critère que ceux du groupe Chromatique [ $F(1,72)=6.77, p<0.02$ ]. Malgré cette différence, nous pouvons considérer nos deux groupes sont globalement homogènes.

L'analyse de l'évolution des réponses instrumentales des sujets des deux groupes entre l'acquisition de la première et de la quatrième série, est réalisée au moyen d'ANOVAS à trois facteurs. A l'aide d'une analyse des facteurs Groupe x Phase x Liste [1-4], nous avons comparé les performances globales de nos sujets illustrées dans le tableau II.2.2.(p. 109) puis par une analyse des facteurs Groupe x Couleur x Liste [1 et 4] (tableaux II.2.11. et II.2.12.), leur production globale des couleurs (figures II.2.1., p. 103 et II.2.3., p. 105) et finalement leur production de la première réponse (figures II.2.2., p. 104 et II.2.4., p. 106).

Groupe x Phase x Listes [1-4]	Effet principal + interactions	Newman-Keuls post-hoc test
Essais	Groupe $F(1,72)=4.63, p<0.05$	Groupe D < Groupe C, $p<0.05$
Transitions	Groupe $F(1,72)=6.86, p<0.01$ Phase $F(2,72)=3.23, p<0.05$	Groupe D < Groupe C, $p<0.01$ Phase 4 (D) < Phase 4 (C)
Répétitions	Groupe $F(1,72)=6.08, p<0.015$	Groupe D < Groupe C, $p<0.02$
Erreurs	Groupe $F(2,72)=6.54, p<0.02$	Groupe D < Groupe C, $p<0.02$

Tableau II.2.10. Synthèse des ANOVAS Groupe x Phase x Liste [1, 4] relatives à la comparaison des performances des deux groupes entre les acquisitions des séries 1 et 4. Les abréviations utilisées sont les suivantes D : Divers et C : Chromatique.

La comparaison des quatre paramètres illustrant les performances globales (nombre d'essais, de transitions, de répétitions et d'erreurs au critère) révèle de meilleures performances chez les sujets du groupe Divers. Or les séries 2 et 3 apprises par les sujets du groupe Divers, étaient formées d'items divers et de couleurs dans le groupe chromatique. Nous postulons que la différence observée en série 4 pourrait provenir d'un effet perturbateur dû à l'apprentissage de plusieurs listes chromatiques plutôt que de listes formées d'items visuels de type divers. Afin de vérifier cette hypothèse, nous avons analysé, au moyen d'ANOVAS à trois facteurs Groupe x Couleurs x Liste [1,4], la production des différents items ainsi que la première réponse débutant les essais.

Groupe x Couleur x Liste [1,4]	Effets principaux et interactions	Newman-Keuls post-hoc tests
Phase 2	Couleur $F(3,96)=240.5$ , $p<0.0001$ Couleur x Groupe $F(3,96)=43.6$ , $p<0.0001$	$A>B>>>C=D$ $Ac>>>Ad$ ; $Bc>>>Bd$ ; $Cd>>Cc$ $Dd>>>Dc$
Phase 3	Couleur $F(3,96)=166.6$ , $p<0.0001$ Couleur x Groupe $F(3,96)=19.7$ , $p<0.001$	$A=B=C>>>D$ $Cc>Cd$ ; $Dd>>>Dc$
Phase 4	Couleur x Groupe $F(3,96)=3.54$ , $p<0.02$	$A=B=C=D$

Tableau II.2.11. Synthèse des ANOVAs Groupe x Couleur x Liste [1,4] relatives à la production des couleurs. Les abréviations utilisées pour les groupes sont D : Divers et C : Chromatique.

Malgré les différences des performances globales lors de l'acquisition de la série 4, aucun effet groupe n'a pu être mis en évidence dans l'analyse des taux de production des items (tableau II.2.11.). En phase 2, les sujets du groupe Chromatique produisent significativement plus les items pertinents A et B que ceux du groupe Divers. Ce profil disparaît en phase 4. L'effet Couleur est caractérisé par l'augmentation du taux de production du nouvel item de la série, B, en phase 2 et C en phase 3.

Le tableau suivant (tableau II.2.12.) synthétise les résultats des ANOVAs à trois facteurs Groupe x Couleur x Liste [1, 4] de l'étude comparée du type de réponse débutant chaque essai.

Groupe x Couleur x Liste [1,4]	Effets principaux	Newman-Keuls post-hoc tests
Phase 2	Couleur $F(3,96)=226.5$ , $p<0.0001$ Couleur x Groupe $F(3,96)=18.9$ , $p<0.0001$	$A>>>B=C=D$ $Ac>>>Ad$
Phase 3	Couleur $F(3,96)=441.9$ , $p<0.0001$ Couleur x Groupe $F(3,96)=4.95$ , $p<0.003$	$A>>>B=C=D$ $Ac>>>Ad$
Phase 4	Couleur $F(3,96)=965.5$ , $p<0.0001$ Couleur x Groupe $F(3,96)=2.92$ , $p<0.05$	$A>>>B=C=D$ $Ac>>>Ad$

Tableau II.2.12. Synthèse des ANOVAs Groupe x Couleur x Liste [1, 4] relatives à la production de la première réponse débutant chaque essai. Les abréviations utilisées pour les groupes sont D : Divers et C : Chromatique.

Globalement, les sujets des deux groupes produisent les essais en débutant préférentiellement par le premier item de la série à produire. On peut remarquer que les individus du groupe chromatique produisent significativement plus d'essais débutant par le premier item de la liste.

### 5) Groupe Chromatique : acquisition de la série recomposée 5

Cette série est composée d'un item de chacune des quatre séries précédemment apprises. Le premier item correspond au premier item de la première série, le second au second item de la deuxième série... Les items ont donc conservé la position qu'ils occupaient dans leur série initiale respective. L'analyse de l'acquisition de cette série doit nous permettre de vérifier si les sujets utilisent une connaissance de la position sérielle des items. Dans ce cas, ils devraient produire cette série plus rapidement. Nous postulons par ailleurs, que si les sujets utilisent leur connaissance de la position des items pour produire une liste, leurs performances seront plus efficaces. A cette fin, nous avons comparé les résultats de ce groupe Chromatique entre l'acquisition des séries 2 et 5. Les données relatives à la série 5 sont résumées respectivement dans le tableau II.2.2. (p. 102) et les figures II.2.1. (p. 103) et II.2.2. (p. 104).

La comparaison des performances globales au moyen d'ANOVAs à deux facteurs Phase x Liste [2, 5] ne met en évidence aucun effet significatif. Les sujets n'améliorent pas leurs performances. En termes de taux de production globale des couleurs, L'ANOVA à trois facteurs Phase x Couleur x Liste [2, 5] révèle une interaction Liste [2, 5] x Couleur. Le test post-hoc de Newman-Keuls montre qu'en série 2, les sujets produisent significativement plus l'item non pertinent D qu'en série 5 ( $p < 0.034$ ). Lorsque l'on compare les taux de production de chaque item en première réponse des essais entre les deux séries, aucune différence significative n'apparaît. Malgré l'absence nette de différence significative des paramètres mesurés, nous avons étudié un dernier paramètre qui est le nombre minimal de réponses avant la production du premier succès. En principe, si les sujets se souviennent des items et de leur position dans la série, ce nombre devrait être proche de zéro. Nous avons analysé ce paramètre pour les phases 1 et 2 de chaque série. Seule la première phase de la série 5 est exécutée par ces sujets sans aucune erreur.

En résumé, ces résultats ne montrent pas une amélioration des performances face à une série recomposée à partir d'items ayant conservé la position qu'ils occupaient dans les séries d'origine. Nous pensons que les sujets ont atteint un plafond de performance qui ne nous permet pas de révéler une éventuelle amélioration. L'absence d'erreur lors de la phase 1 en série 5 pourrait nous amener à conclure que les sujets ont reconnu le premier item et l'ont donc positionné avec succès. Mais deux éléments vont à l'encontre de cette hypothèse. Tout d'abord, le taux d'erreurs lors des phases 2, 3 et 4 en série 5 est identique à celui de la série 2. Ensuite, le premier item de la série 5 est

identique à celui de la série 4 apprise quelques minutes auparavant. Il paraît donc possible que cela ait influencé la recherche du premier item en série 5, résultant en un faible nombre d'erreurs en phase 1. Il semble donc que les sujets aient appliqué pour les phases suivantes une règle comme rechercher le nouvel item pertinent puis l'ajouter à l'item ou à la série précédemment apprise. Afin de vérifier l'hypothèse d'une utilisation de l'information ordinale, il faudrait complexifier la tâche notamment en allongeant la série.

### 3. Analyse des questionnaires

Les sujets ont été soumis, suite aux expériences, à un questionnaire ouvert dont l'analyse devait nous permettre de vérifier le type de connaissance acquise (implicite ou explicite) lors de l'exécution des tâches. Nous avons ainsi calculé le pourcentage de réponses correctes aux questions portant sur la connaissance du type de la tâche demandée (apprentissage de séries...) et sur l'événement impliqué lors des changements de phases (ajout d'un nouvel item en fin de liste). La dernière question portait sur la définition du critère d'apprentissage. Aucun sujet n'a su répondre. En pratique, il ne s'avérait pas indispensable de compter le nombre exact de réponses correctes pour résoudre la tâche.

	Divers	Chromatiques
Série 1	73.3%	69.2%
Série 2	100%	100%
Série 3	100%	100%
Série 4	61.5%	0%
Série 5		0%

Tableau II.2.13. Synthèse des résultats aux questionnaires ouverts. Le pourcentage affiché correspond au nombre d'étudiant ayant répondu correctement aux questions sur le type de tâche et sur le changement de phase.

Les résultats du tableau II.2.13. montrent que lors de l'acquisition des trois premières séries, les sujets ont de très bonnes performances et sont capables d'exprimer verbalement la plupart des éléments qui constituent la tâche. Ils définissent l'apprentissage d'une série d'items soit chromatiques, soit divers et le changement de phase comme l'ajout d'un nouvel item en fin de liste. En revanche, ils sont incapables de définir le critère de fin de tâche. Malgré les consignes restées vagues, les sujets

ont acquiert une connaissance explicite des séries produites. Lee (1995) montre, dans une expérience de grammaire artificielle, qu'instruire les sujets des règles qui lient les événements, entraîne une augmentation des performances et oriente le sujet vers un apprentissage explicite. Ce résultat suppose alors que les tâches demandées dans nos expériences sont faciles puisqu'en l'absence de consignes précises, les sujets verbalisent le principe de la tâche ainsi que les séries acquises. Cette interprétation est renforcée par l'observation d'un effet plafond atteint rapidement par les performances.

Lors de l'acquisition de la quatrième série à partir d'items identiques à ceux de la première série mais dans une teinte plus fade, aucun sujet du groupe Chromatique n'a fait de lien entre les séries. Malgré ce résultat, les performances des sujets s'améliorent. Aussi, nous postulons que la production de la série 4 en se basant sur les règles de construction de la série 1 a pu se faire de manière implicite. L'acquisition préalable des séries 2 et 3 a pu jouer le rôle de tâche interférente. L'utilisation de tâche interférente a été testée par Fezzani (1995) qui soumet des sujets à la production de séquences en présence ou non de tâches interférentes, selon le principe de Nissen et Bullemer (1987). Les résultats montrent que les apprentissages de séquences avec tâche interférente se font préférentiellement de manière implicite. Or, lorsque le groupe Divers est soumis avant l'acquisition de la série 4 à l'acquisition de deux séries d'items divers, 61.5% des sujets de ce groupe peuvent verbaliser le contenu de cette tâche. L'interférence mise en évidence porterait donc sur la nature chromatique des items des série 2 et 3.

Afin de tester l'hypothèse d'une connaissance de la position des items et de la création de classes de stimuli ou classes d'ordre (Stromer et al., 1993 ; Maydack et al., 1995 ; Sigurdardottir et al., 1990), Un item de chacune des quatre liste a servi pour la construction de la série 5 dans le groupe Chromatique (le 1<sup>er</sup> item de la série 1, le 2<sup>ème</sup> item de la série 2...). Malgré des performances maximales, aucun sujet n'a pu verbaliser la correspondance des items de cette série avec leur série d'origine. Le niveau de performance démontre l'apprentissage implicite de cette série.

#### 4. Simulation de l'apprentissage d'une série chez l'humain

Afin de simuler l'hypothèse d'une connaissance de la position des items chez l'humain, nous avons utilisé le second modèle de choix conditionné déjà testé chez le pigeon. Au vu de l'acquisition très rapide des différentes phases lors de l'acquisition d'une série, nous avons postulé que ce modèle

était le plus propice à produire le critère rapidement. De plus, nous avons postulé que produire des items selon la connaissance de leur position revenait à utiliser des probabilités conditionnelles : produire un item sachant lequel ou lesquels précédaient. Nous présentons seulement les simulations des phases 1 à 3 items pour l'acquisition de la première série et de la troisième série de manière à vérifier si le modèle peut rendre compte de l'évolution des performances des sujets au cours de l'acquisition de listes successives.

a) Acquisition d'un item parmi quatre présentés simultanément

	A	B	C	D	$\beta^+=0,3$
Données expérimentales	66	11	11	11	$\beta^-=0,4$
Données simulées	67,4	11,6	11,5	10,5	$SAQ=3.93 \cdot 10^{-3}$
					Noise=0.3

Tableau II.3.1. Résultats de la simulation de l'acquisition d'un item parmi quatre présentés simultanément :  $\beta^+=0,3$ ,  $\beta^-=0,4$ .

Bien que le modèle surestime légèrement les probabilités de choix des quatre items, il rend bien compte de la discrimination de l'item A pertinent comparé aux trois autres items B, C et D. La valeur de bruit a été fixée à 0.1. Avec cette valeur, le modèle simule alors correctement le nombre de réponses et d'essais pour produire le critère.

b) Acquisition de deux items pour les séries 1 et 3

Pour la simulation de séquences de deux items, chaque item conserve au départ la valeur qu'il avait acquise lors de la simulation de l'acquisition de A - renforcement.

Série 1	A	B	C	D	$\beta^+=0,1$
Données expérimentales	34,2	34,8	15,7	15,2	$\beta^-=0,1$
Données simulées	36,8	33,5	14,9	14,9	$SAQ=9.56 \cdot 10^{-4}$
					Noise=0.1
Série 3	A	B	C	D	$\beta^+=0,4$
Données expérimentales	43.6	36.4	9.4	10.6	$\beta^-=0,1$
Données simulées	48.3	38.2	6.8	6.8	$SAQ=3.49 \cdot 10^{-4}$
					Noise=0.1

Tableau II.3.2. Résultats de la simulation de l'acquisition de deux items pour la série 1 :  $\beta^+=0,1$  et  $\beta^-=0,1$  et la série 3 :  $\beta^+=0,4$  et  $\beta^-=0,1$





Nous pouvons voir que ce modèle rend bien compte des profils de production des items malgré la légère surestimation des différentes valeurs. Nous pouvons remarquer que le bruit introduit est fixé à 0.1. Cette valeur permet au modèle de simuler un nombre d'essais minimal pour atteindre le critère.

c) Acquisition de trois items pour les séries 1 et 3

Série 1	A	B	C	D	$\beta^+=0,1$
Données expérimentales	31,7	29,9	26,6	11,8	$\beta^-=0,3$
Données simulées	34,1	29,6	28,5	9,9	$SAQ=3,49 \cdot 10^{-3}$
					Noise=0.1
Série 3	A	B	C	D	$\beta^+=0,1$
Données expérimentales	32,5	32,2	29,1	6,2	$\beta^-=0,1$
Données simulées	33,1	30,5	30,2	5,6	$SAQ=6,16 \cdot 10^{-3}$
					Noise=0.1

Tableau II.3.3. Résultats de la simulation de l'acquisition de trois items pour la série 1 :  $\beta^+=0,1$  et  $\beta^- =0,3$  et la série 3 :  $\beta^+=0,1$  et  $\beta^- =0,1$

On peut remarquer l'égalité des coefficients de renforcement et de non renforcement confirmant que le seul processus de transfert de valeur est insuffisant pour expliquer la production du critère (c.f. Simulation des expérimentations sur le pigeon).

Les simulations des expériences d'acquisitions de séries chez l'humain ont montré qu'un processus utilisant des probabilités conditionnelles rend bien compte des données expérimentales. Ce modèle conforte l'hypothèse de l'acquisition de la connaissance de la position des items dans la série en créant des liens conditionnels entre les items pertinents. Ce second modèle fonctionne mieux avec les sujets humains car ceux-ci ne semblent utiliser qu'un seul processus lors de la production de la série. Nous avons postulé précédemment que ces sujets ne sont pas naïfs et donc qu'ils ont développé des stratégies de traitement plus efficace que les hypothèses d'associations des items entre eux ou d'acquisition et de transfert de valeur.

### 3- Discussion

Les sujets humains, soumis à l'acquisition successive de séries de quatre items améliorent très nettement leurs performances à chaque série apprise. Les résultats montrent qu'ils isolent très rapidement le premier item de la série (fort taux de production en termes de réponse globale ou de première réponse). Lors des phases successives, ils vont ajouter un nouvel item après l'avoir isolé des items non pertinents et le placer à la fin de ce qui a déjà été appris. Le groupe Divers présente de meilleures performances que le groupe Chromatique. Cette amélioration peut être attribuée à deux facteurs. Tout d'abord, le fait de limiter l'apprentissage à des séries chromatiques semble entraîner une interférence sur l'acquisition des séries chromatiques suivantes. Wright et collaborateurs (1984) rapportent l'effet de tâches interférentes sur les capacités d'apprentissage. Ainsi, dans des tâches de reconnaissance sérielle, ils montrent que "la mémoire de quelques items précédemment vus interfère avec le jugement pour une liste d'items présentés ultérieurement". Un autre exemple est rapporté par Mishkin et Delacour (1975). Ces auteurs soumettent des sujets à une tâche d'appariement à l'exemple. Lorsque les sujets sont entraînés sur un grand nombre d'appariements, les résultats montrent une diminution très importante des performances interprétée comme une interférence des exemples dans les comparaisons successives. Dans nos expériences, les sujets du groupe Chromatique sont toujours confrontés à des items chromatiques. Cette similitude des items est interprétée comme une source d'interférence.

Un autre facteur qui a pu contribuer à diminuer légèrement les performances des sujets du groupe Chromatique est la proximité "subjective" des coloris utilisés dans la série 3. Se peut-il que les sujets aient classé les items dans deux groupes Bleu et Violet et qu'ils aient eu des difficultés ensuite à dissocier chaque item de son groupe parent? Ce problème pourrait expliquer en partie du moins la chute des performances de ces sujets entre l'acquisition de la série 2 et de la série 3. Au contraire, les individus du groupe Divers améliorent leur réponse à chaque série pour atteindre plus rapidement des performances asymptotiques.

L'utilisation de ce protocole de libre correction avec consignes minimales a permis de mettre en évidence la nécessité de l'attention dans l'acquisition de séquences (Cohen, Ivry et Keele, 1980 ; Nissen et Bullemer, 1987). L'acquisition de la première série se fait au départ sur un mode non-attentionnel puisque les sujets n'ont aucune information sur les relations qui lient les items. Très rapidement, l'apprentissage devient explicite et donc attentionnel. Lors de l'acquisition des trois

premières séries, les humains deviennent capables d'extraire des informations en l'absence de consignes précises et de les verbaliser. Il faut relativiser cette information en partant du principe qu'un sujet humain n'est jamais naïf dans ce type de tâche. Il est confronté depuis sa plus tendre enfance à ce type d'expérience et a pu développer des stratégies de traitement de l'information sérielle optimisées. L'ensemble des résultats nous amène à postuler que les sujets sont capables de verbaliser, à court terme, l'identité et la position des stimuli dans la série produite mais ils ne conserveraient en mémoire qu'un prototype de la séquence, à savoir le mode de construction de la série (A, AB, ABC, ABCD).

Slamecka (1985) montre qu'une représentation associative suffit à expliquer les capacités d'apprentissage sériel chez l'humain et n'implique pas la connaissance de la position ordinale des différents items. Nos résultats ne nous permettent pas de confirmer ou d'infirmer cette interprétation. En effet, les performances des sujets atteignent rapidement des valeurs asymptotiques, ce qui nous empêche de mettre en évidence des différences entre les acquisitions des trois premières séries et des séries 4 et 5. De plus, l'hypothèse de la connaissance de la position ordinale est difficile à confirmer. En effet, les sujets lors de la série 5 ne produisent aucune erreur pour produire le premier item de cette série, pouvant indiquer une certaine connaissance de la position de cet item. En fait, ce résultat pourrait en partie s'expliquer par la production quelques minutes auparavant de la série 4 qui débute par ce même item et donc infirmer notre hypothèse.

Finalement, l'acquisition de la série 5 devait permettre de vérifier l'hypothèse de la construction de classes d'ordre. Les performances élevées lors de l'acquisition de la série 5, par les sujets du groupe Chromatique, pourraient impliquer l'élaboration de ces classes. Stromer et Mackay (1993) montrent que lorsque des stimuli d'une série peuvent se substituer à ceux d'une autre lorsqu'ils occupent la même position, alors ces stimuli sont regroupés en classes d'ordre. Il nous est difficile de conclure car contrairement aux expériences sus-citées au cours desquelles les sujets sont entraînés intensivement avec de nombreuses séries, nos sujets acquièrent les séries en moins de cinq minutes et n'ont été testés que sur l'acquisition d'une seule série recomposée. De nouvelles expériences en cours portent sur l'acquisition de toutes les séries recomposées possibles à partir des 4 séries précédemment apprises. Les premiers résultats semblent indiquer que les sujets dans ces conditions expérimentales ne forment pas de

classes d'ordre mais utilisent plutôt le prototype de construction de séries présentées auparavant. De plus, les sujets, soumis à un questionnaire plus détaillé, semblent acquérir l'ensemble des règles que partiellement. Perruchet et Amorin (1992) ont montré que la connaissance partielle des règles était cependant suffisante pour apprendre une série.

Ces différentes interprétations sont à rapprocher de celles proposées par Clegg, DiGirolamo et Keele (1998). Ils proposent que le traitement d'informations sérielles se fait suivant une hiérarchie de processus. Tout d'abord, les sujets humains extrairaient le sujet de la tâche en cours, ce qui pourrait correspondre, dans notre expérience, à la formation d'un prototype de la série. A un niveau intermédiaire, les sujets analyseraient la nature des stimuli voire la formation de chunk. Au niveau de traitement plus profond, c'est l'identité et la position des items qui seraient traités. Soumis à l'acquisition de séries en situation de libre correction, les sujets ne semblent atteindre que les deux premiers niveaux de traitement. La formation de classe d'ordre, mettant en jeu l'identité et la position des items de la série, n'a pas pu être démontrée.

#### **4- Etude comparée des performances d'apprentissage sériel chez des sujets humains et chez des pigeons.**

Au vu des différences très marquées qui existent entre les performances d'acquisition de séries chez les deux espèces, nous limiterons cette comparaison à certains paramètres. Tout d'abord, lorsque l'on compare l'acquisition successive de deux séries de deux items chez le pigeon, et l'acquisition des deux premières séries chez l'humain, le nombre moyen de réponses au critère pour chaque série en phase 2 est respectivement de 1400 et 1500 chez le pigeon et de 115 et 16 chez l'humain. Entre les deux espèces, le nombre de réponses au critère varie d'un facteur 10 pour la première série et 100 pour la seconde.

Lorsque l'on regarde le profil de production des couleurs au cours de l'apprentissage, le pigeon est caractérisé par une production croissante des items en fonction de leur proximité avec le renforcement. En revanche, l'humain isole très rapidement le premier item de la liste et va y ajouter à chaque phase un nouvel item. Le profil de production au cours des phases va être  $A > B > C = D$  puis  $A = B = C > D$  pour finir par  $A = B = C = D$ . Un dernier élément marquant est l'absence d'effet de récence chez l'humain, phénomène qui disparaît chez le pigeon seulement lors des séances au critère pour les séries de deux items ou bien lors de l'acquisition de la liste de trois items et des séries recomposées.

Un autre point intéressant consiste en la comparaison des comportements de répétition. Chez le pigeon, les répétitions qui représentent toujours une forte proportion de toutes les réponses (60% en phase 2 et 30% en phase 3), diminuent au cours de l'apprentissage. Elles sont rares chez l'humain (<5%). Nous avons montré que chez l'humain, la latence entre deux répétitions est significativement plus importante que la latence de tous les autres types de transition. Ce phénomène a été interprété comme une répétition mentale des éléments de la série avant de produire la prochaine réponse (in MacPhail, 1982, p.217). Cette observation n'a pas été confirmée chez le pigeon (Camps et al., 1995).

L'ensemble de ces éléments nous montre d'importantes différences dans les résultats chez ces deux espèces. D'un point de vue procédural, nous avons mis en évidence des différences chez le pigeon entre l'acquisition de séries de deux et trois items. L'acquisition de séries de deux items impliquerait un processus de discrimination de la paire ordonnée

correctement comparée à la paire dans l'ordre inverse. Pour une série plus longue, cette discrimination devient très improbable et le sujet développerait une représentation de la série, à partir de laquelle il pourrait extraire des informations sur l'identité et la position des items. L'humain, quant à lui, développerait ou posséderait déjà une organisation hiérarchique des processus de traitement depuis la formation d'un prototype de séquence jusqu'à la connaissance de l'identité et de la position des items. Prises ensemble, ces différentes interprétations ne nous permettent pas de conclure à une nature complètement différente des processus mis en jeu pour produire une séquence. Nous pouvons seulement proposer le développement de représentations de séquences plus complexes chez l'humain.

## Conclusion générale

L'étude de l'apprentissage de structures sérielles a donné lieu à de nombreuses positions théoriques divergentes. Terrace et collaborateurs ont postulé, chez le pigeon, l'existence de différents processus dépendant de la longueur de la liste à produire. Dans tous les cas, les auteurs rejettent la théorie d'un chaînage simple des items entre eux. Ces processus sont l'apprentissage de règles et de la position des items. A l'opposé, D'Amato chez le singe, propose la construction d'une représentation mentale de la série. Les différentes expériences présentées dans ce travail nous amène à postuler, chez le pigeon, la coexistence de plusieurs processus. La discrimination de la série correcte comparée à la série inverse est suffisante pour rendre compte de l'acquisition de série de deux items. Ce processus qui implique l'attribution et le transfert de valeurs a été simulé de manière très satisfaisante avec un modèle algébrique très simple. Le développement de liens conditionnels entre les items adjacents de la série pourrait expliquer la production du critère d'apprentissage de séries plus longues et suppose le développement d'une représentation mentale de la série. Ce second processus a été validé en partie par un modèle plus complexe basé sur l'usage de probabilités conditionnelles. En effet, on ne considère plus des séquences de réponses instrumentales comme déterministes mais plutôt comme probabilistes. Chez l'humain, bien que Slamecka (1985) réfute la représentation de la séquence pour expliquer la production sérielle, nos résultats vont dans le sens de la représentation d'un prototype de série dans nos conditions expérimentales. Ce prototype ne permet pas de conserver en mémoire à long terme l'information de la position des items (Gally, 1998). C'est par l'entraînement que les sujets vont acquérir une information durable sur l'identité et la position des items (Sigurdardottir et al., 1990).

Les conclusions de ce travail pourraient se résumer de la manière suivante: les pigeons développent un mode de traitement Bottom-Up, c'est à dire qu'ils extraient en premier la nature et l'identité des items à produire puis, plus tardivement, l'ordre d'enchaînement de ces derniers. L'humain, au contraire, aurait une approche de type Top-Down en développant rapidement un prototype de la tâche à réaliser, puis identifierait, au long de l'entraînement, les différents éléments qui composent cette tâche (les items).

Il convient toutefois de nuancer l'ensemble de ces conclusions au vu des opportunités que nous laissons à nos sujets d'utiliser tel ou tel processus lors de l'expérimentation. Dans le cadre d'une



étude comparée, il est nécessaire de tenir compte non seulement des limites propres à chaque espèce, mais aussi des limites imposées par le protocole expérimental (DeLillo, 1996).

<b>Figure I.1.1.</b> Evolution des taux de production des couleurs en choix et en répétitions (moyenne et erreur - type) au cours de l'apprentissage (2 premières et 2 dernières séances) selon le mode proactif (groupe AB) et le mode rétroactif (groupe BA).	24-25
<b>Figure I.1.2.</b> Evolution des taux de production (moyenne et erreur-type) des 4 couleurs en première réponse de chaque essai lors des deux premières et des deux dernières séances pour les groupes AB et BA.	25
<b>Figure I.1.3.</b> Plan factoriel F1 x F2 représentant les séquences caractéristiques produites par les sujets des groupes AB et BA au cours de l'apprentissage sériel. Ce plan explique 60% de l'inertie du nuage.	27
<b>Figure I.2.1.</b> Evolution des taux de production des couleurs en choix et en répétitions (moyenne et erreur - type) au cours du surapprentissage (3 premières et 3 dernières séances) selon le mode proactif (groupe AB) et le mode rétroactif (groupe BA).	32
<b>Figure I.2.2.</b> Evolution des fréquences de séquences caractéristiques produites par les deux groupes au cours des 14 séances de rappel.	33
<b>Figure I.2.3.</b> Représentation du plan factoriel F1 x F2 expliquant 51% du Khi-deux total.	34
<b>Figure I.3.1.</b> Evolution au cours de l'apprentissage (Blocs 1 à 5) des nombres moyens par essai de coups de bec, de répétitions et d'erreurs pour les trois groupes.	41
<b>Figure I.3.2.</b> Evolution de la production des choix et des répétitions des quatre items pour les trois groupes lors de l'apprentissage de la série de trois items.	43
<b>Figure I.3.3.</b> Evolution du taux de production de la première réponse débutant chaque essai au cours de l'acquisition de la série de trois items pour les trois groupes.	45
<b>Figure I.3.4.</b> Evolution des fréquences des transitions (graphe de gauche) et des fréquences des répétitions (graphe de droite) entre les 25, 18 et 13 premières séances et les 25, 18 et 13 dernières séances respectivement pour les groupes ABC, CBA et AB_ABC.	47-48
<b>Figure I.3.5.</b> Plan factoriel F1 x F2 représentant les séquences caractéristiques produites par les sujets des groupes ABC, AB_ABC et CBA au cours de l'apprentissage sériel. Ce plan explique 60% de l'inertie du nuage.	51
<b>Figure II.1.1.</b> Taux moyen de production des choix des couleurs et des répétitions des différents items pour chaque tâche.	89
<b>Figure II.1.2.</b> Taux de production de chaque item en première réponse de chaque essai et pour chaque tâche.	92
<b>Figure II.1.3.</b> Evolution du nombre moyen de réponses (échelle logarithmique à droite) et du nombre moyen d'essais (échelle de gauche) avec 3 sujets pour les acquisitions initiales et deux sujets pour les expériences de rappel et d'acquisition de séries recomposées.	94
<b>Figure II.1.4.</b> Nombre moyen par essai de réponses, d'erreurs et de répétitions pour chaque tâche avec des séries de 3 items.	94

<b>Figure II.1.5.</b> Production moyenne des items en termes de choix et de répétitions pour chaque tâche avec des séries de 3 items.	95
<b>Figure II.1.6.</b> Taux moyen individuel de chaque item en première réponse débutant les essais.	96
<b>Figure II.2.1.</b> Evolution du taux de production de chaque items au cours des séries et pour chaque phase du groupe Chromatique.	104
<b>Figure II.2.2.</b> Evolution du taux de production de chaque item en première réponse d'un essai pour chaque phase et chaque série.	105
<b>Figure II.2.3.</b> Evolution du taux de production des 4 items pour chaque phase de chaque série du groupe Divers.	106
<b>Figure II.2.4.</b> Evolution du taux de production de chaque item en première réponse d'un essai pour chaque phase et chaque série dans le groupe Divers.	107

<b>Tableau I.1.1.</b> Synthèse des performances et activités globales. Moyenne et erreur-type sont données pour chaque groupe et pour chaque variable. Une différence significative entre les groupes est spécifiée par une astérisque et sa probabilité est donnée par le t de Student.	23
<b>Tableau I.1.2.</b> Fréquence relative (moyenne et erreur-type) des choix et des répétitions des 4 items présentés pour les deux groupes AB et BA.	23
<b>Tableau I.2.1.</b> Performance et activité globales exprimées par différents paramètres comportementaux (moyenne et erreur-type) pour les groupes AB et BA.	30
<b>Tableau I.2.2.</b> Pourcentages (moyenne et erreur-type) à travers les séances de production (choix et répétitions) pour les 4 items selon les modes proactif et rétroactif.	31
<b>Tableau I.3.1.</b> Performances (moyenne et erreur-type) pour chaque groupe lors de l'acquisition d'une série de trois items. Les valeurs-tests F de l'ANOVA et leurs probabilités sont données dans la quatrième colonne.	39
<b>Tableau I.3.2.</b> Synthèse des tests post-hocs de Newman-Keuls. Les résultats des comparaisons entre le groupe CBA et les groupes ABC et AB_ABC sont exprimés par la probabilité associée au test lorsque la valeur moyenne pour le groupe CBA est significativement supérieure à celle des groupes en colonne pour la variable étudiée.	39
<b>Tableau I.3.3.</b> Synthèse des résultats des ANOVAs Groupes x Blocs pour les variables nombre de réponses, nombre de répétitions et nombre d'erreurs par essai.	40
<b>Tableau I.3.4.</b> Synthèse des tests post-hocs de Newman-Keuls pour les ANOVAs Groupes x Blocs. Les résultats des tests de comparaison entre le groupe CBA et les groupes ABC et AB_ABC sont exprimés par la plus forte probabilité associée au test, lorsque pour la variable étudiée, la valeur du groupe CBA est significativement supérieure à celle des deux autres groupes. Les résultats des interactions expriment pour chaque variable étudiée, les blocs dans lesquels les performances du groupe CBA sont supérieures aux deux autres.	40
<b>Tableau I.3.5.</b> Résultats du modèle Log-linéaire à partir des matrices des transitions de premier ordre pour des blocs de 3 séances. Chaque cellule donne l'interprétation du ratio (Fréquence observée-Fréquence théorique)/Fréquence théorique. Ce ratio nous indique si la transition étudiée est produite au hasard (0), au-dessous du hasard (-) ou au-dessus du hasard (+). Un + ou un - indique que le ratio est supérieur à +/- 1.96 ; ++ ou -- lorsque le ratio est supérieur à +/- 2.50; +++ ou --- pour un ratio +/- 3.66.	49-51
<b>Tableau I.3.6.</b> Résultats de l'analyse de Markov : ordre de dépendance des réponses produites et probabilité d'ajustement du modèle pour chaque individu dans chaque groupe.	52
<b>Tableau I.4.1.</b> Résultats de la simulation de l'acquisition d'un item parmi 4 présentés simultanément, $\beta_{+}=0,02$ et $\beta_{-}=0,18$ .	68
<b>Tableau I.4.2.</b> Résultats de la simulation de l'acquisition d'une série de deux items selon	

les modes proactif et rétroactif, $\beta_{+}=0,1$ et $\beta_{-}=0,14$ .	69
<b>Tableau I.4.3.</b> Résultats de la simulation de l'acquisition d'une série de trois items selon les modes proactif et rétroactif, ABC : $\beta_{+}=0,05$ et $\beta_{-}=0,01$ et CBA : $\beta_{+}=0,03$ et $\beta_{-}=0,03$ .	70
<b>Tableau I.4.4.</b> Résultats de la simulation de l'acquisition d'une série de trois items selon les modes proactif et rétroactif après modification du transfert de valeur, ABC : $\beta_{+}=0,01$ et $\beta_{-}=0,01$ et CBA : $\beta_{+}=0,02$ et $\beta_{-}=0,01$ .	71
<b>Tableau I.4.5.</b> Résultats de la simulation de l'acquisition de la série ABC suite au rappel de AB $\beta_{+}=0,04$ et $\beta_{-}=0,01$ .	72
<b>Tableau I.4.6.</b> Résultats de la simulation de l'acquisition d'un item parmi quatre présentés simultanément : $\beta_{+}=0,05$ et $\beta_{-}=0,25$ .	75
<b>Tableau I.4.7.</b> Résultats de la simulation de l'acquisition de deux items selon les modes proactif et rétroactif. ABC : $\beta_{+}=0,3$ et $\beta_{-}=0,1$ ; CBA : $\beta_{+}=0,01$ et $\beta_{-}=0,1$ .	76
<b>Tableau I.4.8.</b> Résultats de la simulation de l'acquisition de trois items selon les modes proactif et rétroactif. ABC : $\beta_{+}=0,05$ et $\beta_{-}=0,05$ ; CBA : $\beta_{+}=0,1$ et $\beta_{-}=0,1$ .	77
<b>Tableau I.4.9.</b> Résultats de la simulation de l'acquisition de la série ABC après le rappel de AB : $\beta_{+}=0,05$ et $\beta_{-}=0,05$ .	77
<b>Tableau II.1.1</b> Synthèse des performances (moyenne et erreur-type) au cours des différentes tâches de production de séries de deux items.	88
<b>Tableau II.1.2.</b> Taux moyen de production (moyenne et erreur-type) des différents items pour chaque tâche.	89
<b>Tableau II.1.3.</b> Résultats des comparaisons des taux moyen de production des couleurs dans chaque tâche (seuils de significativité > : $p < 0.05$ ; >> : $p < 0.01$ ; >>> : $p < 0.001$ ).	90
<b>Tableau II.1.4.</b> Résultats des comparaisons des taux moyens des couleurs entre les tâches (seuils de significativité > : $p < 0.05$ ; >> : $p < 0.01$ ; >>> : $p < 0.001$ ).	91
<b>Tableau II.1.5.</b> Résultats des comparaisons des taux moyen de production des couleurs en première réponse dans chaque tâche (seuils de significativité > : $p < 0.05$ ; >> : $p < 0.01$ ; >>> : $p < 0.001$ ).	91
<b>Tableau II.2.1.</b> Chronologie des différentes phases expérimentales pour les deux groupes de sujets. La lettre f code pour une teinte fade.	100
<b>Tableau II.2.2.</b> Synthèse des paramètres (moyenne et ESM) pour chaque phase de chaque liste dans les groupes Divers et Chromatiques.	102
<b>Tableau II.2.3.</b> Synthèse des ANOVAs à 2 facteurs Phase x Liste [1-3] relatives aux performances du groupe Chromatique.	103
<b>Tableau II.2.4.</b> Synthèse des ANOVAs Couleur x Liste [1-3] relatives à la production globale des couleurs du groupe Chromatique.	104

<b>Tableau II.2.5.</b> Synthèse des ANOVAs Couleur x Liste [1-3] relatives à la production de couleurs en première réponse d'un essai du groupe Chromatique.	104
<b>Tableau II.2.6.</b> Synthèse des ANOVAS relatives aux performances du groupe Divers.	106
<b>Tableau III.2.7.</b> Synthèse des ANOVAs à 2 facteurs Couleur x Liste [1-3] relatives à la production des couleurs du groupe Divers.	106
<b>Tableau II.2.8.</b> Synthèse des ANOVAs à 2 facteurs Couleur x Liste [1-3] relatives à la production des couleurs en première réponse d'un essai du groupe Divers.	107
<b>Tableau II.2.9.</b> Synthèse des analyses du temps de latence moyen entre deux réponses consécutives lors de l'acquisition de la série 1 pour les deux groupes de sujets.	108
<b>Tableau II.2.10.</b> Synthèse des ANOVAs Groupe x Phase x Liste [1, 4] relatives à la comparaison des performances des deux groupes entre les acquisitions des séries 1 et 4. Les abréviations utilisées sont les suivantes D: Divers et C: Chromatique.	110
<b>Tableau II.2.11.</b> Synthèse des ANOVAs Groupe x Couleur x Liste [1,4] relatives à la production des couleurs. Les abréviations utilisées pour les groupes sont D : Divers et C: Chromatique.	111
<b>Tableau II.2.12.</b> Synthèse des ANOVAs Groupe x Couleur x Liste [1, 4] relatives à la production de la première réponse débutant chaque essai. Les abréviations utilisées pour les groupes sont D : Divers et C: Chromatique.	111
<b>Tableau II.2.13.</b> Synthèse des résultats aux questionnaires ouverts. Le pourcentage affiché correspond au nombre d'étudiant ayant répondu correctement aux questions sur le type de tâche et sur le changement de phase.	113
<b>Tableau II.3.1.</b> Résultats de la simulation de l'acquisition d'un item parmi quatre présentés simultanément : $\beta_{+}=3$ , $\beta_{-}=0,4$ .	115
<b>Tableau II.3.2.</b> Résultats de la simulation de l'acquisition de deux items pour la série 1 : $\beta_{+}=0,1$ et $\beta_{-}=0,1$ et la série 3 : $\beta_{+}=0,4$ et $\beta_{-}=0,1$	115
<b>Tableau II.3.3.</b> Résultats de la simulation de l'acquisition de trois items pour la série 1 : $\beta_{+}=0,1$ et $\beta_{-}=0,3$ et la série 3 : $\beta_{+}=0,1$ et $\beta_{-}=0,1$	116

- ANDERSON, T. W. et GOODMAN, L. A. (1957) Statistical inférence about markov chain, Annals of mathematical statistics, 80-110.
- BEVER, T. G. - (1984) The road from behaviorism to rationalism, in H. L. ROITBLAT, T. G. BEVER and H. S. TERRACE (Eds.), Animal cognition, Erlbaum, New Jersey, 61-75.
- BULLOCK, D. H. et BITTERMAN, M. E. - (1962) Habit reversal in the pigeon, Journal of Comparative and Physiological Psychology, 55, 958-962.
- BUSH, R. R. et MOSTELLER, F. - (1951) A mathematical model for simple learning, The Psychological Review, 58:5, 313-323.
- CAMPS, J-F., CASTERAS, V. et MELAN, C. - (1995) Apprentissage du concept de l'ordre chez le pigeon : processus impliqués et leur médiation par les ganglions de la base, Archives of Physiology and Biochemistry, 103, 45.
- CAMPS, J-P. - (1998) Statistique et Informatique appliquée à une expérience d'apprentissage sériel chez l'humain, Diplôme de fin d'études de L'Institut Universitaire de Technologie STID, Carcassonne.
- CASTERAS, V. - (1992) Apprentissage sériel chez le pigeon *Columba livia*, études comportementale et électrophysiologique, D.E.A. de Sciences du Comportement et Neurosciences Cognitives.
- CASTERAS, V. - (1996) Etude des processus impliqués dans l'acquisition de tâches complexes chez le pigeon (*Columba livia*). Thèse en Neurosciences de l'Université Paul Sabatier, Toulouse.
- CASTERAS, V., CAMPS, J-F. et MELAN, C. - (1997) Serial learning in the pigeon in a free correction procedure: Role of reinforcing values, Comptes Rendus de l'Académie des Sciences, 320, 375-384.
- CAPALDI, E. J., VERRY, D. R. et DAVIDSON, T. L. - (1980) Memory, serial anticipation pattern learning and transfer in rats, Animal Learning and Behavior, 8, 575-585.
- CHEVALET, P., LE PAPE, G. et LASSALLE, J-M. - (1987) Mise en évidence des effets grand-maternels sur les conduites maternelles de la souris, Behavioral Processes, 15, 123-130.
- CHEVALET, P., LE PAPE, G. et LASSALLE, J-M.- (1988) Développement comportemental avant le sevrage chez la souris : méthodes et techniques de mesure et d'analyse, Science and Technology in Animal Laboratory, 13, 109-119.
- CHOMSKY, N. - (1957) Syntactic structures, Mouton, The Hague.
- CHOMSKY, N. - (1959) A review of Skinner's Verbal Behavior, Language, 35, 26-58.
- COHEN, A., IVRY, R. I. et KEELE, S. W. - (1990) Attention and structure in sequence learning, Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory and Cognition, 16, 17-30.
- CROWDER, R. G. (1976) Principles of learning and memory, Hillsdale, Erlbaum, New Jersey.
- COUVILLON, P. A. et BITTERMAN, M. E. - (1992) A conventional conditioning analysis of transitive inference in pigeons, Journal of Experimental Psychology, Animal Behavior Processes, 18, 308-310.
- D'AMATO, M. R. et COLOMBO, M. - (1988) Representation of serial order in monkeys, (*Cebus apella*), Journal of Experimental Psychology, Animal Behavior Processes, 14, 131-139.
- D'AMATO, M. R. et COLOMBO, M. - (1990) The symbolic distance effect in monkeys (*cebus apella*), Animal learning and behavior, 18, 133-140.
- D'AMATO, M. R. - (1991) Comparative cognition: Processing of serial order and serial pattern, in L. DACHOWSKY et C. F. FLATHERTY (Eds.), Current topics in animal learning: Brain emotion and cognition, Erlbaum, New Jersey, 165-187.

- DARWIN, C. - (1871) *The Descent of Man and Selection in Relation to Sex*, London, Murray.
- DELIUS, J. D. et SIEMANN, M. - (1998) Transitive responding in animals and humans: Exaptation rather than adaptation?, *Behavioural processes*, *42*, 107-137.
- DE LILLO, C. - (1996) The serial organisation of behaviour by non-human primates ; an evaluation of experimental paradigms, *Behavioural Brain Research*, *91*: 1-17.
- DURIF, C. - (1997) *Le système visuel : approches comportementales et neuro-histochimiques*, Diplôme d'études supérieures universitaire, Université Paul Sabatier, Toulouse.
- EBENHOLTZ, S. M. - (1963) Position mediated transfer between serial learning and a spatial discrimination task, *Journal of Experimental Psychology*, *65*, 603-608.
- EBBINGHAUS H. (Ed.) - (1913) *Memory: A contribution to experimental psychology*, New York, Columbia University.
- ESTES, W. K. - (1950) Toward a statistical theory of learning, *Psychological Review*, *57*, 94-107.
- FECHNER, G. T. - (1860) *Elemente der Psychophysics*, Vol I & II, Breitkopf und Hartel (Eds.), Germany, Leipzig.
- FERSEN, L. von, WYNNE, C. D. L., DELIUS, J. D. et STADDON, J. E. R. - (1990) Deductive reasoning in pigeons, *Naturwissenschaften*, *77*, 548-549.
- FERSEN, L. von, WYNNE, C. D. L., DELIUS, J. D. et STADDON, J. E. R. - (1991) Transitive inference formation in pigeons, *Journal of Experimental Psychology, Animal Behavior Processes*, *17*, 334-341.
- FEZZANI, K. - (1995) *Demande attentionnelle et apprentissage implicite dans une tâche de pointage visuo-moteur séquentiel*, Thèse en Psychologie cognitive de l'Université Paul Sabatier, Toulouse.
- GELLERMAN, C. W. - (1933) Chance orders of alternating stimuli in visual discrimination experiments, *Journal of Genetic Psychology*, *42*, 206-208.
- GOTTMAN, J. M. et ROY, A. K. - (1990) *Sequential analysis - A guide to behavioral research*, Cambridge University Press, Cambridge.
- GREEN, G., SIGURDARDOTTIR, Z. G. et SAUNDERS, R. R. - (1991) The role of instructions in the transfer of ordinal functions through equivalence classes, *Journal of the Experimental Analysis of Behavior*, *55*, 287-304.
- GULLIKSEN, H. A. - (1934) A rational equation of the learning curve based on Thorndike's law of effect, *Journal of General Psychology*, *11*, 395-434.
- GUTHRIE, E. R. - (1935) *The psychology of learning*, Harper and Row, New York.
- HULL, C. L. - (1931) Goal attraction and directing ideas conceived as habit phenomena, *Psychological Review*, *38*, 487-506.
- HULSE S. H. - (1978) Serial pattern learning, in S. H. HULSE, H. FOWLER et W. K. HONIG (Edit.), *Cognitive processes in animal behavior*, New York, Erlbaum, 311-340.
- HULSE, S. H. et CAMPBELL, C. E. - (1975) "Thinking ahead" in rat discrimination learning, *Animal Learning and Behavior*, *3*, 305-311.
- HULSE, S. H. - (1978) Cognitive structure and serial pattern learning by animals, in S. H. HULSE, H. FOWLER and W. K. HONIG (Eds), *Cognitive Processes in animal behavior*, Hillsdale, Erlbaum, New Jersey.
- HULSE S. H. et DORSKY N. P. - (1979) Structural complexity as a determinant of serial pattern learning, *Learning and Motivation*, *8*, 488-506.



- HUNTER, W. S. - (1913) The delayed reaction in animal, Behavior monograph, 2-6.
- HUNTER, W. S. - (1920) The temporal maze and kinaesthetic sensory processes in the white rat, Psychobiology, 2, 1-17.
- JENSEN, A. R. et ROHWER, W. D. - (1965) What is learned in serial learning, Journal of Verbal learning and Verbal Behavior, 4, 62-72.
- KANDEL, E. R., SCHWARTZ, J. H. et JESSEL, T. M. (Eds.) - (1991) Principles of neural science (3<sup>rd</sup> ed.), Prentice-Hall, London.
- LASHLEY, K. S. - (1951) The problem of serial order in behavior, in L. A. JEFFRESS (Ed.), Cerebral mechanisms in behavior, Wiley, New York, 112-136.
- LEBART, M. et SALEM, A. - (1988) Analyse statistique des données textuelles, Dunod, Paris.
- LEE, Y-S. - (1995) Effects of learning contexts on implicit and explicit learning, Memory and Cognition, 23:6, 723-734.
- LUCE, R. D. - (1959) Individual choice behavior, Wiley, New York.
- LUCK, S., COLGROVE, M. et NEURINGER, A - (1988) Response sequence learning as a function of primary versus conditioned reinforcement, Animal Learning and Behavior, 16, 8-14.
- MACDONALD, S. E. - (1993) Delayed matching-to-successive samples in pigeons: Short-term memory for item and order information, Animal Learning and Behavior, 1, 59-67.
- MACPHAIL, E. M. (Ed.) - (1982) Brain and intelligence in vertebrates, Clarendon Press, Oxford, .
- MAYDACK, M., STROMER, R., MACKAY, H. A. et STODDARD, L. T. - (1995) Stimulus classes in matching to sample and sequence production: The emergence of numeric relations, Research in developmental disabilities, 16:3, 179-204.
- MELAN, C., CASTERAS, V., CORBIERE, M. et GALLO, A. - (1996) Response strategies during acquisition of serial learning in pigeons (*Columba livia*), Behavioural Processes, 36, 39-50.
- MISHKIN, M. et DELACOUR, J. (1975) An analysis of short-term visual memory in the monkey, Journal of Experimental Psychology, Animal Behavior Processes, 1, 326-334.
- NISSEN, M. J. et BULLEMER, P. - (1987) Attentional requirements of learning: Evidence from performance measures, Cognitive Psychology, 19, 1-32.
- OLTON, D. S. et SAMUELSON, R. J. - (1976) Remembrance of places passed: Spatial memory in rats, Journal of Experimental Psychology, Animal Behavior Processes, 2, 97-116.
- OLTON, D. S., SHAPIRO, M. L. et HULSE, S. H. - (1984) Working memory and serial pattern, in H. L. ROITBLAT, T. G. BEVER et H. S. TERRACE (Eds), Animal cognition, Erlbaum, New Jersey, 171-182.
- PAVLOV, I. P. - (1927) Conditioned reflexes, Oxford: Oxford University Press, New York: Dover.
- PERRUCHET, P. et AMORIN, M-A. - (1992) Conscious knowledge and changes in performance in sequence learning: Evidence against dissociation, Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory and Cognition, 18, 785-800.
- PIAGET, J. - (1965) Logic and psychology, Manchester: University Press.
- REBER, A. S. - (1989) Implicit learning and tacit knowledge, Journal of Experimental Psychology, General, 118, 219-235.
- RESCORLA, R. A. et WAGNER, A. R. - (1972) A theory of pavlovian conditioning: Variations of the effectiveness of reinforcement and nonreinforcement, in A.H. BLACK & W.F. PROSAKY (Eds), Classical conditioning: Current research and theory, Appleton, New York, 64-99.

- ROITBLAT, H. L., POLOGE, B. et SCOPATZ, R. A. - (1987) The representation of items in serial order, Animal Learning and Behavior, 15, 179-192.
- ROITBLAT, H. L. (Ed.) - (1987) Introduction to comparative cognition, W. H. Freeman and Co, New York.
- ROMANES, G. J. - (1882) Animal Intelligence (2<sup>nd</sup> Ed.), Kegan Paul, London.
- SHIMP, C. P. - (1976) Short-term memory in the pigeon: Relative recency, Journal of Experimental Analysis of Behavior, 25, 55-61.
- SHULL, R. L. - (1991) Mathematical description of operant behavior: An introduction, Iversen and Lattal (eds), Elsevier, 243-281.
- SIEMANN, M. et DELIUS, J. D. - (1994) Processing of hierarchic stimulus structures has advantages in humans and animals, Biological cybernetics, 71, 531-536.
- SIEMANN, M., DELIUS, J. D. et WRIGHT, A. A. - (1996a) Transitive responding in pigeons: influences of stimulus frequency and reinforcement history, Behavioural Processes, 37, 185-95.
- SIEMANN, M., DELIUS, J. D., DOMBROWSKI, D. et DANIEL, S. - (1996b) Value transfer in discriminative conditioning with pigeons, The Psychological Record, 46, 707-728.
- SIEMANN M. et DELIUS J. D. - (1997) Learning and neural network models for transitive and nontransitive responding in humans and animals, European Journal of Cognitive Psychology, in press.
- SIGURDARDOTTIR, Z. G., GREEN, G. et SAUNDERS, R. R. - (1990) Equivalence classes generated by sequence training, Journal of the Experimental Analysis of Behavior, 53, 47-63.
- SIMON, H. A. et KOTOVSKY, K. - (1963) Human acquisition of concepts for sequential patterns, Psychological Review, 70, 534-546.
- SKINNER, B. F. - (1934) The extinction of chained reflexes, Proceedings of the National Academy of Sciences, 20, 234-237.
- SKINNER, B. F. (Ed.) - (1938) The behavior of organisms, Appleton-Century-Crofts, New York.
- SKINNER, B. F. - (1953) Science and human behavior, MacMillan, New York.
- SLAMECKA, N. J. - (1964) In inquiry into the doctrine of remote associations, Psychological Review, 71, 61-76.
- SLAMECKA, N. J. - (1985) Ebbinghaus: Some associations, Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory and Cognition, 11, 414-435.
- STADLER, M. A. - (1992) Statistical structure and implicit serial learning, Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory and Cognition, 18:2, 318-327.
- STRAUB, R. O., SEIDENBERG, M. S., BEVER, T. G. et TERRACE, H. S. - (1979) Serial learning in the pigeon, Journal of Experimental Analysis of Behavior, 32, 137-148.
- STRAUB, R. O. et TERRACE, H. S. - (1981) Generalisation of serial learning in the pigeon, Animal Learning and Behavior, 9, 454-468.
- STROMER, R. et MACKAY, H. A. - (1993) Human sequential behavior: Relations among stimuli, class formation, and derived sequences, The Psychological Record, 43, 107-131.
- SWARTZ, K. B., CHEN, S. et TERRACE, H. S. - (1991) Serial learning by rhesus monkeys: I. Acquisition and retention of multiple four-item lists, Journal of Experimental Psychology, Animal Behavior Processes, 17, 396-410.
- TERRACE, H. S. - (1986a) A non verbal organism's knowledge of ordinal position in a serial learning

- task, Journal of Experimental Psychology, Animal Behavior Processes, 12, 203-214.
- TERRACE, H. S. - (1986b) Positive transfer from sequence production to sequence discrimination in a nonverbal organism, Journal of Experimental Psychology, Animal Behavior Processes, 12, 215-234.
- TERRACE, H. S. - (1987) Chunking by a pigeon in serial learning task, Nature, 325, 149-151.
- TERRACE, H. S. - (1991) Chunking during serial learning by a pigeon: Basic evidence, Journal of Experimental Psychology, Animal Behavior Processes, 17, 81-93.
- TERRACE, H. S. - (1993) The phylogeny and ontogeny of serial memory: List learning by pigeons and monkeys, Psychological Science, 4, 162-169.
- TERRACE, H. S. et MACGONIGLE, B. O. (1994) Memory and representation of serial order by children, monkeys and pigeons, Current Directions in Psychological Science, 3: 6, 180-185.
- TERRACE, H. S., CHEN, S. et NEWMAN, A. B. - (1995) Serial learning with a wild card by pigeons (*Columba livia*): Effect of list length, Journal of Comparative Psychology, 109, 162-172.
- TERRACE, H. S., CHEN, S. et JASWAL, V. - (1996) Recall of three-item sequences by pigeons, Animal Learning and Behavior, 24, 193-205.
- THORNDIKE, E. L. - (1911) *Animal intelligence: Experimental studies*, Macmillan, New York.
- THORNDIKE, E. L. - (1913) *Educational psychology: II The psychology of learning*, Teacher's College, New York.
- TINBERGEN, N. et PERDECK, A. C. On the stimulus situation releasing the begging response in the newly hatched Herring Gull chick (*Larus argentatus argentatus* pont;), *Behaviour*, 3, 1-39.
- TOLMAN, E. C. - (1948) Cognitive maps in rats and man, Psychological Review, 55, 189-208.
- TRABASSO, T. et RILEY, C. A. - (1975) The construction and use of representations involving linear order, in R. Solso (Ed.), Information processing and cognition, 381-410.
- WATSON, J. B. - (1913) Psychology as the behaviorist views it, Psychological Review, 20, 158-177.
- WEISMAN, R. G., WASSERMAN, E. A., NELSON, K. R. et LAREW, M. B. - (1980) Representation and retention of two-event sequences in pigeons, Journal of Experimental Psychology, Animal Behavior Processes, 6, 312-325.
- WRIGHT, A. A., SANTIAGO, H. C., SANDS, S. F. et URCUIOLI, P. J. - (1984) in H. L. ROITBLAT, T. G. BEVER et H. S. TERRACE (Eds.), *Animal cognition*, Erlbaum, New Jersey, 353-373.
- WYNNE, C.D.L. (1995) Reinforcement accounts for transitive inference performance, Animal Learning and Behavior, 23, 207-217.
- ZENTALL, R. T., HOGAN, D. E. et EDWARDS, C.A. - (1984) Cognitive factors in conditional learning by pigeons, in H. L. ROITBLAT, T. G. BEVER et H. S. TERRACE (Eds.), *Animal cognition*, Erlbaum, New Jersey, 389-405.

Synthèse des comparaisons pour chaque groupe et pour chaque bloc des réponses en terme de choix et de répétitions pour les expériences d'acquisition de séries de 3 items (p.42)

Vu le très faible taux de production de l'item D, nous n'en tiendrons pas compte dans nos analyses. Les seuils de significativité aux tests ont été représentés de la manière suivante : > :  $p < 0.05$  ; >> :  $p < 0.01$  ; >>> :  $p < 0.001$ ).

Groupe ABC

	Réponse	Choix	Répétitions
B2	C>>>A ; C>>B	C>A	C>A ; C>>B
B3	C>>A ; C>>B	C>>A ; C>>B	C>>>A ; C>B
B7	B>>>A ; B>C	B>>>A ; B>>>C	B>A
B8	B>>>A ; B>>>C	B>>>A ; B>>C	B>A

Groupe AB ABC

	Réponse	Choix	Répétitions
B1 et B2	A>>>C B>>>C	A>>>C B>>>C	A>C B>C
B6	C>A C>B		C>>A C>>B

Groupe CBA

	Réponse	Choix	Répétitions
B1 et B2	A>>>C A>>>C	A>>>C B>>>C	A>>>C B>>>C
B3 et B4	A>>B>>>C A>B>>>C	A>>B>>>C A>>B>>>C	A>>>B>>>C A>B>>>C
B6 à B8	B>A>>>C	B=A>>>C	B>A>>>C