



Université d'Ottawa - University of Ottawa

**PERMISSION DE REPRODUIRE
ET DE DISTRIBUER LA THÈSE**

**PERMISSION TO REPRODUCE AND
DISTRIBUTE THE THESIS**

NOM DE L'AUTEUR / NAME OF AUTHOR:	France LANDRY
ADRESSE POSTALE / MAILING ADDRESS:	4659 St-Dominique Montréal, QC H2T 1T7
GRADE / DEGREE:	ANNÉE D'OBTENTION / YEAR GRANTED
Ph.D.(Psychologie)	2003
TITRE DE LA THÈSE / TITLE OF THESIS: La reconnaissance de formes bidimensionnelles chez le pigeon : le rôle de la position et de l'orientation des composantes	

L'auteur permet, par la présente, la consultation et le prêt de cette thèse en conformité avec les règlements établis par le bibliothécaire en chef de l'Université d'Ottawa. L'auteur autorise aussi l'Université d'Ottawa, ses successeurs et cessionnaires, à reproduire cet exemplaire par photographie ou photocopie pour fins de prêt ou de vente au prix coûtant aux bibliothèques ou aux chercheurs qui en feront la demande.

Les droits de publication par tout autre moyen et pour vente au public demeureront la propriété de l'auteur de la thèse sous réserve des règlements de l'Université d'Ottawa en matière de publication de thèses.

The author hereby permits the consultation and the lending of this thesis pursuant to the regulations established by the Chief Librarian of the University of Ottawa. The author also authorizes the University of Ottawa, its successors and assignees, to make reproductions of this copy by photographic means or by photocopying and to lend or sell such reproductions at cost to libraries and to scholars requesting them.

The right to publish the thesis by other means and to sell it to the public is reserved to the author, subject to the regulations of the University of Ottawa governing the publication of theses.

N.B. LE MASCULIN COMPREND ÉGALEMENT LE FÉMININ

5 mai 2003

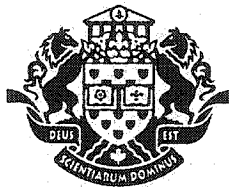
DATE

France Landry

(AUTEUR)

SIGNATURE

(AUTHOR)



Université d'Ottawa • University of Ottawa



Université d'Ottawa - University of Ottawa

FACULTÉ DES ÉTUDES SUPÉRIEURES ET
POSTDOCTORALES

FACULTY OF GRADUATE AND
POSTDOCTORAL STUDIES

LANDRY, France

AUTEUR DE LA THÈSE - AUTHOR OF THESIS

Ph.D. (Psychologie)

GRADE - DEGREE

École de psychologie

FACULTÉ, ÉCOLE, DÉPARTEMENT - FACULTY, SCHOOL, DEPARTMENT

TITRE DE LA THÈSE - TITLE OF THE THESIS

La reconnaissance de formes bidimensionnelles chez le pigeon :
le rôle de la position et de l'orientation des composantes

Catherine Plowright

DIRECTEUR DE LA THÈSE - THESIS SUPERVISOR

EXAMINATEURS DE LA THÈSE - THESIS EXAMINERS

A. Desrochers

G. Fouriez

P. Mercier

C. Dumas

J.-M. De Koninck, Ph.D.

LE DOYEN DE LA FACULTÉ DES ÉTUDES
SUPÉRIEURES ET POSTDOCTORALES

SIGNATURE

DEAN OF THE FACULTY OF GRADUATE
AND POSTDOCTORAL STUDIES

La reconnaissance de formes bidimensionnelles chez le pigeon :
le rôle de la position et de l'orientation des composantes

France Landry

Superviseure de thèse :

Dre Catherine Plowright

Membres de Comité :

Dr Alain Desrochers

Dr George Fouriezos

Dr Pierre Mercier

Soumis à la Faculté des Études Supérieures de l'Université d'Ottawa en accord avec les exigences
du programme de Doctorat en Psychologie, mai 2003

© France Landry, Ottawa, Canada, 2003



National Library
of Canada

Acquisitions and
Bibliographic Services

395 Wellington Street
Ottawa ON K1A 0N4
Canada

Bibliothèque nationale
du Canada

Acquisitions et
services bibliographiques

395, rue Wellington
Ottawa ON K1A 0N4
Canada

Your file *Votre référence*

Our file *Notre référence*

The author has granted a non-exclusive licence allowing the National Library of Canada to reproduce, loan, distribute or sell copies of this thesis in microform, paper or electronic formats.

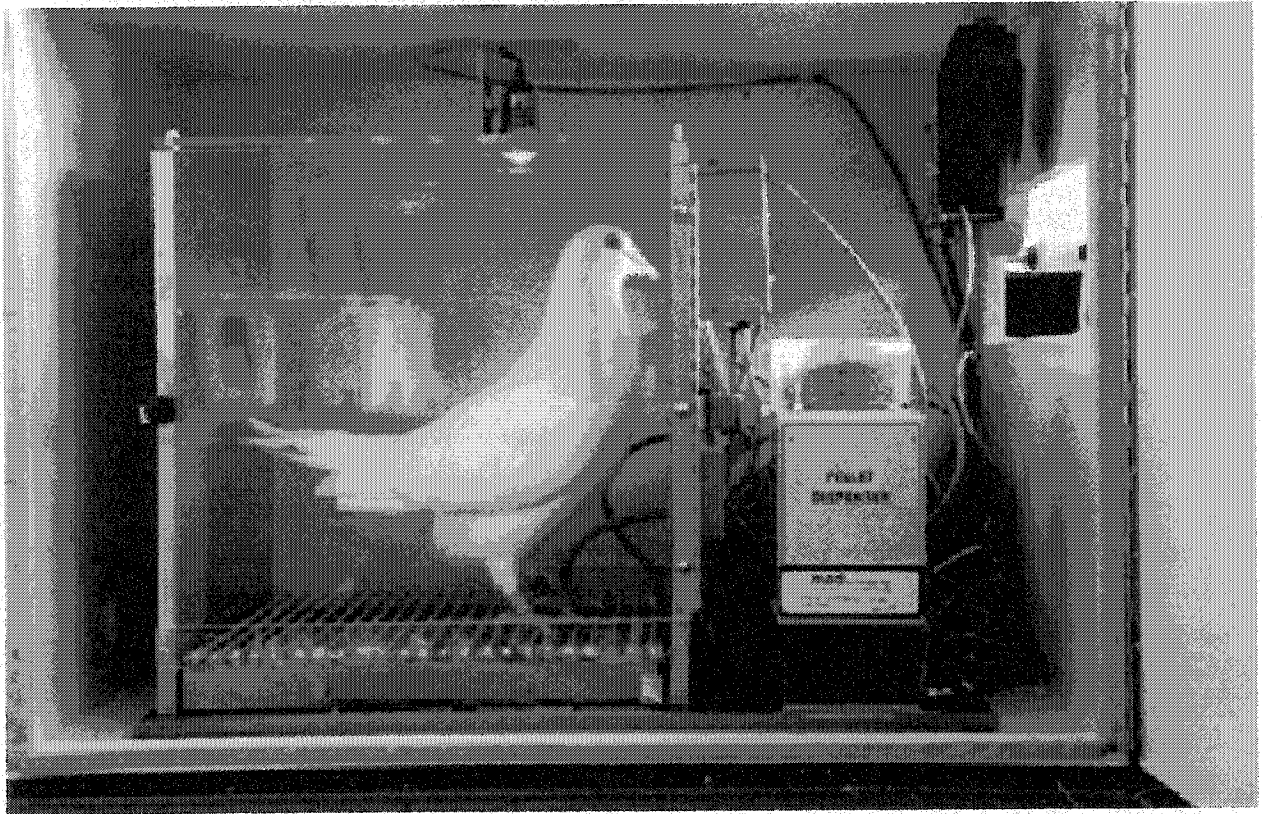
The author retains ownership of the copyright in this thesis. Neither the thesis nor substantial extracts from it may be printed or otherwise reproduced without the author's permission.

L'auteur a accordé une licence non exclusive permettant à la Bibliothèque nationale du Canada de reproduire, prêter, distribuer ou vendre des copies de cette thèse sous la forme de microfiche/film, de reproduction sur papier ou sur format électronique.

L'auteur conserve la propriété du droit d'auteur qui protège cette thèse. Ni la thèse ni des extraits substantiels de celle-ci ne doivent être imprimés ou autrement reproduits sans son autorisation.

0-612-79307-9

Canada



À
Aïda, Mimi,
Pigeonnette et les
autres « bébittes à
plumes »

Résumé

La présente étude propose premièrement une recension des écrits en lien avec les processus impliqués dans la reconnaissance des formes et, plus spécifiquement, traite du rôle de la position et de l'orientation dans la reconnaissance de formes en deux dimensions chez le pigeon. Subséquemment, trois expériences ayant comme objectif de déterminer la valeur et l'utilisation de ces dimensions spatiales sont présentées. Ces trois expériences proposent une procédure similaire où il y a tout d'abord une période d'apprentissage d'une discrimination entre deux stimuli comportant des dimensions différentes et ensuite un jugement de similarité entre ces stimuli et de nouveaux stimuli présentant des transformations des dimensions spatiales utilisées.

Le choix des pigeons est mesuré par la fréquence de réponses à ces nouveaux stimuli. La première expérience met en conflit l'information de la position et de l'orientation des composantes dans une tâche de jugement de similarité. Les résultats révèlent que l'information de la position est prédominante sur celle de l'orientation. La deuxième expérience contraste l'information de la position et celle de la forme géométrique et tente de déterminer laquelle de ces informations détient un contrôle sur la similarité perçue lors de modifications de ces dimensions. Les résultats démontrent que l'information de la position est également prédominante sur la forme géométrique.

La troisième expérience s'attarde à l'organisation spatiale interne des composantes en utilisant des stimuli produisant une confusion chez plusieurs espèces, soit l'image miroir gauche-droite et la transposition simple des composantes de la gauche et de la droite. Les résultats attestent que non seulement les pigeons n'ont pas confondu les différentes transformations, mais que, contrairement aux recherches antérieures et en concordance avec les résultats des deux premières expériences, ils ont porté une attention particulière à la position de chaque composante.

Finalemant, la discussion générale propose certaines explications théoriques et contraste les résultats obtenus aux théories de reconnaissance existantes.

TABLE DES MATIÈRES

	Page
RÉSUMÉ.....	3
REMERCIEMENTS.....	8
INTRODUCTION.....	9
Théories de reconnaissance des formes.....	11
Théorie de l'appariement à un gabarit.....	13
Théorie des caractéristiques.....	15
Théories structurelles.....	17
Invariance.....	19
Invariance de la taille.....	19
Invariance de l'orientation.....	21
Invariance de la position.....	24
Organisation spatiale.....	26
Le cas particulier de l'image miroir et de la transposition gauche-droite des éléments.....	27
Méthodes et procédures utilisées.....	29
Objectifs et buts des trois expériences.....	31
ARTICLE 1 (anglais).....	32
Résumé.....	34
Introduction.....	35
Introduction de l'Expérience 1	37
Méthode.....	38

Résultats.....	41
Discussion.....	44
Introduction de l'Expérience 2.....	46
Méthode.....	47
Résultats.....	49
Discussion.....	52
Discussion générale	53
Références.....	56
Remerciements.....	59
Tableau.....	60
Liste des figures.....	61
ARTICLE 2 (anglais).....	62
Résumé.....	64
Introduction.....	65
Méthode.....	68
Résultats.....	71
Discussion.....	73
Références.....	76
Remerciements.....	79
Tableau.....	80
Liste des figures.....	81
Discussion Générale.....	82
Résumé des résultats des trois expériences.....	82

Significations théoriques.....	84
Comparaison avec les théories de reconnaissance.....	89
Parallèle avec la théorie de l'appariement à un gabarit	89
Parallèle avec la théorie des caractéristiques.....	90
Parallèle avec la théorie structurelle.....	90
Remarques méthodologiques.....	91
Conclusion.....	93
Références (Introduction et discussion générale).....	95

Remerciements

Plus qu'un programme académique conduisant à l'obtention d'un diplôme, les cinq années passées dans le laboratoire de cognition animale ont été une excursion durant laquelle diverses expériences ont non seulement orienté ma carrière mais ont contribué à une prise de conscience des liens entre l'individu et l'animal avec lequel il partage la planète.

L'apparence est un clapet dont on ne sort qu'en s'élargissant; la métamorphose une grâce qu'on refuse par avarice.

(Olivier Germain-Thomas, 2001)

Je dois à Catherine la liberté d'avoir pu explorer diverses avenues, de m'avoir soutenue et guidée. À Pierre Mercier et Alain Desrochers, les inestimables conseils promulgués durant nos rencontres. À Georges Fouriezos, la disponibilité de se joindre au comité à la toute fin. À Sylvie Emond, une aide précieuse à l'animalerie. Aux membres du laboratoire de cognition animale, Ginny, Dana, Dalit et Martine, un support moral indéfectible. À mes deux amies Isabelle et Roxane, les critiques constructives et l'empathie sans limite. À Claude Lamontagne, le plaisir de l'enseignement, l'analyse critique et l'importance théorique :

There is no sadder sight in life than a beautiful theory mugged by a gang of facts
(auteur inconnu)

....and this is a gang of facts which have no beautiful theory to mug.

(Claude Lamontagne)

Finalement, merci à ma famille, Micheline, Marc et Bob qui m'ont toujours encouragée et à toi, Nicolas, qui a été mon interlocuteur le plus inspirant et ma source de procrastination la plus plaisante.

La reconnaissance de formes bidimensionnelles chez le pigeon :

le rôle de la position et de l'orientation des composantes

Les humains et les autres animaux ont recours à leur système visuel dans la plupart de leurs activités quotidiennes. Des demandes environnementales similaires, comme devoir reconnaître un objet à partir de différents points de vue ou à distance variable, ont pu faire apparaître des habiletés visuelles similaires chez les humains et les pigeons. En plus d'avoir des problématiques communes aux deux espèces, l'appareil visuel aviaire est similaire à celui des humains au niveau biologique. Donovan (1978) présente un survol complet des similarités et des différences entre le système visuel humain et le système aviaire, en plus de présenter les particularités des attributs biologiques et physiologiques propres au pigeon (l'étendue du champ visuel, la sensibilité à la couleur, l'acuité visuelle, etc.). Une prémisse de similarité permet d'extraire des suppositions et des hypothèses conduisant à l'élaboration de modèles de reconnaissance visuelle plus généraux. Somme toute, la connaissance étendue des comportements et des capacités visuelles semblables à celles des humains ainsi que son accessibilité pour la recherche expliquent la popularité du pigeon auprès des chercheurs.

L'information visuelle parvenant aux yeux détient des propriétés et est traitée par des mécanismes cognitifs (opérations mentales) qui sous-tendent les comportements de l'organisme. L'un de ces mécanismes cognitifs, la reconnaissance des formes, des objets ou des images, sera le centre d'intérêt de cette thèse.

Suite au déclin du mouvement behavioriste dans les années 60 (période qui correspond également à une croissance dans le domaine informatique et à la popularité de l'étude de l'intelligence artificielle), la psychologie expérimentale humaine s'est tournée vers les théories

cognitives dans lesquelles des mécanismes mentaux, se situant théoriquement entre le stimulus environnemental et l'action conséquente, sont inférés. Parallèlement, les chercheurs intéressés aux comportements des animaux se sont aussi attardés à leurs habiletés mentales, créant ainsi les fondations de la cognition comparée. Un des éléments qui caractérisent la cognition tant humaine qu'animale est celui de la représentation mentale, c'est-à-dire la capacité de se représenter mentalement l'information et d'y effectuer des manipulations. Cette représentation est une construction issue de l'action du système visuel et du système nerveux central. La représentation implique une capacité à former une trace d'un stimulus, à la conserver en mémoire et à la récupérer (Vauclair, 1994). On peut dire qu'un animal est capable de représentation lorsqu'il peut réactiver et utiliser une information qui n'est plus disponible dans son environnement immédiat. La forme de représentation utilisée dans le domaine visuel est l'image mentale. Celle-ci constitue la représentation interne déclenchée en l'absence de son objet et ayant des caractéristiques similaires à ce qui est perçu. Dans les études avec des participants humains, le critère pour déterminer l'utilisation d'images mentales se réfère à la manipulation d'information qui n'est plus présente au participant (Pinker, 1984). Par exemple, Cooper et Shepard (1973) ont tenté de démontrer que les transformations que l'on applique sur les images mentales suivent les mêmes règles que celles que l'on applique sur de vrais objets. Une expérience effectuée par Sheppard et Metzler (1971) avec des objets tridimensionnels a permis de découvrir que plus l'orientation sur un plan x, y ou z (en profondeur) est grande — jusqu'à 180 degrés — plus le temps pour répondre à une discrimination « pareil-différent » est long. Ce résultat suggère que le participant exerce une rotation mentale sur l'un des objets dans le but d'aligner les deux et d'en faire la comparaison. D'autres exemples d'opérations mentales sur une représentation consistent en des phénomènes de

comparaison mentale entre des images ou des événements et l'exploration mentale, c'est-à-dire la capacité de passer mentalement en revue un objet ou un lieu en suivant un certain ordre ou une certaine organisation (Le Ny, 1994).

Chez les animaux, les notions d'images et de représentations mentales sont récentes et encore controversées. Plusieurs tentent toutefois d'y apporter un appui empirique. Par exemple, Neiworth et Rilling (1987) ont soulevé la possibilité que les pigeons transforment l'image mentale d'une aiguille d'horloge pour prédire sa trajectoire. Cette habileté fait appel non seulement à la construction d'une image mentale mais aussi aux habiletés cognitives de la mémoire, à la notion du passage du temps et à celle du déplacement mental. Les théories de reconnaissance d'objets ont leur assise dans cette faculté de se construire et d'utiliser une représentation mentale.

La définition des images ou objets visuels à partir desquelles sont construites les images mentales se traduit par une collection de composantes qui peuvent être quantitatives ou qualitatives (Tversky, 1977). Par exemple, Sheppard (1980) propose une définition en terme de dimensions continues comme la couleur, la taille, etc. Steele (1990) propose une définition plus souple en suggérant qu'un phénomène de différenciation (ce qui contrôle la façon dont un objet est démantelé en unités) détermine les éléments, caractéristiques ou dimensions qui constituent la forme. Les termes utilisés (caractéristiques, dimensions, objet) sont donc flexibles et variables et semblent reposer, en grande partie, sur l'intention du chercheur. Dans le présent texte, la notion de caractéristiques renvoie aux unités physiques constituantes de la forme (par exemple, la lettre b possède un cercle et une barre verticale) alors que le terme dimension renvoie aux variables indépendantes (orientation, position, etc.) qui peuvent prendre différentes valeurs.

Théories de reconnaissance des formes

La reconnaissance des formes se définit généralement comme un processus cognitif se produisant au stade de la perception visuelle où le stimulus est identifié. La vision ou les processus perceptifs sont, en fait, la modalité par laquelle se produit la reconnaissance visuelle. Plus spécifiquement, le processus de reconnaissance se conçoit comme l'appariement entre les éléments perçus par le système visuel et la représentation mentale qui est entreposée en mémoire. Les éléments perçus englobent l'information visuelle comme la forme, la couleur, etc., alors que la représentation en mémoire se réfère aux entités encodées et emmagasinées avec lesquelles les perceptions sont comparées.

Les théories de reconnaissance des formes tentent principalement d'identifier la nature de la représentation en mémoire, le contrôle qu'exercent les propriétés des stimuli visuels sur le processus de reconnaissance et les mécanismes qui permettent l'encodage. La plupart de ces théories ont leur fondement dans le cadre théorique de la Gestalt qui stipule que l'humain a tendance à percevoir les choses de façon organisée plutôt qu'une succession de perceptions désorganisées. Différents principes perceptifs soutiennent l'approche gestaltiste (Imbert et de Schonen, 1994) : 1) le principe de proximité et de similitude : la distance entre les éléments et leur similarité ont tendance à créer une perception de groupement plutôt qu'une collection d'éléments individuels; 2) le principe du sort commun : les éléments qui se déplacent ensemble ont tendance à être perçus comme appartenant à la même forme; 3) le principe de bonne continuation et de fermeture : l'organisation perceptive préserve l'unité ou la continuation par opposition à des changements brusques ou à l'interruption d'un contour. De plus, le système perceptif humain a tendance à percevoir la forme comme une figure fermée. Les tenants de la pensée gestaltiste résument sous le titre de loi de prégnance l'ensemble de ces principes. La plupart de ces postulats

organisationnels ont été observés chez le pigeon (Cook, 1993; Blough, 1984), à l'exception du principe de bonne continuation (Fujita, 2001; Sekuler, Lee et Shettleworth, 1996; Ushitani, Fujita et Yamanaka, 2001).

L'approche constructiviste apporte également une contribution aux théories de reconnaissance des formes puisque celles-ci dépendent en partie de la notion que les formes sont composées et dérivées d'éléments simples. La plupart des théories actuelles de la reconnaissance des formes s'appuient sur des processus de traitement ascendants (« bottom-up »). Cette perspective met l'accent principalement sur la notion que le traitement de l'information s'amorce avec les éléments simples formant l'image visuelle et se poursuit de façon hiérarchique jusqu'aux notions d'organisation cognitive ou processus d'ordre supérieur. Chez les humains et les pigeons, trois grandes familles de théories tentent d'expliquer les mécanismes de reconnaissance des formes et d'objets, soit la théorie de l'appariement à un gabarit, la théorie des caractéristiques et la théorie structurelle.

Théorie de l'appariement à un gabarit.

La composante clef de cette famille de théories est une représentation en mémoire sous la forme d'un gabarit (ou modèle) qui est une copie conforme correspondant aux éléments physiques d'un objet ou d'une forme dans son ensemble. Cette théorie de reconnaissance fait appel à un système où l'information rencontrée dans l'environnement, provenant des perceptions sensorielles, est comparée au gabarit. Le degré de chevauchement entre l'image perceptive et le gabarit détermine si la similarité est assez marquée pour induire une reconnaissance. Cette théorie de gabarits simples comporte cependant différents problèmes. Premièrement, le modèle ne convient pas à toutes les variantes d'une même forme; il faudrait un nombre infini de gabarits pour

représenter chaque variante d'un même objet (taille, couleur, orientation, texture, etc.). Même si Vaughan et Greene (1983) ont démontré que les pigeons sont capables de se remémorer plusieurs centaines de photographies différentes, il faut souligner que l'ensemble de tous les gabarits représente une lourde charge mnémonique. Deuxièmement, cette théorie s'appuie sur le concept de similarité entre le percept et la représentation, ce qui ne rend pas compte de la reconnaissance des différences entre les objets.

Pearce (1997) propose également une représentation en mémoire qui est analogue aux caractéristiques physiques et qui stipule que la catégorisation d'objets dépend de la mémorisation de chaque instance (ou gabarit) d'un objet. Il va un peu plus loin que la notion de gabarits traditionnels en proposant qu'une moyenne de tous les exemplaires (gabarits) d'un objet correspondrait à la formation d'un prototype qui, lorsque comparé avec le percept, permettrait un processus de reconnaissance plus souple. L'économie d'espace en mémoire à long terme est également considérable. Quoique démontrant plus de flexibilité que la théorie des gabarits, elle comporte également quelques problèmes puisque des mécanismes supplémentaires sont nécessaires pour expliquer la catégorisation d'objets nouveaux (Pearce, 1997).

Récemment, une nouvelle variante est venue s'ajouter à la famille des théories des gabarits : la théorie à vues multiples. Selon Edelman et Bülhoff (1992), Poggio et Edelman (1990) et Tarr et Bülhoff (1995), cette théorie propose qu'il existe une multitude de représentations d'un objet, chacune variant de l'autre par des spécifications métriques comme le point de vue, la grandeur, la position, etc. L'objet peut être reconnu soit par un chevauchement exact du percept et de la représentation mentale, soit par une généralisation à des gabarits similaires. Cette théorie présuppose également que le processus de reconnaissance requiert des transformations de l'objet

perceptif dans le but de trouver une correspondance avec les représentations emmagasinées en mémoire. Quand un nouveau point de vue est rencontré, une transformation mentale se produit sous la forme d'une rotation mentale de l'objet, alors que lorsqu'une nouvelle taille est présentée, la transformation correspond à un processus de parité (« zooming ») mental.

Théorie des caractéristiques.

Un deuxième type de théories de reconnaissance est la théorie des caractéristiques qui définit les objets et la représentation en mémoire d'après leurs constituantes. La représentation en mémoire serait composée d'une liste de caractéristiques indépendantes. La variante la plus connue des théories des caractéristiques est la théorie des caractéristiques particulières de Cerella (1986) selon laquelle les humains, mais aussi les pigeons, se représentent les objets et les images comme des collections désorganisées de caractéristiques locales et que le processus de reconnaissance s'effectue si suffisamment de caractéristiques sont présentes. Dans une expérience, Cerella présente des images de créatures imaginaires contenant 25 caractéristiques. L'analyse de la discrimination démontre que seulement trois de ces caractéristiques ont été utilisées par les pigeons pour effectuer les discriminations. Une autre expérience célèbre de Cerella (1982) utilise une image du personnage « Charlie Brown » tirée d'une bande dessinée et démontre que les pigeons décomposent les percepts (« l'input ») en un ensemble de caractéristiques locales. Les pigeons devaient premièrement apprendre la discrimination entre Charlie Brown et les autres personnages de la bande dessinée « Peanuts » (Linus, Snoopy, Marcia, etc.). Différentes conditions ont ensuite été présentées dans lesquelles Cerella a utilisé des images de Charlie Brown où des sections (tête, tronc, pieds) ont été mélangées. La proportion de réponses exactes demeure élevée dans les deux conditions. Cerella explique ces résultats de deux façons : soit le pigeon a

reconnu Charlie Brown par ses caractéristiques puisqu'un nombre suffisamment élevé d'entre elles étaient présentes (cette explication constitue le fondement de la théorie des composantes), soit le pigeon ait pu utiliser un système de gabarits locaux qui correspond plutôt à une représentation analogue au stimulus. Cette deuxième explication souligne la difficulté de séparer les théories explicatives les unes des autres.

Un autre élément important de la théorie des caractéristiques de Cerella se retrouve dans l'affirmation à l'effet que les pigeons n'encodent pas les relations spatiales entre les caractéristiques d'un patron. Une autre expérience de Cerella (1979) impliquant la discrimination de feuilles de chênes comportant des caractéristiques identiques mais dont l'arrangement spatial interne était différent a entraîné une incapacité à effectuer une discrimination entre les différentes feuilles de chênes. Cerella a donc conclu qu'un objet est représenté comme une collection d'éléments et que l'organisation spatiale des caractéristiques n'était pas encodée par le pigeon.

Cette vision est partiellement compatible avec celle proposée par Warner et Rilling (1996) qui suggère que la perception du pigeon est basée sur une représentation plutôt globale du stimulus et que même si les caractéristiques sont à la base de la représentation, ce ne sont pas toutes les parties de l'image qui sont traitées également. Cette suggestion provient d'une de leurs études où, suite à la présentation d'un cercle et d'un carré comme stimuli de discrimination, différentes sections (segment ou intersections) du cercle et du carré sont effacées. Le fait que les pigeons aient démontré une diminution du taux de réponse à peu près égale pour tous les stimuli sectionnés suggère qu'ils s'attardent à toutes les parties de la forme et non à une seule section. Ce qui, selon Warner et Rilling, est un pré-requis à la formation d'une représentation globale. La suggestion que les pigeons perçoivent les aspects locaux et globaux des stimuli complexes au

même titre que les humains est également proposée par Kirkpatrick-Steger, Wasserman et Biederman (1998), puisqu'ils ont démontré que les composants de la forme (aspects locaux) et l'organisation spatiale générale (aspects globaux) sont tous deux importants dans la reconnaissance. C'est sur ce dernier élément que nous nous attarderons dans la prochaine section.

Théories structurelles.

Les théories structurelles proposent que la représentation mentale d'une image est composée des caractéristiques formant l'objet mais également des relations spatiales entre les composantes de l'objet. Ce type de théories suggère que les images sont encodées sous la forme de descriptions structurelles qui contiennent une spécification de la nature des composantes primitives (composantes élémentaires) et leur organisation spatiale. La théorie incorpore la notion d'éléments de base comme celle des caractéristiques mais vient s'opposer à la proposition de Cerella (1986) à l'effet que les relations spatiales entre les composantes ne sont pas encodées par le pigeon.

Les théories structurelles ont leur source dans la théorie de la vision humaine de Marr (1982). Selon lui, à partir de l'information qui est disponible dans l'image rétinienne, plusieurs représentations sont construites par étapes successives. Tout d'abord, une ébauche primaire est créée. À cette étape, la représentation consiste en une image en deux dimensions en relation avec le changement d'intensité lumineuse. Ce système représente les changements de luminescence en fonction de leur localisation. Cette première étape fournit aussi des informations sur le caractère rectiligne, courbé ou angulaire de ces changements de niveaux de luminescence. La deuxième ébauche rend explicite l'orientation et la profondeur approximative de la surface visible, les contours et les discontinuations dans un cadre de référence centré sur le sujet. La troisième et

dernière ébauche décrit les formes et leur organisation spatiale dans un cadre de référence contenant des coordonnées centrées sur l'objet en utilisant une représentation qui inclut des éléments volumétriques de base (éléments qui représentent le volume de l'espace qu'une forme occupe) et aussi des éléments de surface.

Dans la même optique, Biederman (1987) et Hummel et Biederman (1992) ont suggéré une théorie de reconnaissance d'objets par composantes dans laquelle il existe environ 35 « géons » (différentes formes volumétriques : cube, cylindre, cône, etc.) qui s'agencent pour former tous les objets et les formes possibles. Le géon sert de composante élémentaire dans la représentation en mémoire. Cette représentation en mémoire inclut également l'interrelation entre les géons. Selon cette théorie, la reconnaissance de patrons, c'est-à-dire le mécanisme qui instaure le lien entre les percepts et la représentation en mémoire, se produit comme suit : les arêtes (« edges ») sont extraites de la perception et les propriétés non accidentées sont détectées. La séparation de la forme en géons se produit aux régions de concavité. Les géons et leurs relations spatiales sont identifiés et ensuite comparés à des descriptions structurelles de l'objet en mémoire.

Les études reliées à la théorie structurelle sont particulièrement intéressantes puisqu'elles font ressortir un nouvel élément, soit celui de l'organisation spatiale des composantes d'une image, élément qui n'était pas en relief auparavant dans les théories de reconnaissance. Biederman (1987), Kirkpatrick-Steger, Wasserman et Biederman (1996) ont avancé l'idée que la reconnaissance nécessite plus que les éléments individuels des formes. Ces éléments doivent apparaître dans les mêmes relations spatiales que durant l'encodage, et les géons doivent se présenter dans leur position spatiale originale pour qu'il y ait reconnaissance de façon précise.

Chacune de ces familles de théories propose des hypothèses quant à la nature de ce qui est encodé et des mécanismes mentaux qui permettent la reconnaissance. Toutefois, dans l'interprétation d'études empiriques, il arrive fréquemment que plusieurs de ces théories puissent expliquer les résultats obtenus, comme Cerella l'a souligné dans son expérience « Charlie Brown ». Cette constatation fait état d'une faiblesse théorique dans la capacité de prédire les résultats. Il est donc difficile de proposer des hypothèses circonscrites dans le cadre de l'une de ces théories. La présente étude n'avait pas comme objectif de distinguer ces théories. Néanmoins, celles-ci servent de repère théorique duquel nous puisons les connaissances servant à l'élaboration de réponses à des questions empiriques provenant de contradictions entre plusieurs résultats obtenus notamment chez les humains, les pigeons et les bourdons.

Invariance

Abordons maintenant les particularités de la reconnaissance, soit les attributs de l'information visuelle. La plupart des théories de reconnaissance qui ont été discutées à la section précédente suggère un processus cognitif ascendant (« bottom-up ») qui s'amorce au niveau des caractéristiques de l'image visuelle. On peut donc présumer que les attributs des stimuli utilisés dans les diverses expériences contrôlent, à différents degrés, le comportement de l'organisme. Très souvent, les dimensions sur lesquelles varient les composantes d'une image sont analysées selon une mesure d'invariance. L'invariance est l'adaptation au changement le long d'une dimension sans que la reconnaissance en soit compromise.

Invariance de la taille.

Le premier type d'invariance que nous aborderons est relié à la taille du stimulus. Chez les humains, on réfère à ce type d'invariance comme à un phénomène de constance de la taille. Il s'agit d'une habileté qui consiste à percevoir subjectivement un objet comme étant d'une taille constante lorsqu'il est observé à partir de différentes distances. Conséquemment, lorsqu'une image rétinienne est petite, l'objet est interprété comme étant plus loin que lorsqu'une plus grande image est présentée. Chez les pigeons, Lombardi et Delius (1990) ont suggéré une invariance relative à la taille : les pigeons reconnaissent spontanément l'équivalence ou la non-équivalence de formes sans égard à la différence de tailles entre elles et sans que cette habileté n'ait été explicitement apprise. Cependant, rien n'indique que l'objet est interprété par le pigeon comme étant plus près ou plus loin. Tout comme pour les humains, il y a un avantage écologique évident pour les pigeons à reconnaître les images comme étant identiques même lorsque l'objet n'a pas exactement la même taille.

Toutefois, Cerella (1990a, 1990b) propose que les pigeons ne sont que partiellement insensibles à la taille : dans certains cas, une différence marquée de la taille contrarierait la reconnaissance. Une récente étude de Kirkpatrick (2001) abonde dans le sens des résultats de Cerella à l'effet que les pigeons reconnaissent des stimuli dont la taille change, mais démontre une diminution de la performance visible en fonction du degré de changement de la taille. De même qu'il est adaptatif d'interpréter comme étant identiques des objets de tailles différentes, autant il peut subvenir des situations où la taille peut être un élément discriminant important. Nous pouvons imaginer par exemple que si la différence entre un prédateur adulte et un jeune prédateur ne peut se voir que par une différence de taille, cette dimension devient importante dans

l'évaluation du danger pour le pigeon. L'invariance reliée à la taille serait donc incomplète, ce qui refléterait une flexibilité du système cognitif visuel des pigeons.

D'autres attributs des composantes peuvent avoir un contrôle sur la reconnaissance et nous nous attarderons plus spécifiquement aux attributs spatiaux, notamment à l'orientation et à la position des composantes formant le stimulus, à l'organisation spatiale interne des composantes et à ses transformations causant, dans certains cas, des confusions visuelles.

Invariance de l'orientation.

En ce qui a trait à l'orientation, une proposition d'invariance a été rapportée par Cerella (1977, 1990a, 1990b) qui suggère que les pigeons sont insensibles à l'organisation spatiale. Cela implique conséquemment une invariance reliée à l'orientation sur le plan x, y ou z. De même, Hollard et Delius (1982) proposent que le système visuel aviaire des pigeons n'utilise pas l'information de l'orientation sur le plan x ou y. Un peu plus tard, ces mêmes chercheurs précisent que les pigeons ne sont pas complètement insensibles à l'orientation mais que, lors de tâches particulières comme celles impliquant des images miroirs, le comportement du pigeon n'est pas modifié par l'information de l'orientation (Delius et Hollard, 1995). De plus, Watanabe (1997, 1999) propose qu'il y a une facilitation de l'invariance à l'orientation quand l'objet est familier pour le sujet. Plus encore, il semble y avoir une facilitation à l'invariance lorsque l'entraînement à la discrimination comporte plusieurs orientations (Wasserman, Gagliardi, Cook, Kirkpatrick-Steger, Astley et Biederman, 1996). Finalement, selon Biederman et Gerhardstein (1993) une invariance sur l'axe des z (en profondeur) serait possible si certaines conditions sont remplies.

Malgré les démonstrations d'invariance, plusieurs études ont démontré que lorsque la tâche le requiert spécifiquement, les pigeons peuvent encoder et utiliser l'information de

l'orientation. Par exemple, Hamm, Matheson et Honig, (1997) ainsi que Lohmann, Delius, Hollard et Friesel (1988) soutiennent que les pigeons sont sensibles à l'orientation du stimulus. Leur étude a démontré que la discrimination de nouveaux stimuli orientés était de plus en plus difficile (temps de réaction proportionnel au degré d'orientation), ce qui suggérerait, selon eux, non seulement une sensibilité à l'orientation mais aussi pré-supposerait un processus cognitif sous-jacent de rotation mentale semblable à celui observé chez les humains.

Un autre exemple que les pigeons peuvent, dans certains cas, être sensibles à l'orientation est celui de l'étude de Spetch, Friedman et Reid (2001) où des humains et des pigeons ont été comparés dans une tâche de discrimination de stimuli orientés. Les humains ont démontré une invariance pour les stimuli auxquels ils avaient été exposés durant l'entraînement mais une chute dans leur performance pour les orientations non présentes durant l'entraînement. Chez les pigeons il y a eu diminution systématique de la performance à la discrimination en relation avec l'augmentation de l'orientation.

Une façon de voir la robustesse de l'invariance ou de la sensibilité à l'orientation est de manipuler le nombre d'indices relatifs à la forme. Spetch, Friedman et Reid (2001) ont manipulé le nombre d'éléments distinctifs constituant le stimulus (0, 1, 3 et 5). Peu importe le nombre d'éléments distinctifs contenus dans le stimulus, ils ont observé une diminution de la performance en fonction de l'orientation chez les pigeons. Au contraire, les résultats d'une étude de Lohmann, Delius, Hollard et Friesel (1988) ont suggéré que l'addition d'une forme arbitraire ou d'une image miroir aux côtés d'un stimulus orienté a favorisé la discrimination des stimuli orientés chez les pigeons, démontrant ainsi que les pigeons discriminent sur la base de la forme et non de l'orientation (invariance à l'orientation). La contradiction apparente peut se résoudre dans le fait

que Spetch et al. proposent simplement que le nombre d'éléments constituant le stimulus ne favorise pas la discrimination de différentes orientations, alors que Lohmann et al. proposent que, suite à l'apprentissage de la discrimination, l'ajout d'un autre stimulus peut favoriser la discrimination des orientations. Pour ajouter à l'incertitude de la présence de l'invariance reliée à l'orientation, certains chercheurs ont démontré qu'il y a différents degrés de sensibilité ou de généralisation à l'orientation (Donis, 1999; Wasserman, Gagliardi, Cook, Kirkpatrick-Steger, Astley et Biederman, 1996).

Les contradictions entre les résultats peuvent s'expliquer de différentes façons.

Premièrement, les méthodologies employées sont très différentes, ce qui rend la comparaison difficile. Par exemple, Wasserman, Gagliardi, Cook, Kirkpatrick-Steger, Astley et Biederman (1996) utilisent une procédure de discrimination à quatre choix; Lohmann, Delius, Hollard et Friesel (1988) utilisent une procédure de « go, no/go » (où le pigeon donne une réponse (picorer) lorsque le stimulus cible est présent et ne donne pas de réponse (ne picore pas) lorsqu'un autre stimulus est présent), et Watanabe (1999) utilise une discrimination binaire simultanée. Chacune de ces procédures peut influencer l'attention qui est portée à différents attributs des stimuli et donc se répercuter sur la stratégie de résolution de problèmes du pigeon. Cette explication reflète conséquemment une flexibilité et une adaptabilité du système cognitif du pigeon. En effet, tout comme chez l'humain, l'objectif primaire d'un apprentissage chez l'animal est de mieux s'adapter à son environnement. Le pigeon peut donc, selon le contexte (la procédure utilisée, les dimensions contrastées, la complexité des stimuli), modifier son comportement. De même, l'effet de l'apprentissage préalable dans une étude est souvent sous-estimé dans l'explication des résultats. Chez l'humain par exemple, il est possible de demander aux participants d'indiquer lequel des

stimuli se situe au-dessus d'une ligne horizontale puisqu'il possède déjà le concept de « au-dessus vs au-dessous ». Avec les animaux, il faut généralement procéder à une étape supplémentaire d'entraînement. Un pigeon peut apprendre une association entre un stimulus situé au-dessus de la ligne horizontale et une clef rouge, et un stimulus situé au-dessous de la ligne horizontale avec une clef verte. Ensuite, l'expérimentateur lui présente des stimuli nouveaux afin de mesurer la généralisation de l'apprentissage initial. Les deux procédures employées dans les trois expériences de la présente étude tentent de minimiser l'effet de l'apprentissage durant l'entraînement en ne présentant pas la variable indépendante durant l'entraînement de la discrimination initiale (Exp. 3) ou en présentant un choix de plusieurs dimensions (Exp. 1 et 2) durant l'entraînement. Il en résulte que les données recueillies reflètent un choix spontané influencé à un plus faible degré par l'entraînement initial.

Les études présentées dans les écrits traitent principalement de l'orientation de la forme globale. Cependant, très peu sont connues sur l'importance de l'orientation des composantes du stimulus par rapport à d'autres informations spatiales internes. L'expérience 2 de notre étude vise justement à pallier cette lacune en mettant en conflit l'information de l'orientation des composantes par rapport à leur position à l'intérieur d'un stimulus.

Invariance de la position.

L'autre dimension spatiale considérée dans notre étude est la position des composantes formant un stimulus. Comme l'orientation, cette dimension a surtout été analysée au niveau de la position globale du stimulus et non au niveau de la position des composantes. Par exemple, dans une expérience où le stimulus entier est placé sur des clefs opérantes localisées à diverses positions, Lionello-DeNolf et Urcuioli (2000) ont contrasté la dimension de la position et celle des

caractéristiques visuelles de la forme. Les résultats ont démontré que les caractéristiques sont prédominantes sur la position. Dans la même optique, Spetch et Mondloch (1993) ont effectué une expérience dans laquelle la position et les couleurs sont mises en conflit dans une tâche de recherche visuelle, et, dans ce cas, l'utilisation de la couleur des points de repère a été favorisée par rapport à leur position. De plus, Kirkpatrick-Steger, Wasserman et Biederman (1998) ont obtenu des résultats à l'effet que la préservation de la position absolue n'était pas nécessaire (donc présente une invariance) lors de la reconnaissance d'images où les composantes de la forme sont interchangeables. Cette invariance de la forme a aussi été proposée par Lombardi et Delius (1988) qui ont suggéré une invariance de la forme d'un stimulus par opposition à sa couleur, son contour ou son contraste. Par conséquent, peu importe que la couleur, le contour ou le contraste d'un objet donné change, le pigeon reconnaît l'image sur la base de sa forme. Les résultats de l'expérience de Wasserman et Biederman sont aussi en concordance avec la proposition de Cerella (1990a, 1990b) à l'effet que les pigeons sont insensibles à la transposition, c'est-à-dire au déplacement des composantes de l'objet.

Cependant, une autre étude de Kirkpatrick-Steger, Wasserman et Biederman (2000) a démontré que les pigeons peuvent utiliser soit la forme, soit la position, selon les exigences de la tâche. Cet autre résultat est en accord avec la proposition de Kreamer, Mazmanian et Roberts (1987) qui stipule que l'information spatiale et l'information visuelle puissent être analysées simultanément par les pigeons sans perte d'information. De plus, selon eux, les pigeons n'ont pas traité de façon préférentielle l'information spatiale ou l'information des composantes. Ces résultats contradictoires mettent encore une fois en lumière la flexibilité du processus de traitement de l'information du pigeon puisque, selon la tâche demandée, il peut utiliser ou non certaines

dimensions. Un des objectifs principaux des Expériences 1 et 2 de notre étude s'inscrit justement dans cette perspective : plutôt que d'explorer la capacité du pigeon à utiliser l'une ou l'autre des dimensions, nous nous intéressons aux dimensions spatiales qui sont spontanément utilisées par les pigeons lorsque différentes informations sont disponibles et contrastées. Cette technique d'opposition des dimensions les unes aux autres permet de schématiser une hiérarchie des attributs du stimulus qui ont un certain contrôle sur le processus de reconnaissance.

Organisation spatiale.

Contrairement aux affirmations de Cerella (1986, 1990a, 1990b) à l'effet que la reconnaissance est invariante à l'organisation spatiale des composantes, la théorie des géons de Biederman (1987) et les études en découlant ont démontré au contraire l'importance de l'organisation spatiale dans la reconnaissance. Par exemple, Wasserman, Kirkpatrick-Steger, Van Hamme et Biederman (1993) ont démontré que la réorganisation spatiale d'un stimulus, quoique discriminé au-delà du hasard, a un effet sur la performance du pigeon. Ce résultat n'est pas totalement contradictoire à ceux de Cerella puisqu'une discrimination au-delà du hasard suppose que les pigeons ont utilisé les composantes comme critères de discrimination. Dans une deuxième expérience, ils ont même démontré que l'apprentissage d'une discrimination était possible entre des stimuli qui contiennent les mêmes caractéristiques mais dont l'organisation spatiale est différente. Cette discordance de conclusions entre les études de Cerella et celles de Wasserman et al. concernant l'organisation spatiale interne a été le point de départ de la troisième expérience de cette étude.

Le cas particulier de l'image miroir et de la transposition gauche-droite des éléments.

La compréhension de l'organisation spatiale peut aussi se refléter à l'aide de transformations spécifiques de la disposition des composantes. Le phénomène de la confusion de l'image miroir comporte un intérêt pour l'étude de l'organisation spatiale puisqu'elle inclut la dimension de l'orientation (sur l'axe des z) et de la position de la gauche et de la droite. Dans l'expérience 3 de la présente étude, la transposition simple de la gauche et de la droite a été utilisée pour séparer la dimension de la position de celle de l'orientation puisque la confusion de l'image miroir est liée au problème universel de dissocier la gauche et la droite (Takano, 1998). Par exemple, une personne avec une montre-bracelet au poignet droit la verra du côté gauche dans un miroir. En plus de l'inversion gauche-droite, il y a un pivot de l'image sur l'axe des z. La montre-bracelet qui affiche 3:00 apparaîtra comme affichant 9:00 dans un miroir. Selon Corballis et Beale (1976), les notions de gauche et de droite sont arbitraires et égocentriques puisqu'elles sont définies en relation avec la quasi-symétrie de notre propre corps à partir de l'axe vertical et l'effet produit par la gravité terrestre. De plus, l'absence d'un biais systématique dans l'environnement qui indique un cadre de référence amplifie la confusion. Todrin et Blough (1983) y réfèrent comme à une constance perceptive. En conséquence, il serait plus difficile de discriminer la gauche et la droite que le haut et le bas. On retrouve cependant des résultats contradictoires chez les pigeons. En effet, selon Lohmann, Delius, Hollard et Friesel (1988), il n'y aurait pas de différence entre l'image miroir haut/bas et l'image miroir gauche/droite dans une performance de discrimination. Chez l'humain, Maki, Grandy et Hauge (1979) explique cette contradiction en proposant que les discriminations gauche/droite sont plus difficiles seulement dans les cas où il y a une réponse verbale et donc, on ne devrait pas s'attendre à cette difficulté chez les animaux. Corballis et Beale (1976) suggèrent également que cette confusion soit un sous-

produit du système nerveux central et périphérique et de la disposition de certaines parties extérieures du corps humain (bras et jambes). Une latéralisation se traduit par le fait que la plupart des humains (certains primates et certains mammifères aussi) ont une préférence marquée pour l'utilisation d'une main (ou d'une patte) dans les tâches d'écriture ou de peinture (pour les humains) ou de manipulations fines (pour les animaux et les humains). Cette préférence n'a pas été observée chez les pigeons (Güntürkün, Kesch et Delius, 1988).

Au niveau cognitif, Corballis et Beale suggèrent que la confusion gauche-droite se produit au niveau de la reconnaissance. Le phénomène ne semble pas se produire durant la simple perception de la droite et de la gauche (Tee et Riesen, 1974) mais plutôt durant la période d'identification.

Le phénomène de la confusion de l'image miroir a été étudié chez plusieurs espèces (voir l'introduction de l'article 2 pour de plus amples détails), dont les pigeons. Lohmann, Delius, Hollard et Friesel (1988) ont démontré que l'image miroir est plus difficile à discriminer que des images arbitraires et que la variation de l'orientation intensifie la confusion relative de l'image miroir. Cette supposition est corroborée par les expériences de Todrin et Blough (1983) qui proposent également que les images arbitraires sont mieux discriminées que les images miroirs chez les pigeons. Ces résultats sont toutefois en opposition à ceux de Hollard et Delius (1982) à l'effet qu'il n'y a pas de différence entre la discrimination de stimuli arbitraires et les images miroirs. Il faut noter que Todrin et Blough proposent que les résultats de Hollard et Delius sont imputables à un apprentissage intensif de la distinction entre l'image et son image miroir. Toutefois, ces deux études utilisent une procédure où l'image miroir est présentée durant l'apprentissage de la discrimination initiale. Comme nous l'avons mentionné précédemment, la

présentation du stimulus cible (l'image miroir) durant l'apprentissage (et donc associé avec un renforçateur) peut influencer le résultat au test. Notre expérience 3 présentera plutôt l'image miroir comme stimulus-test seulement et ne sera pas associé avec un renforçateur.

Méthodes et procédures utilisées

Une des tâches privilégiées dans les trois expériences présentées dans cette étude est le jugement de la similarité entre des stimuli originaux (apprentissage discriminatif) où certains types d'information sont mis en conflit, et des stimuli nouveaux qui présentent des variantes de ces types d'information. Le jugement de la similarité est un traitement cognitif d'association entre deux stimuli. Tversky (1977) qui, comme nous l'avons vu, définit les objets perceptifs comme un ensemble de caractéristiques propose que le jugement de similarité est en fonction des éléments qui sont partagés par les objets ou qui se distinguent des autres. Tversky évoque un modèle de « contraste » pour illustrer son concept de similarité; il s'agirait d'une combinaison linéaire des mesures des caractéristiques communes et distinctes. Ce modèle est utilisé pour découvrir, analyser et expliquer une variété de phénomènes empiriques comme le rôle des caractéristiques communes ou distinctives, les relations entre le jugement de similarité et les différences, la présence de similarités asymétriques et l'effet de contexte sur le jugement de similarité. De plus, Blough (1992) suggère que la similarité d'un stimulus par rapport à un autre peut être mesurée de trois façons : 1) le taux relatif de probabilité de réponses à un test de généralisation d'un stimulus à un autre, 2) la précision de la discrimination entre deux stimuli, et 3) le temps requis pour distinguer entre deux stimuli. La deuxième mesure proposée par Blough a été particulièrement privilégiée dans les expériences 1 et 2 de notre étude. Durant celles-ci, le pigeon est soumis à une procédure d'appariement symbolique au cours de laquelle le pigeon doit, dans un premier temps,

associer deux stimuli avec deux symboles (deux teintes de couleur). Ensuite, il doit choisir l'une des deux teintes de couleur lors d'un test où les dimensions présentes durant l'apprentissage de la discrimination sont introduites dans une configuration nouvelle. La fréquence de choix associée avec le symbole permet alors d'inférer la valeur des dimensions à l'étude. De plus, ce type de méthodologie permet de donner une valeur initiale égale à des dimensions particulières par opposition à des procédures qui utilisent des stimuli positifs et négatifs. Cependant, cette méthodologie a le désavantage d'être plus ardue et de rendre le temps d'apprentissage de la discrimination initiale plus long puisqu'elle comporte une composante de mémorisation (association du stimulus avec le symbole plutôt que l'association du stimulus avec le stimulus comme dans le cas d'une méthodologie d'appariement simple). Par exemple, dans une expérience de Von Fersen, Emmerton et Delius (1992) utilisant cette procédure, 110 sessions de 32 essais ont été nécessaires pour effectuer un appariement symbolique entre 32 stimuli et 32 autres stimuli-symboles (non équivalents). Il a été démontré cependant que les pigeons ont une bonne capacité mnémonique. En effet, Vaughan et Greene (1983) ont démontré qu'ils pouvaient se remémorer plus de 320 diapositives d'images différentes. Néanmoins, la charge mnémonique est plus lourde dans une tâche d'appariement, ce qui résulte en une étape de discrimination initiale plus longue et un taux d'erreur plus élevé durant la condition expérimentale.

Pour l'expérience 3 de notre étude, une méthodologie différente a été privilégiée. En effet, dans ce cas, un stimulus positif et un stimulus négatif ont été présentés dans une tâche de discrimination binaire simultanée afin de reproduire une procédure utilisée chez une autre espèce pour une problématique particulière, celle de l'image miroir. À l'instar de Gould (1988) qui a étudié la question de la confusion de l'image miroir chez les abeilles et de Plowright (1997) qui a

étudié la confusion de l'image miroir et de la transposition gauche-droite des composantes d'un stimulus chez les bourdons, notre procédure consiste en plusieurs étapes : une étape d'entraînement où le pigeon doit discriminer entre un stimulus positif et un stimulus négatif et une étape expérimentale avec quatre conditions dans lesquelles la fréquence des choix binaires est analysée (voir l'introduction de l'article 2 pour les détails de la procédure).

Objectifs et buts des trois expériences

Les expériences proposées ici tenteront, dans un premier temps, d'examiner et de clarifier la notion d'organisation spatiale des composantes d'un stimulus visuel en étudiant séparément les dimensions spatiales de la position et de l'orientation des composantes internes d'un stimulus. La première expérience (présentée dans l'article 1) a comme objectif de séparer les dimensions spatiales de la position et de l'orientation en les plaçant dans un contexte où l'une ou l'autre de ces deux dimensions peuvent être encodées et utilisées par le pigeon. La deuxième expérience (également présentée dans l'article 1) oppose la dimension de la position et une dimension non spatiale qui est la forme géométrique d'une composante afin d'observer la robustesse du choix de cette dimension. Ces deux premières expériences tentent de cerner les dimensions spontanément privilégiées par le pigeon lorsque les dimensions sont mises en conflit. La troisième et dernière expérience (présentée dans l'article 2) a pour but d'évaluer dans un premier temps la capacité du pigeon à effectuer une discrimination entre deux stimuli sur la base de l'organisation spatiale interne et, dans un second temps, d'évaluer la généralisation de cette discrimination avec des transformations spatiales, notamment l'image miroir et la transposition gauche-droite des composantes.

Article 1: Landry, F et Plowright, C.M.S. (2001). Use of spatial dimensions in pattern discrimination and similarity judgement by pigeons. *International Journal of Comparative Psychology* 14 (1-2), 76-89.

Running head: USE OF SPATIAL DIMENSIONS IN PATTERN DISCRIMINATION

Use of spatial dimensions in pattern discrimination
and similarity judgments by pigeons

France Landry & Catherine Plowright

University of Ottawa

Abstract

Two experiments examined the role of spatial dimensions in pattern discrimination and judgment of similarity by pigeons. In the first experiment, pigeons were given a symbolic matching to sample task in which they first learned to discriminate between two patterns (S1 and S2) that differed in the spatial layout of an arrow inside a circle divided into four quadrants. The first training stimulus contained an arrow inside the Top Left quadrant and the tip of the arrow was pointing toward 90 degrees. The second training stimulus contained an arrow inside the Bottom Left quadrant and the arrow was pointed downwards at 180 degrees. Fourteen new patterns, consisting of all the remaining combinations of arrow orientations and arrow locations (quadrants), were then presented and their categorization by the pigeons was examined. The results showed that the two dimensions pertaining to the position of the arrow (Top/Bottom and Left/Right halves of the circle) and their interactions were more salient than the two dimensions pertaining to its orientation (Horizontal / Vertical arrows and two arrow ends). The second experiment showed that the position of a pattern component was encoded and used in similarity judgments even when the S1 and S2 differed along non-spatial dimensions (a rectangle vs a circle). When pigeons encounter new visual patterns and judge their similarity to old ones, they privileged the position of the pattern components over shape in their judgments.

Keywords: pigeons, symbolic matching to sample, discrimination learning, similarity judgments.

Use of spatial dimensions in pattern discrimination and similarity judgments by pigeons

The purpose of this study was to investigate the role of spatial dimensions (orientation and position) of individual simple components of a pattern and to integrate their importance within the broader perspective of object perception and recognition by pigeons. Historically, it was thought that pigeons were merely “feature detectors”: They seemed to recognize an image by its physical components regardless of how they were arranged in space. Pigeons seemed incapable of learning a discrimination between two patterns based on the spatial layout of the components of the pattern (for example, a discrimination between drawings of two-dimensional oak leaves that had the same features but organized differently (Cerella, 1979)). Moreover, once they had learned a discrimination between two patterns, such as a two-dimension drawing of the cartoon character Charlie Brown and other Peanuts characters, then recognition of the positive stimulus seemed undisturbed when the components were scrambled (Cerella, 1980). More recent research, however, has begun to reveal the role of spatial organization in pattern learning and recognition, and the notion that pigeons are merely feature detectors has been rejected. For instance, we have demonstrated that it is possible for them to learn a discrimination between two patterns (2-D) that contain the same features arranged differently (Landry & Plowright, 2002), though the process is arduous (about 4000 trials).

In three dimensional object or drawings, spatial organization of components is thought to be important. It is explicitly incorporated within Biederman’s structural theory of recognition: Geons (geometrical ions) are extracted from the image and matched with the appropriately organized mental representation (Biederman, 1987). Evidence for the role of spatial organization in pattern recognition includes one study in which recognition of a three-dimensional image was

impaired when its components were scrambled (Wasserman, Kirkpatrick-Steger, Van Hamme & Biederman, 1993). Other studies have also supported the claim that pigeons are capable of using spatial information to discriminate among different scrambled images of the same object parts, showing that spatial information plays a role in object recognition (Kirkpatrick-Steger, Wasserman & Biederman, 1996; Kirkpatrick-Steger, Wasserman & Biederman, 1998; Wasserman, Young & Nolan, 2000). In most of the research where pattern components were scrambled, however, the components were repositioned but not reoriented and so the effect of scrambling may have been heretofore underestimated. Moreover, the relative salience of position versus orientation has not been evaluated. In this paper, when images were scrambled, the spatial dimensions of position and orientation of pattern components were independently manipulated simultaneously. In this way, we could examine the relative importance of these two dimensions: Is it worse for the perceiver if some elements of a pattern have been reoriented or if they have been displaced?

The research reported here differs from research on rotation invariant recognition (as in studies of mental rotation, Hollard & Delius, 1982; Delius and Hollard 1995; Hamm, Matheson & Honig, 1997; Lohmann, Delius, Hollard & Friesel, 1988) or from human between object recognition (Humphreys and Riddoch, 1994) in that the focus is on the internal organization of the pattern. When orientation is manipulated, it is not the pattern itself but the elements within, that are rotated along a vertical axis.

Experiment 1

In this first study, position and orientation were pitted against each other via a discrimination task in order to determine which of the two, if either, is predominant. The method used was a symbolic matching to sample task with two original stimuli (S1, S2) (see Figure 1). Those stimuli differed along four spatial dimensions: 1) Two dimensions pertaining to the position of an arrow inside a circle (Left vs Right side of the circle; Top vs Bottom half of the circle) and 2) Two dimensions pertaining to the orientation of the arrow (the arrow consisted of a Horizontal vs a Vertical line; arrow tip pointing toward one end vs the other). The four quadrants will be hereafter referred to as TL (Top Left), TR (Top, Right), BL (Bottom, Left), BR (Bottom, Right). Once the discrimination between S1 and S2 was learned, new test stimuli were presented to see how they were categorized by the pigeons. The 14 test stimuli were the remaining combinations of the (2x2x2x2) spatial dimensions.

If the orientation dimensions are predominant in the recognition processes of the birds, we predict that the classification of the new stimuli will be made according to whether the arrows are oriented in the same ways as S1 (TL-90°) or S2 (BL-180°): At least the three stimuli with the arrows pointing at 90° (TR-90°, BL-90° and BR-90°) should be categorized as S1; and those with the arrow pointing at 180° (TL-180°, TR-180°, and BR-180°) should be categorized as S2. Alternatively, if the position dimensions are predominant, then at least the stimuli with the arrow in the top-left quadrant (TL-270°, TL-180° and TL-0°) should be categorized as S1; and those with the arrow in the bottom-left quadrant (BL-270°, BL-0° and BL-90°) should be categorized as S2. In the case that both position and orientation are equally important, some of the new stimuli that contain attributes from both original stimuli should not be significantly categorized as either

similar to S1 or S2. The birds' classification of TL-180° and BL-90° should be particularly informative: TL-180° contains an arrow in the same orientation as S2 but is placed in the same quadrant as in S1. Similarly, BL-90° contains an arrow in the same quadrant as in S2 but contains an arrow in the same orientation as in S1.

Method

Subjects

Five White King pigeons from the Palmetto Plant in South Carolina were maintained at $85 \pm 2\%$ of their free-feeding body weights. Three pigeons had previously served in unrelated studies (timing and food competition) and the other two were naive. Prior to this experiment, the birds were taught to peck operant keys using a combination of hand shaping and auto shaping. The birds were kept in individual cages with unlimited access to water and grit.

Apparatus

Two operant chambers (32 cm x 32 cm x 30 cm) were used. On the side wall of each chamber were three operant keys: a clear plastic centre key (5 cm in diameter) covered with white paper on the back which served as a projection screen for the slides; two opaque white plastic side keys (2 cm in diameter), one on each side of the centre key (4 cm away), illuminated by a red or a green light. Each side key was located at 12 cm above a feeder opening into which were dispensed 20 mg BioServ food pellets. The operant chambers were controlled by a 386SX IBM compatible computer via an Interface and Med-Pc software (Tatham & Zurn, 1989).

Two projectors (Elmo Omnigraphic 301 AF) with an Elmo zoom lens 1:3.5 f=100-150 mm and a Kodak slide carousel with 80 slots were used (only 40 slots were used to allow for an inter-trial interval between each slide). The lens stood at 30 cm from the centre key outside the

sound-attenuating boxes that enclosed the operant chambers. To focus the stimuli on the centre key, the lens had to be held four to five cm in front of the projector by a retort stand. A fan and a white noise generator inside the sound-attenuating box helped to mask the outside noise.

Stimuli and experimental design

The stimuli each consisted of a circle (4 cm in diameter) with a 1 mm thick, black circumference divided into four quadrants by two 1-mm thick black lines; a black arrow (1.7 cm long X 0.5 cm thick) was positioned in one of the quadrants (see Figure 1). Four spatial dimensions were manipulated. The first two dimensions pertained to the position of the arrow: 1) Left vs Right side of the circle divided by a vertical median line and 2) Top vs Bottom half of the circle divided by a horizontal median line. The second two dimensions pertained to the orientation of the arrow itself: 1) The arrow consisted of either a Vertical vs a Horizontal line. 2) The tip of the arrow could be at either end of the line so the arrow pointed at 0 vs 180 or 90 vs 270 degrees. For discrimination training, the two original stimuli (see Figure 1) were: 1) A horizontal arrow inside the top left quadrant pointing at 90 degrees (S1); 2) a vertical arrow inside the bottom left quadrant pointing at 180 degrees (S2). The fourteen remaining combinations of the four spatial dimensions (2 Top/Bottom X 2 Left/Right X 2 Horizontal / Vertical X 2 arrow ends) were used as tests.

Insert Figure 1 about here

*Procedure**Discrimination training.*

A symbolic matching to sample procedure was used in which the birds had to associate the stimuli with two colours. The image of the S1 or S2 was quasi-randomly projected on the centre key (four different slide orders) with the constraint that the same stimulus would not be used more than three times in a row. The birds had to peck it eight times to make the two coloured side keys turn on. The centre key would remain illuminated so the image would remain visible during the choice. For two of the five birds, the red-right key was associated with S1 (i.e., S1 was presented, the pigeon received food if and only if it pecked the red-right key), and the green-left key was associated with S2. To counterbalance the colours, the red-right key was affiliated with S2 and the green-left key with S1 for the other three birds. When a bird pecked the correct key, it was reinforced with two pellets of food. If it pecked the incorrect key, a correction procedure was undertaken: the feeder light under the incorrect key would turn on, showing the bird the absence of food. Then, the side keys would turn off and the pigeon had to peck the centre key again to be allowed another choice. If after five correction trials, the birds had still not chosen the correct key, only the correct side key would turn on and the bird had to peck it to receive food. The centre key was then turned off. A new trial began after a 4-second inter-trial interval. The correction trials were not cumulated. When the bird achieved 80% success for three consecutive days, no more correction trials were given. A session was composed of 120 trials (60 S1 and 60 S2 - three rotations of the carousel) and only one session a day was given at approximately the same time each day, five days a week.

Test trials.

When the birds reached the criterion of 80% correct choices for three consecutive days in sessions with no correction trials, the test sessions began. In a test session, 21 test stimuli (7 different test stimuli X 3 rotations of the carousels) were randomly intermingled with 99 rewarded S1 and S2 (It took two days to see all 14 test stimuli three times). For the test stimuli, the birds' responses were not reinforced – no food was delivered following the choice. Thirty test sessions were needed so each bird saw each of the fourteen stimuli, forty-five times (10 different slide orders). During the testing, the pigeons had to maintain a 70% minimum success criterion in the S1/S2 trials. If they did not reach that criterion, training sessions were given until the criterion of 80% was attained for two days and then testing was resumed.

When the pigeon responded to the test stimuli by pecking one key or the other, it informed us on the similarity (or dissimilarity) it perceived with S1 or S2, thus reporting which spatial dimensions of the stimuli were used to perform the discrimination.

Results

Discrimination training

The 80% discrimination criterion was obtained in approximately 40 sessions (\bar{X} = 39.60, range 22 to 62).

Test trials

Figure 1 shows the pigeons' symbolic association between the 14 test stimuli and the two original stimuli. Because the data were frequencies with replication within individuals, a replicated goodness-of-fit test (G Statistic) was used (Sokal & Rohlf, 1981). Two G values are reported in Table 1 for each test stimulus and they are compared to chi-square values in the tests of significance: (1) G_p (P for pooled), which compares group choice proportions to a chance level of

50:50 and (2) G_H (H for heterogeneity), which tests for individual variation. A significant G_H means that the individual choice proportion differed significantly from that of the group.

None of the stimuli were un-categorised: all choice proportions were significantly different from 50%. Eleven test stimuli were treated by the birds as similar to the S2 and three as similar to the S1. The three test stimuli that had the arrow in the same quadrant as the S1 were categorized as S1 and all the rest were categorized as S2.

The eleven test stimuli associated with S2 were not treated equally (see Figure 1): the test stimuli that had the arrow in the same quadrant (Bottom-Left) as S2 were strongly categorized ($\geq 89\%$). The test stimuli that had the arrow in the bottom-right half of the circle (between 88%-86%) were almost as well categorized. Least well categorized as S2 were the test stimuli that had the arrow in the top right quadrant ($\leq 74\%$). An Anova (test X pigeons, $F(10, 40) = 8.18$ $p \leq 0.000001$) showed a significant difference among the 11 test stimuli chosen as S2. This analysis shows that the position of the arrow within S2 was encoded. It casts doubt on an alternative interpretation that the pigeons learned a simple rule (i.e., peck one key if the top left quadrant is dark; otherwise, peck the other key).

In regards to the two particular test stimuli (BL-90° and TL-180°) which contained the arrow orientation of one training stimulus and the arrow position of the other, position prevailed over orientation: BL-90° which had the same arrow orientation as S1 but was placed in the same quadrant as S2 was categorized as an S2; TL-180° which had the same arrow orientation as S2 but was placed in the same quadrant as S1 was categorized as an S1.

Thirteen G_H were statistically significant, showing that there was heterogeneity among the pigeons. The heterogeneity reflected individual differences in the magnitude of the choice

frequencies but not in the direction. In other words, if a group choice frequencies showed that the pigeons categorized a stimulus as S1, the pigeons all did so to a greater or lesser degree.

Insert Table 1 about here

The discrimination weight of the spatial dimensions was investigated via a standard multiple linear regression between the proportion of choices symbolically linked to S1 as the dependent variable and the four spatial dimensions that could be used to make the original discrimination as independent variables (the 2 position dimensions and their interaction and the 2 orientation dimensions and their interaction). A multiple regression analysis allows for finding the best predictors of the dependent variable. The analysis was performed using Statistica software (Statistica, 1993). The regression R was significantly different from zero ($F(6, 63) = 40.51$, $p \leq 0.01$; $MSE = 193.96$). The values of the dimensions related to position (Left/Right and Top/Bottom) were significantly different from zero: 1) Left/Right ($t(63) = 6.66$; Std. err. $b = 1.71$, $p \leq 0.01$); Top/ Bottom ($t(63) = 12.25$, Std. err. $b = 1.74$, $p \leq 0.01$); interaction ($t(63) = 7.72$; Stderr $b = 1.74$, $p \leq 0.01$). The dimensions related to orientation were not significantly different from zero; Vertical/Horizontal ($t(63) = -0.83$; Std. err. $b = 1.74$), arrow end ($t(63) = -0.00011$; Stderr $b = 1.74$); interaction ($t(63) = 0.72$; Std. err. $b = 1.71$). In other words, the position dimensions, but not the orientation dimensions, were the best predictors of the symbolic choices of the pigeons. All together 57 % of the variability in choice was predicted by incorporating the two position terms and their interaction in the regression equation.

Discussion

This experiment examined similarity judgments between original and new patterns which all consisted of an arrow positioned inside a circle. The results showed that the variables pertaining to the position of the arrow (in this case, the Left and the Right side of a median line and the Top and the Bottom part of a divided circle) were relied on to categorize new stimuli. The orientation of the arrow, however, was virtually irrelevant. In a general theory of object recognition by components (RBC), Biederman (1987) has proposed that the role of relations is specified when the separate geons (or 3-D components) are matched to the representation of the image in memory which contains the proper (or encoded) spatial relationships. With such a structural description, recognition would be disrupted when the components are scrambled since the original spatial relations would no longer characterize the object (Wasserman, Kirkpatrick-Steger, Van Hamme, Biederman, 1993).

In our study, simple 2-D patterns were used and scrambled. The results stress that relocating a component during scrambling is far more disruptive than reorienting a component. The fact that the pigeons chose the three test stimuli that were in the top left quadrant as similar to S1 suggested that the combination of Top-Bottom and Left-Right was a more precise evaluation of the spatial organization than just the relative positions alone. Why the three test stimuli in the top-left quadrant were categorized as S1 and everything else was treated as S2 remains unclear. Perhaps the top left quadrant is the first to be processed as the pigeon visually scans the stimulus. Another interpretation is that the learning in this experiment consisted only of absolute spatial location of the arrow in the S1 ("If a certain area of the key is darkened then peck red, if not peck green). Our data, however, do not support this "absolute location hypothesis": the eleven stimuli

which were categorized as S2 were not all treated equivalently. The learning in this experiment was not confined to whether the top-left quadrant was darkened or not: The spatial location of the arrow in the S2 must have been extracted.

For the two stimuli (BL-90° and TL-180°) of particular interest, the results were unequivocal: They were both categorized as an instance of the training stimulus in which the arrow was located in the same quadrant and not as an instance of the training stimulus in which the arrow was oriented in the same way. BL-90° was categorized as an S2 and TL-180° was categorized as an S1.

These results further demonstrate that pigeons are able to learn a discrimination task which includes spatial elements, contrary to Cerella's claim. They emphasize the importance of the spatial constituents of the components of an object and the fact that pigeons can encode and use them in a discrimination task as proposed by Wasserman, Kirkpatrick-Steger, Van Hamme & Biederman (1993) for 3-D objects. The use of spatial dimensions by the pigeons in this experiment however, might well stem from the training discrimination (S1 vs S2) which forced attention to spatial organization: Training discrimination could only be solved by attending to the orientation and/or the position of the arrow. Our pigeons used position predominantly, but perhaps if the training discrimination could have been solved in another way, then neither spatial dimension (position or orientation) would have been used. If so, our results would have limited capacity of generalization. The following experiment was designed to test this possibility.

Experiment 2

In Experiment 2, one group of pigeons (the Position-Shape group) was trained to discriminate between a rectangle in the top portion of a circular outline, and a filled circle in the bottom portion. This discrimination could in principle be solved without encoding the spatial position of the rectangle and of the circle. In the past, discrimination solely based on shape has been known to be relatively easy. For example, pigeons learned to distinguish between a triangle and another geometric shape (star, circle, diamond) in about 2000 trials (Cerella, 1980). Also, in another experiment, pigeons learned to discriminate between a chair, a flashlight, a desk lamp and an airplane in about 1500 trials (Wasserman, Gagliardi, Cook, Kirkpatrick-Steger, Astley & Biederman, 1996). In comparison, Lohmann, Delius, Hollard & Friesel, (1988) showed that a spatial discrimination (orientation in that case) was lengthier to learn than a discrimination between arbitrary shapes. Moreover, in our first experiment, pigeons took almost 5000 trials to learn to discriminate between the two training stimuli.

In the second group of Experiment 2 (the Position-Orientation group), pigeons were trained to discriminate between two rectangles with a different orientation and position, much as in Experiment 1. We expected a difference between the two groups in the use of spatial dimensions in similarity judgments. An alternative scenario is suggested by the work of Kirkpatrick-Steger, Wasserman & Biederman (2000). Their procedure included relative location information and different three-dimensional object drawings in a Go/No-Go task. Pigeons were trained to respond to one stimulus and to refrain from responding to 15 others that contained either the same shapes but in a different layout or the same layout but with a different accompanying shape. Then, similarity judgement was assessed by the response rate to each of the

15 negative stimuli. Their results indicated that the pecking behaviour was controlled by both attributes (the different shapes and their layout), but they stressed that the location might have had a stronger stimulus control than the shapes themselves. So, perhaps in both groups of the present experiment, similarity judgments will be based on the position of the components within the patterns and not on their shapes. The method used in this experiment differed from the one used by Kirkpatrick-Steger, Wasserman & Biederman (2000) in that we used simple two-dimensional drawings in a symbolic matching to sample task with two training stimuli (S1, S2) both of which led to reinforcement, so we had two positive stimuli instead of one positive and several negative stimuli. More important, attention to the spatial layout of the stimulus components was not required to solve the training discrimination as it was in the Go/No-Go procedure. If the bird in this experiment encoded spatial position and used it in similarity judgments anyway, it would reflect their own bias more so than experimental demands.

In the Position-Orientation group, if position is more salient than orientation, as it was in Experiment 1, we expected that the pigeons would associate Stest2 with S1 and Stest1 with S2. If orientation is more salient, we would expect the opposite: that they would associate Stest2 with S2 and Stest1 with S1. The same logic applies for the Position-Shape group: If the position is more salient than the shape, we expected that they would associate Stest2 with S1 and Stest1 with S2. If the shape is more salient, we would expect the reverse: that they would associate Stest1 with S1 and Stest2 with S2. For this reason, Stest1 was particularly informative since it was identical for both groups.

Method

The method was the same as in Experiment 1, except for the following:

Subjects

Two groups of four White King pigeons from the Palmetto Plant in South Carolina were used. They were maintained at $85 \pm 2\%$ of free-feeding body weights. Five pigeons had previously served in studies on mirror image and similarity judgment and the other three were naive. After 40 sessions of training, one bird in each group still showed choice behaviour no different from chance and so three birds per group were tested. Within each group there were two birds with prior experience and one naive bird.

Stimuli and experimental design

The stimuli (see Figure 2) each consisted of a black circle (4 cm in diameter) with a 1 mm thick circumference divided into two halves by a 1-mm thick black line; a black rectangle (1.5 cm X 0.5 cm) was positioned in one half of the circle. In the discrimination training, two groups were formed: (1) A Position-Orientation group: the two dimensions that were manipulated (and deliberately confounded) were position and orientation. For this group, the first original stimulus (S1), was a horizontal rectangle in the top half portion of the circle and the second original stimulus (S2) was a vertical rectangle in the bottom half. (2). A Position-Shape group: the two dimensions that were manipulated (and deliberately confounded) were the position and the shape. For this group the first original stimulus (S1) was a horizontal rectangle in the upper half of the circle (identical to S1 in the Position-Orientation group). The second original stimulus (S2) was a filled circle (1 cm of diameter) in the bottom half of the stimulus.

The test stimuli (Stest) consisted of the remaining combinations of the dimensions. For the Position-Shape group, Stest1 was a rectangle in the bottom half (the rectangle had now the same position as the circle in the original stimuli) and Stest2 was a filled circle, in the top half of the

stimulus (the circle had now the same position as the rectangle in the original stimulus). For the Position-Orientation group, the horizontal rectangle was placed in the bottom half (Stest1) and the vertical rectangle was placed in the top half (Stest2).

Insert Figure 2 about here

Test trials

When the birds reached the criterion of 80% correct choices for three consecutive days in sessions with no correction trials, the test sessions began. In a test session, 18 unrewarded test stimuli (6 different tests stimuli X 3 rotations of the carousels) were randomly intermingled with 102 S1 and S2. Five sessions of tests were needed so each bird saw each of the two stimuli forty-five times. When the pigeon responded to the test stimuli by pecking one key or the other, it informed us on the similarity it perceived with S1 or S2, telling us which dimensions of the stimuli were used to perform the discrimination.

Results

The 80% success criterion was achieved in approximately 25 sessions (\bar{X} = 25.33; range 18 to 29) in the Position-Orientation group and in 25 sessions (range 18 to 33) in the Position-Shape group.

Figure 3 presents the choice frequencies for Stest1 and Stest2 in relation to S1 and S2 for the two groups. In associating the Stest with either S1 or S2, we could infer the dimensions on which they based their similarity judgment, i.e., in the Position-Shape group, if the pigeons associated Stest1 with S1, they might have used the shape dimensions, if they associated Stest1

with S2, they used the position dimension. The same goes for Stest2: if they associated Stest2 with S1 they used the position dimension and finally, if they associated Stest2 with S2, they used the shape dimension. In the Position-Orientation group, if the pigeons associated Stest1 with S1, we infer that they used the orientation dimension to judge the similarity, if they associated Stest1 with S2, they used the position dimension. If they associated Stest2 with S1, they used the position dimension and finally, if they associated Stest2 with S2, they used the orientation dimension. Figure 3 shows that in both groups, the position of the components had more control over the choice of the new stimuli than orientation or geometric shape. Pigeons in both groups judged that Stest1 was similar to S2 and that Stest2 was similar to S1, indicating that the position of the components bore more weight than either its orientation or its shape.

Because the data were frequencies with replication within individuals, a replicated goodness-of-fit test (G Statistic) was used (Sokal & Rohlf, 1981) as in Experiment 1. G_p (p for pooled) compares group choice proportion to a chance level 50:50. For the Position-Orientation group (the analysis compares the number of trials the pigeon chose position vs the number of trials it chose the orientation) $G_p = 29.12$, $df=1$, $p < 0.01$: the choice frequencies reflecting the use of position were significantly above chance. For the Position-Shape group (the analysis compares on the number of trials pigeons chose position vs the number of trials it chose shape) $G_p = 131.00$, $df=1$, $p < 0.001$: here again, the choice frequencies reflecting the use of position were significantly above chance.

Insert Figure 3 about here

The G_H (H for heterogeneity) tests for individual variation. A significant G_H means that the individual choice proportion differed significantly from that of the group. The data are not homogeneous for either group. In the Position-Orientation group, ($G_H = 46.91$, $df=2$, $p \leq 0.001$) two birds showed a choice behavior that indicated that position might be used more than the orientation of choices but one bird displayed random choice behavior for the position and orientation variables. That bird categorized both test stimuli as similar to S2. As an explanation, we suggest that since it had almost a perfect score on S1 and S2 symbolic choices, it might have learned that both Stest were non-rewarding and thus, did not categorize them. This might have been prevented by giving the pigeons an intermittent reinforcement schedule instead of a continuous reinforcement schedule. In the Position-Shape group ($G_H = 7.32$, $df=2$, $p \leq 0.01$), the difference between pigeons is one of magnitude and not of direction of choice.

Given that the test stimuli were presented more than once, we examined the first trial separately from the others, and tested for significant changes in behaviour over time. The first trial performance for each bird in each group are as follows: In the Position-Orientation group, two birds chose the position dimension when presented with Stest1 for the first time and one bird chose orientation. When presented the first time with Stest2, two birds chose orientation and one chose position. As for the Position-Shape group when presented with Stest1 the first time, two birds chose shape one chose position. When presented the first time with Stest2, all the birds chose position. An Anova between sessions showed no change over the sessions (For the Position-Orientation group, $F(4,8)=0.22$ $p \leq 0.92$ (N.S) for Stest1 and $F(4,8)= 1.06$ $p \leq 0.43$ (N.S.) for Stest2. For the Position-Shape group, $F(4,8)=0.72$ $p \leq 0.60$ (N.S.) for Stest 1 and $F(4,8)= 0.39$ $p \leq 0.81$ (N.S) for Stest2.

Discussion

In this experiment, one group replicated the results of Experiment 1 in using position instead of orientation in the categorization of the new stimuli. The second group had the choice of selecting the position or the shape of the components of the stimuli. In this group, the position was also used over the geometric shape. Hence, a spatial discrimination during training is not a prerequisite for the use of spatial information in a subsequent judgment of similarity between new and old stimuli. This outcome stresses the importance of the spatial dimensions, and especially of the position information of the components in the process of image discrimination. This is an accordance with the suggestion made by Kirkpatrick-Steger, Wasserman & Biederman (2000) to the effect that position might have a stronger stimulus control than shape. It seems counterintuitive, however, that shape was not even used in the discrimination between a rectangle and a circle (Position-Shape group), especially given that shape can be encoded and used (e.g., Lohmann, Delius, Hollard & Friesel, 1988). Our results do not necessarily show that shape was not encoded at all, but only that position was used preferentially: the shape information seems to have been superfluous in this task.

Although we expected that the training discrimination would take longer for the Spatial-Orientation group than for the Spatial-Shape group, it took approximately the same time for both groups. The two training discrimination tasks seemed to be both of comparable difficulty, and the reason is likely that both groups used the same information, spatial position, to resolve the discrimination.

General discussion

Results from both experiments showed that in discrimination and similarity judgment tasks, pigeons used the position information of the components instead of their orientation to resolve a discrimination task. Moreover, position was used even when the task included a non spatial dimension (the Position-Shape group of Experiment 2 for which the position information was pitted against shape). In these similarity assessment tasks, the birds had to initially encode some properties of the stimuli to be able to perform the initial discrimination. Then, upon presentation of new stimuli which presented different spatial organization of the same features, they retrieve and use the information regarding the position of the components to evaluate the similarity between the new stimuli and the initial stimuli.

Studying how pigeons assess similarities and differences in classifying stimuli may improve our understanding of the processes underlying form recognition. First, our results leave little doubt that pigeons do not rely solely on physical features to recognize an object as was proposed by Cerella (1980,1986). If it had been so, they would not have been able to make the initial discrimination of Experiment 1 and the initial discrimination of the group position-orientation of Experiment 2. So far, theories in pattern recognition have not pinpointed the importance of the relative role of position of components in the internal spatial arrangement of simple images. Rilling, LaClaire & Warner (1993), have proposed a hierarchical theory for object recognition which subsumes some of the research in comparative visual analysis with pigeons and humans. Their mostly bottom-up theory proposes that recognition initiates with edge extraction as suggested by both Biederman's theory (1987) and Marr's computational approach to human vision (1982). Then, orientation of the features is assessed by specialized brain cells (Hubel and

Wiesel, 1959). Furthermore, features are extracted and weighted. This is where our results seem to theoretically belong: The stimuli used in our study (the arrow, the rectangle, the filled circle inside divided outlined circles) were simple primitive components as envisaged by Marr (1982). For instance he suggested that the primal sketch consists of edges, bars, blobs and terminations and that those components had the perceptual attributes of orientation, contrast, length-width, and position. In our study, some of the attributes of the components of the 2-D pattern namely, the position, the orientation and the shape were contrasted to identify their relative weights. The fact that the birds weighted the position as more important than either orientation or shape in this particular task might imply that those "primitive components" not only specify the early perceptual attributes of position and orientation but somehow, position may be more salient than orientation.

In 3-D objects or images, the position can be assessed globally (an object in the scene (Humphreys and Riddoch, 1994)) but also locally; the components or geons might be assessed in relations to the others as proposed by (Wasserman, Kirkpatrick-Steger, Van Hamme & Biederman, 1993; Kirkpatrick-Steger, Wasserman & Biederman, 1996; Kirkpatrick-Steger & Wasserman 1996 Kirkpatrick-Steger, Wasserman & Biederman, 2000). Biederman (1987) suggested that despite the subjective componential interpretation given to the arrangement of image features as simple volumes, it is the image features themselves, in specified relationships, that mediate perception. Is it so or are spatial dimensions rated and used at different levels of object processing? Their relative influence in the sequence of the entire object evaluation needs further investigation.

Although we envisaged the collection of components as a pattern, our research still begs the question of object unity: do pigeons see an image as a whole or do they see it as an assemblage

of components? Gestalt principles have been widely employed with humans to delimit components from objects. Proximity and similarity have been proposed as early mechanisms of object detection by pigeon (Cook, 1993). However, Ushitani, Fujita & Yamanaka (2001) suggested that pigeons do not complete occluded portions even though the two elements move in concert. They also suggest that some alternative way of identifying objects may have evolved in pigeons. To answer this sort of question, the method used here might be useful: A symbolic matching to sample with original and new stimuli has the advantage of giving the choice of dimensions to be extracted from the stimulus to the pigeon. In most visual discrimination tasks, pigeons are trained to respond to some dimensions of the stimuli or to refrain from responding to others. The present study illustrates a more animal-centred approach to visual processing.

References

- Biederman, I. (1987). Recognition-by-components: A theory of human image understanding. *Psychological Review*, 94(2), 115-147.
- Cerella, J. (1979). Visual classes and natural categories in the pigeon. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 5(1), 68-77.
- Cerella, J. (1980). The Pigeon's analysis of pictures. *Pattern Recognition*, 12, 1-6.
- Cerella, J. (1986). Pigeons and perceptrons. *Pattern Recognition*, 19(6), 431-438.
- Cook, R.G. (1993). Gestalt contributions to visual texture discriminations by pigeons. In Zentall, T.R., (Eds.) *Animal cognition: A tribute to Donald Riley* (pp.251-259). Hillsdale:Lawrence Erlbaum.
- Delius, J. D., & Hollard, V. D. (1995). Orientation invariant pattern recognition by pigeons (*Columba livia*) and humans (*Homo sapiens*). *Journal of Comparative Psychology*, 109(3), 278-290.
- Hamm, J., Matheson, W. R., & Honig, W. K. (1997). Mental Rotation in Pigeons (*Columba livia*). *Journal of Comparative Psychology*, 111(1), 76-81.
- Hollard, V. D., & Delius, J. D. (1982). Rotational Invariance in Visual Pattern Recognition by Pigeons and Humans. *Science*, 218, 804-806.
- Hubel, D.H., & Wiesel, T.N. (1959). Receptive fields of single neurons in the cat's striate cortex. *Journal of Physiology*, 148, 574-591.
- Humphreys, G.W. & Riddoch, M.J.(1994). Attention to Within-object and Between-object Spatial Representations: Multiple Sites for Visual Selection. *Cognitive Neuropsychology*, 11(2), 207-241.

Kirkpatrick-Steger, K., & Wasserman, E. A. (1996). The what and where of the pigeon's processing of complex visual stimuli. *Journal of Experimental Psychology: Animal Behavior Processes*, 22(1), 60-67.

Kirkpatrick-Steger, Wasserman, E. A., & Biederman, I. (1996). Effect of spatial rearrangement of object components on picture recognition in pigeons. *Journal of Experimental Analysis of Behavior*, 65, 465-475.

Kirkpatrick-Steger, K., Wasserman, A. E., & Biederman, I. (1998). Effect of geon deletion, scrambling, and movement on picture recognition in pigeons. *Journal of Experimental Psychology: Animal Behavior and Processes*, 24(1), 34-46.

Kirkpatrick-Steger, K., Wasserman, E. A., & Biederman, I. (2000). The pigeon's discrimination of shape and location information. *Visual Cognition*, 7(4), 417-436.

Landry, F. & Plowright, C. (2002). *Discrimination of patterns and their transformations by pigeons*. Manuscript in preparation. University of Ottawa

Lohmann, A., Delius, J. D., Hollard, V. D., & Friesel, M. F. (1988). Discrimination of shape reflections and shape orientations by *Columba livia*. *Journal of Comparative Psychology*, 102, 3-13.

Marr, D. (1982). *Vision* New York: W.H. Freeman and Company.

Rilling, M., LaClaire, L., & Warner, M. (1993). A comparative, hierarchical theory for object recognition and action. In T. R. Zentall (Ed.), *Animal Cognition: A tribute to Donald A. Riley*. (pp. 313-333). Hillsdale: Lawrence Erlbaum Associates.

Sokal, R. R., & Rohlf, F. J. (1981). *Biometry*. (2nd edition). San Francisco: Freeman.

Statistica for Windows (version 4.5) [computer software] (1993). Statsoft, Inc.

Tatham, T. A., & Zurn, K. R. (1989). The MED PC experimental apparatus programming system. *Behavior methods, Instruments and computers*, 21, 294-302.

Ushitani, T.; Fujita, K.; Yamanaka, R.(2001). Do pigeons (*Columba livia*) perceive object unity? *Animal Cognition*, 4 (3-4), 153-161.

Wasserman, E. A., Kirkpatrick-Steger, K., Van Hamme, L. J., & Biederman, I. (1993). Pigeons are sensitive to the spatial organization of complex visual stimuli. *Psychological Science*, 4(5), 336-341.

Wasserman, E. A., Gagliardi, J. L., Cook, B. R., Kirkpatrick-Steger, K., Astley, S. L., & Biederman, I. (1996). The pigeon's recognition of drawings of depth-rotated stimuli. *Journal of Experimental Psychology: Animal Behavior Processes*, 22(2), 205-221.

Wasserman, E. A., Young, M. E., & Nolan, B. C. (2000). Display variability and spatial Organization as contributors to the pigeon's discrimination of complex visual stimuli. *Journal of Experimental Psychology: Animal Behavior Processes*, 26(2), 133-143.

Acknowledgments

This research was funded by a research grant to CMSP from the Natural Sciences and Engineering Research Council of Canada. Pierre Mercier provided invaluable advice on the experimental design. We thank Nicolas Dupuis-Roy, Roxane De La Sablonière and Isabelle Gonthier for their helpful comments on earlier drafts of this article and also Jean-Philippe Thivierge, Myriam Lebel and Beth Elston for technical support.

Table 1

The test statistics (GP), for the comparison of the choice proportions (given in Figure 2) to chance (50:50) and the GH test for individual differences for each of the 14 test stimuli in Experiment 1.

Test Stimuli	G_p (df=1)	G_H (df=4)
BL-0	186.47***	8.33 ns
BL-90	159.14***	15.50**
BL-270	172.33***	18.76***
TL-0	45.09***	40.69***
TL-180	45.09***	45.28***
TL-270	163.44***	19.72 ***
TR-0	25.48***	25.99***
TR-90	45.09***	21.05***
TR-180	55.09***	36.00***
TR-270	50.95***	27.99***
BR-0	135.21***	19.18***
BR-90	150.83***	27.98***
BR-180	135.21***	29.07***
BR-270	142.86***	12.04*

*** $p \leq 0.001$ ** $p \leq 0.01$ * $p \leq 0.05$ ns = non significant

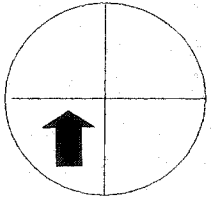
Figure Captions

Figure 1. Categorization of the test stimuli as S1 and S2 by the pigeons in Experiment 1. The average choice proportion is given in parentheses below each test pattern. None of the fourteen test stimuli were uncategorized. Legend: T= top, B= bottom L=left, R=right, and degrees of orientation on a 360° plane.

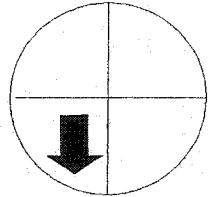
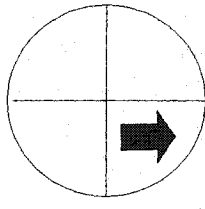
Figure 2. Original and test stimuli (Experiment 2)

Figure 3. Frequencies of choices in the categorisation of Stest1 and Stest2 in relation to S1 and S2 (Experiment 2)

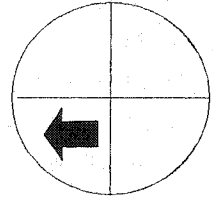
Stimulus 1 (S1) TL-90°



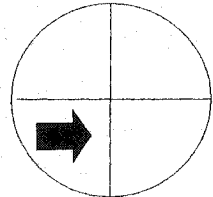
Stimulus 2 (S2) BL-180°



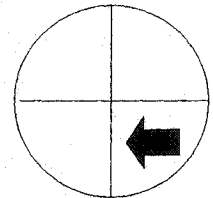
TL-270° (89%)



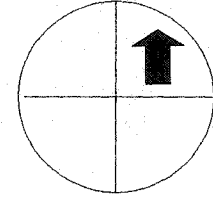
TL-0° (72%)



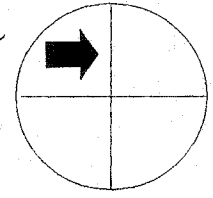
TL-180° (72%)



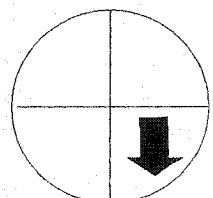
BL-0° (92%)



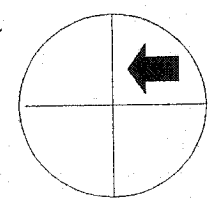
BR-90° (88%)



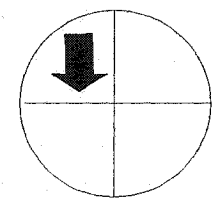
TR-180° (74%)



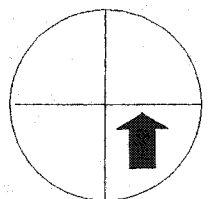
BL-270° (90%)



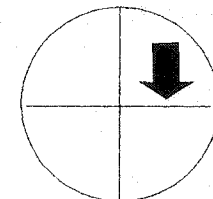
BR-0° (88%)



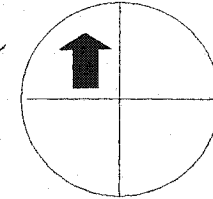
TR-270° (73%)



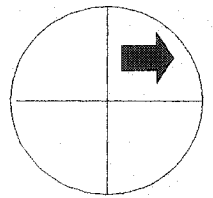
BL-90° (89%)



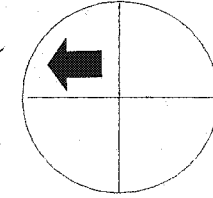
BR-270° (87%)



TR-90° (72%)



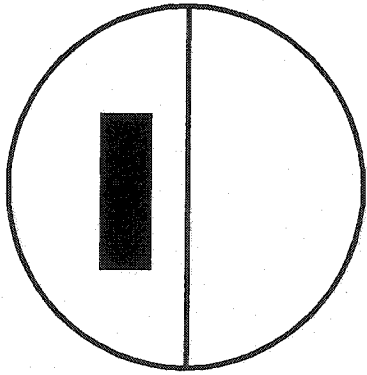
BR-180° (86%)



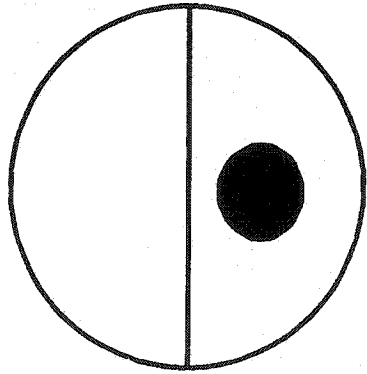
TR-0° (66%)

Legend: T=top, B=bottom, L=left, R=right, and degrees of orientation on a 360° plane

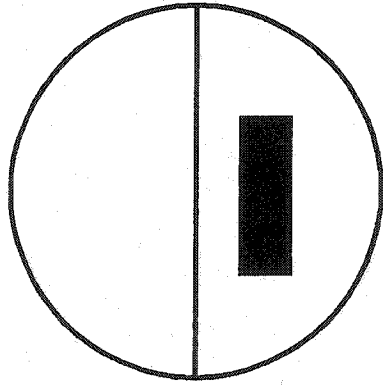
POSITION-SHAPE
CONDITION



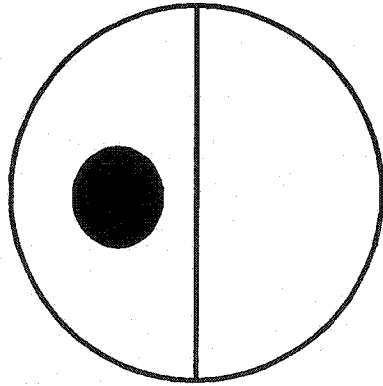
S1



S2

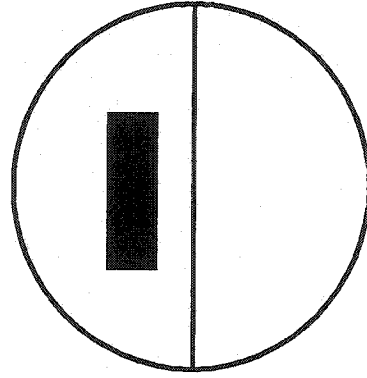


STEST1

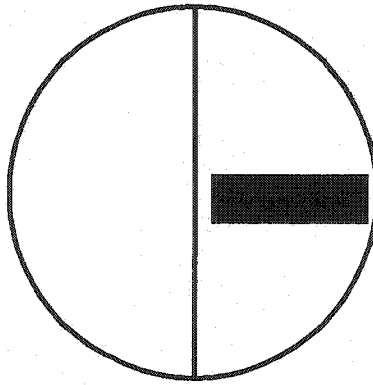


STEST2

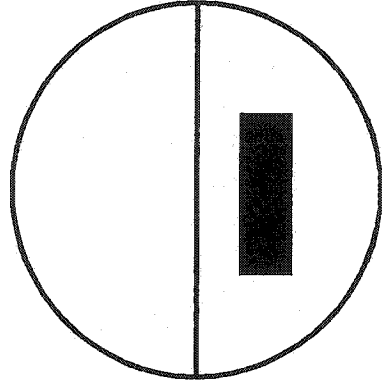
POSITION-ORIENTATION
CONDITION



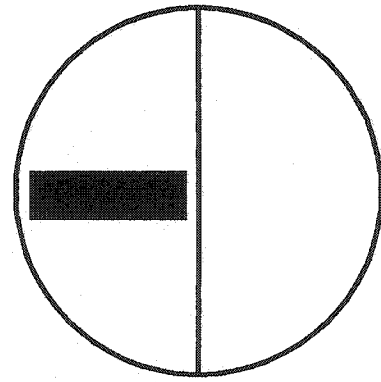
S1



S2

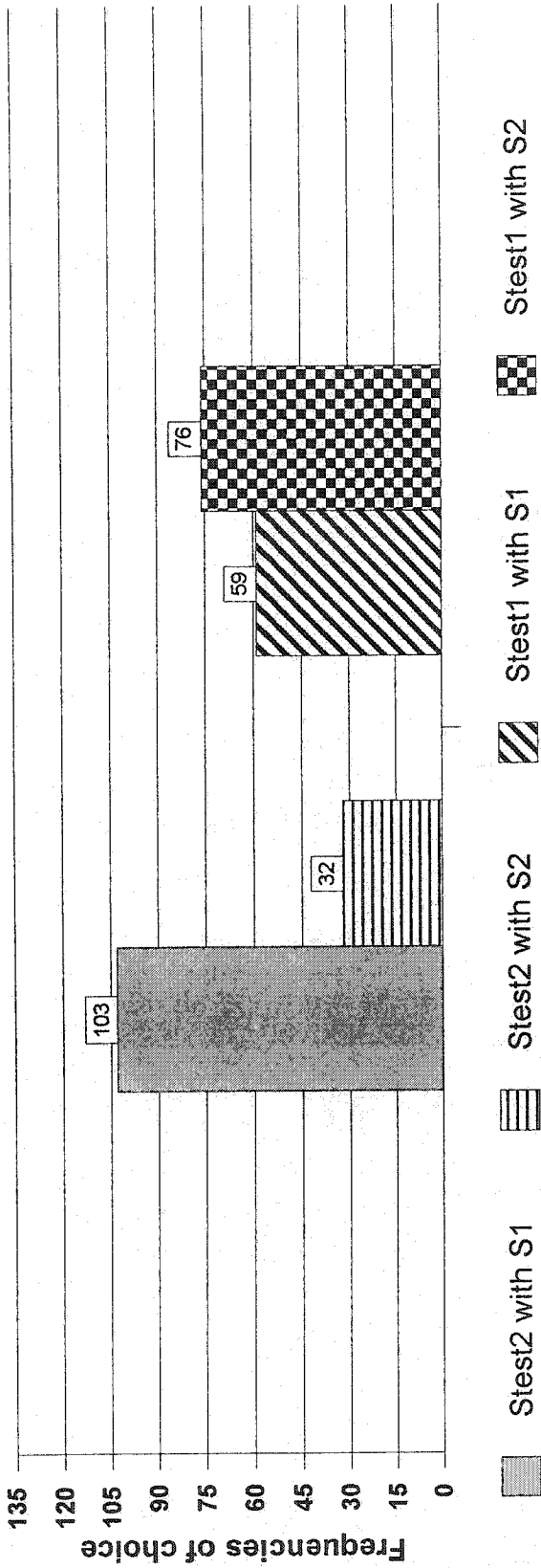


STEST1

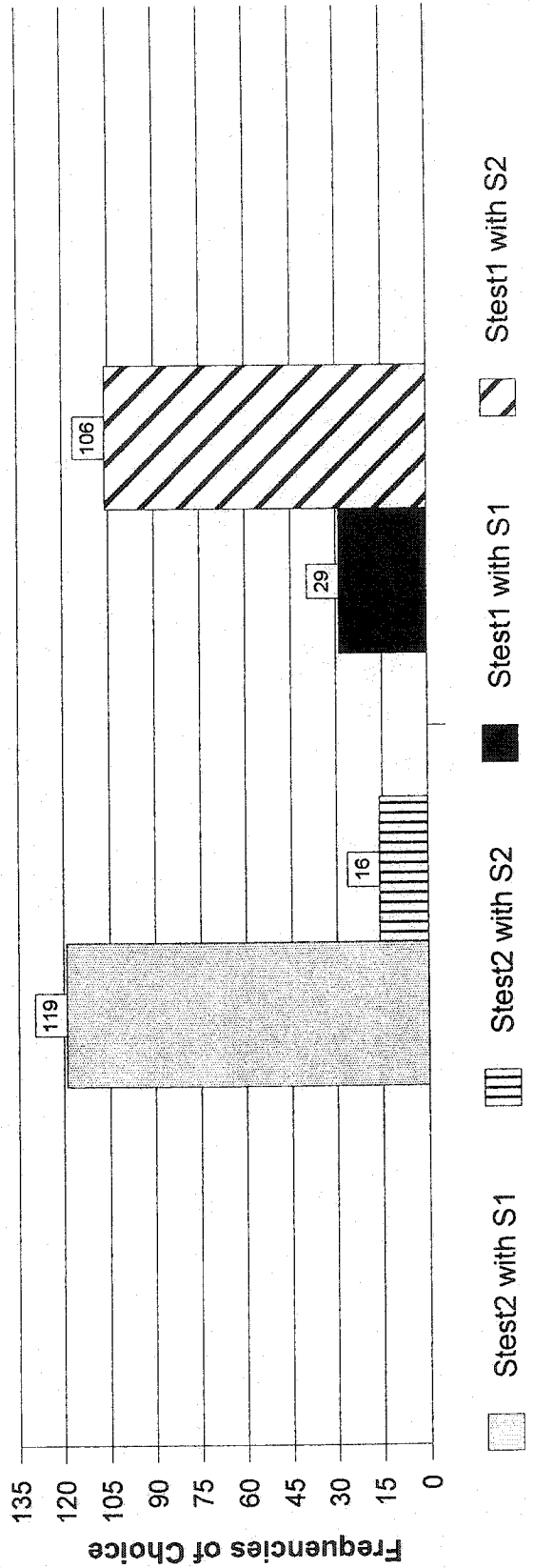


STEST2

Position-Orientation Condition



Position-Shape Condition



Article 2 : Landry, F. et Plowright, C.M.S. Discrimination of patterns and their spatial transformations: Mirror Image and Left-Right confusion by pigeons. Manuscript submitted to International Journal of Comparative Psychology (October 2002)

Running head: DISCRIMINATION OF PATTERNS AND THEIR SPATIAL TRANSFORMATIONS

Discrimination of patterns and their spatial transformations:

Mirror Image and Left-Right confusion by pigeons

France Landry & Catherine Plowright

University of Ottawa

Abstract

In a simultaneous discrimination task, pigeons were first trained to discriminate between two patterns : one rewarding, (S+) and the other unrewarding, (S-) that contained the same components (the symbols : c, d , ■ and <) but displayed in a different spatial layout. They were then tested for their choices of (1) S+ vs its Mirror Image (MI); (2) S+ vs its Left-Right reversal (L/R); (3) MI vs Other Layouts of the symbols and finally; (4) L/R vs Other Layouts of the symbols. In the first two conditions, the S+ was chosen over its MI and L/R reversal, i.e., no Mirror Image of Left/Right confusions were found. In the last two conditions, MI and L/R were not chosen over the Other Layouts, i.e. they were not treated as substitutes for the S+. On the contrary, the Other Layouts stimuli were chosen over the transformations of the S+. The stimuli that attracted the pigeons the most were the ones which contained some of the components in the same position as in the S+. These results stress the importance of the spatial organization and they suggest an important role of the position of the components of a pattern in the encoding and recognition process.

Pattern recognition and their spatial transformations: Mirror Image
and Left Right confusion by pigeons

Humans and other animals encounter objects in the world and encode them into their memory. Which attributes of the encoded object or part of the object are more important? Is the spatial organization of the elements of an image encoded? And does the transformation of the spatial layout confuse the perceiver? The present study was designed to evaluate the effect of a particular transformation, the mirror-image transformation, on pattern recognition.

In many species, Mirror Image confusions have been observed. Human children confuse the Mirror Image (MI) of a visual stimulus with the original one until they are about seven years old (Corballis & Beale, 1976). For example, children often confuse the letter "d" and the letter "b" when they are in the process of learning to read and write. With adults, this phenomenon is infrequent even though there are situations when they confuse an original image and its Mirror Image when they are presented in different orientations (Shepard & Metzler, 1971). Moreover, a spontaneous generalization (confusion) of a Mirror Image with the original stimulus is observed in cases where the Left/Right is not a relevant dimension. For instance, Standing, Conezio et Haber (1970) presented 2500 photographs of natural scenery to adults and later, asked them to recognize which were presented. The mirror images of the recently presented photos were as easily recognized as the original ones. Because a MI transformation involves reversing the left and right sides of a pattern, the MI confusion might be attributable to Left-Right confusion (and for this reason, the patterns in our study were chosen so that the MI was different from the Left-Right transformation- see below). Left-Right discriminations have been shown to be arduous for humans: adults show longer reaction times for Left/Right discrimination than for Top/Bottom

discriminations (Corballis & Cullen, 1986). Mirror Image confusions and discriminations have also been studied in a variety of other species using a variety of procedures: octopuses (Sutherland, 1960); goldfish (Mackintosh & Sutherland, 1963); dogs, (Pavlov, 1927); rats (Lashley, 1938) and (Kinsbourne, 1967, 1971; Van Hof, 1966, 1970); cats (Sutherland, 1963); bumble bees (Korneluk & Plowright, 1995; Plowright 1997); and honeybees (Gould, 1988; Stack & Giurfa, 2001).

The extent of MI confusion by pigeons remains unclear. Some authors (Cerella, 1990; Hollard & Delius 1982; Delius & Hollard, 1995) argue that pigeons recognize the MI of a pattern as different from the original, at least more so than humans. Indeed, the absence of mental rotation in pigeons has been attributed to this superior discrimination of the MI from the original image (if two stimuli, such as drawings of an elephant and a zebra, are seen as very different, then mental rotation is not observed in humans either). Nonetheless, Mirror Image discriminations are difficult to learn compared to a pair of arbitrary patterns, and so there must be some confusion between the MI and the original (Todrin & Blough, 1983). Interestingly, as in other species, the oblique Mirror Image discrimination is even more difficult for pigeons than either the Left-Right or Up/Down Mirror Image (Corballis & McMaster, 1996).

In the present study we used a new procedure to address the question of whether there is a MI confusion with pigeons. The procedure was first used by Gould (1988) and subsequently used in other studies with honeybees and bumble bees (Korneluk & Plowright, 1995; Plowright, 1997; Stack & Giurfa, 2001) but not yet with vertebrates. The procedure comprises three steps. First, a simultaneous binary choice task is presented in which the positive stimulus (S+, reinforced) is compared to a negative stimulus (S-, non-reinforced). The two stimuli contain the same features

in a different spatial arrangement. Note that during training the Mirror Image is not seen by the animal. After the acquisition of this discrimination, a second step consists of presenting the positive stimulus with the MI (S+ vs MI). A failure to discriminate at this point would show an “absolute confusion”, in Gould’s terminology. Finally, the MI is presented with new stimuli (again, same features in new arrangements). A preference for the MI at this point would show a “facultative confusion”: the MI would be accepted by the pigeon as a substitute of the S+ in the absence of the S+. The elegance of this procedure lies in the conclusion of a “confusion” based on a rejection of the null hypothesis: a discrimination between the MI and the new stimuli.

We used patterns taken from a previous study on bumble bee (Plowright, 1997) because the Mirror Image of the pattern (in which the circular pattern is “flipped”) was distinguishable from its Left-Right (L/R) reversal (in which the left and right sides of the pattern are switched). The difference between the two is illustrated in Figure 1. In this way, a true Mirror Image confusion could be distinguished from left-right confusion.

We had good reason to believe that our pigeons would not confuse the MI with any of the other stimuli. Our previous research (Landry & Plowright, 2001) has shown that the position of pattern components is crucial in the recognition process (see also Biederman, 1987; Wasserman, Kirkpatrick-Stegger, Van Hamme, Biederman, 1993), but in comparison, the orientation of the components is unimportant. In our MI (see Figure 1), the positions of the individual components all change location and so we predicted that the MI would be judged to be different from the S+.

Method

Subjects

Nine pigeons (White King) from Palmetto Plant in South Carolina were maintained at 85% \pm 2% of their free feeding weight. Five pigeons had previously served in unrelated studies (effect of competition on food choice) and the other four were naive. Four pigeons were excluded for reasons given below, and so the data for five pigeons are reported. Prior to this experiment, the birds were taught to peck operant keys using a combination of hand shaping and auto shaping. The birds were kept in individual cages with unlimited access to water and grit under a 12/12 hour light cycle. Every session was done at approximately 9:00 a.m., 5 days a week.

Apparatus

One operant chamber (32cm x 32cm x 30 cm) was used. On the side wall were three keys: two clear plastic side keys (5cm in diameter) covered with white paper on the back which served as a screen projector for the slides; one opaque white plastic centre key (2 cm in diameter), was illuminated by a green light. Each side key was located 10 cm above a feeder opening into which were dispensed 40 mg BioServ food pellets. The operant chamber was controlled by a 386SX IBM computer via an Interface and Med-Pc software (Tatham & Zurn, 1989).

Two projectors (Elmo Omnigraphic 301 AF) with an Elmo zoom lens 1:3.5 f=100-150 mm and regular 80 slots Kodak carousels were used (only 40 slots were used in order to give an inter-trial interval between projections). The lens stood at 30 cm from the side keys outside the sound-attenuating box that enclosed the operant chamber. To focus the stimuli on the side keys, the lens had to be held (4 to 5 cm) in front of the projector by a retort stand. A fan and a white noise diffuser inside the sound-attenuating box helped to mask the outside noise.

Stimuli.

The stimuli consisted of four black symbols (c, d, ■, <) each centred inside a black circular outline. The various arrangements of these symbols (S+, S-, MI, L/R) are given in Figure 1. The dimensions of the projected patterns were approximately 4.5 cm x 4.5 cm.

Insert Figure 1 about here

*Procedure**Shaping.*

With an auto-shaping procedure, pigeons learned to peck the side keys on which were rear-projected images displaying four empty circles randomly projected on one side or the other. The bird had to peck the image in order to receive food. In a second step of shaping, the green centre key would turn on and the pigeon had to peck it twice so that the two side keys would alternately turn on and the bird had to peck the illuminated one to receive food. Approximately 300 trials were needed by each pigeon to obtain a constant pecking response to the keys.

Training.

A simultaneous binary choice task was then introduced. After pigeons pecked the centre key twice, S+ would appear on one side key, and the S- on the other. S+ and S- appeared equally often on each side. Two pecks on the S+ would extinguish the key lights and lead to four pellets of food being dispensed in the feeder, with the feeder light on for 4 seconds. Pecks on the S- were not reinforced but the feeder light would turn on for four seconds (to show the empty feeder).

After a four-seconds inter-trial interval, a new trial would begin. A session was composed of 20 S+ and 20 S-. After 35 sessions, no learning was visible so correction sessions were introduced in which a peck to S- would make that key turn off and the trial was completed only when the S+ key was pecked. When pigeons succeeded in choosing the S+ more than 75% in a session for three consecutive sessions, correction trials were terminated and simple discrimination sessions were resumed until they also succeeded in pecking the S+ more than 75% in a session for three consecutive days. Three pigeons did not learn the discrimination and one was exhibiting aggressive behaviours, and so, they were removed from the experiment.

Testing.

When the 75% discrimination criterion was achieved, four experimental conditions were conducted in which, four test pairs of stimuli were randomly inserted in the last twenty trials of a regular 40 training trial carousel (and so 10 testing sessions were presented in order to get 40 test trials for each condition). A choice of either of the members of the test pairs of stimuli were not reinforced, which is why these test stimuli had to be infrequent. In the first condition the positive stimulus was pitted against its Mirror Image (S+ vs MI). In the second condition, the positive stimulus was pitted against its Left/Right reversal; (S+ vs L/R). These first two conditions were aimed at verifying an absolute ambiguity, signifying a total confusion between the S+ and its transformations. In the third condition, ten Other Layouts (OL) were constructed by re-arranging the four symbols. The Mirror Image of the positive stimulus was pitted against these Other spatial Layouts (MI vs OL). In the fourth condition, the Left/Right reversal of the positive stimulus was also opposed to Other Layouts (L/R vs OL). The last two conditions were aimed at verifying the presence of a facultative ambiguity ie. a preference for the transformation as opposed to Other

Layouts. The order of presentation was frequently changed to avoid learning of sequences instead of the actual layouts. Pigeons had to keep a 75% success criterion in the 36 training trials of a session in order to assure that the initial discrimination was preserved. If the criterion was not attained, pigeons were put back on correction sessions and then on discrimination sessions until they attained the criterion again for three consecutive days (the experimental sessions where the criterion was not attained, were not tallied).

Results

Pigeons reached the training criteria (without correction) in approximately 90 sessions (\bar{X} =88.8 range 74 to 125). Figure 2 shows the choice proportion for the four experimental conditions.

Insert Figure 2 about here

Because the data were binary choice frequencies and because we had repeated measures, a replicated goodness-of-fit test (G statistic) was used (Sokal & Rohlf, 1981). Two G values for each condition are reported in Table 1 and they are compared to chi-square values in the tests of significance: (1) G_p (P for Pooled), which compares group choice proportions to a chance level of 50:50. (2) G_H (H for Heterogeneity), which tests for individual variation. A significant G_H means that the individual choice proportion differed significantly from that of the group.

Insert Table 1 about here

The results of the first condition show that the pigeons clearly differentiated S+ from its Mirror Image (Figure 2a). They also clearly discriminated between S+ from its Left/Right reversal (Figure 2b). These results show no absolute confusion in the first two conditions. In condition three and four, the Mirror Image and the Left/Right reversal were not significantly chosen over Other Layouts, showing an absence of facultative confusion (Figure 2 c and 2d, respectively). In other words, the birds did not prefer the Mirror Image or the Left/Right reversal when the S+ was absent. Surprisingly, they chose the Other Layouts significantly more often than the transformations.

The statistical analysis of the separate Other Layouts is not possible since there were not enough data for each of the 10 Other Layouts (each pigeon saw each of the Other Layouts 4 to 8 times only, in both conditions). However, as a group, there seem to be a tendency to choose some of the Other Layouts more than others (see Figure3). For example, OL 10 and OL 2 were chosen more often than the other ones. These stimuli have two symbols which are at the same position as S+. Moreover, the least chosen stimuli, OL 6 has two symbols that are at the same position as the S-. It seems then, that the concordance of the position of the new and original stimuli has been the element on which pigeons made their judgment.

Insert Figure 3 about here

For the first two conditions, the GH are significant, meaning that choice proportions are heterogeneous. The heterogeneity reflected mostly individual differences in the magnitude of the choice frequencies but not in the direction. In other words, if a group choice frequencies showed

that the pigeons preferred a stimulus, they all did so to a greater or lesser degree. One exception is Pigeon 29 which failed to discriminate the two stimuli in the first two conditions.

Notwithstanding this failure in performance in the first two conditions, Pigeon 29 showed a marked preference for the OL stimuli in the last two conditions, just as did the other pigeons. For the last two conditions, the ones with the Other Layouts stimuli, the results are homogenous (GH is non significant); i.e. no individual differences were detected.

Discussion

The results show that the birds in our experiment discriminate (perceive as different) the Mirror Image from its original image, like the pigeons in the studies by Hollard & Delius (1982) and Cerella, (1990). Hence, an absolute confusion where the image and its Mirror Image are undistinguishable, has not been seen. The same can be said for the Left-Right transposition of the S+. Moreover, the pigeons did not prefer the MI to some randomly layouts of the same symbols. Accordingly, a facultative confusion where the Mirror Image would be preferred to Other Layouts was not present here. The pigeons did not show any preference for the Left/Right reversal of the S+ to some Other Layouts either. In fact, the reverse was true: we found a significant preference for the Other Layouts over the MI and over the L/R. These results are in line with our predictions: because pigeons strongly weight the position of pattern components in the recognition process (Landry & Plowright, 2001; Biederman, 1987; Wasserman, Kirkpatrick-Stegger, Van Hamme & Biederman, 1993), they view the MI and the LR as different from the S+. The OL patterns in which some of the features appeared in the same position as in the S- were chosen most infrequently.

Two aspects of our procedure might account for the strong discriminations observed. The first has to do with training: the original discrimination (S+ vs S-) required extensive training to learn (about 90 sessions of 40 trials) and it necessitated a particular attention to the spatial relations among the pattern components (otherwise, the original discrimination would not have been possible). Perhaps by forcing attention to spatial relations, the procedure predisposed the pigeons not to be confused by patterns with the same components arranged differently. It is then possible that in other situations, where the positions of the components are not important to resolve the task, that there could be spontaneous confusion as it was seen in humans (Standing Conezio et Haber, 1970) where recognition did not depend on specific position components. This possibility needs to be assessed with pigeons.

The second aspect of the procedure that might have triggered the strong discrimination is the choice of stimuli. When the S+ was transformed, both symbols from the left side were moved to the right side of the pattern and vice versa. In most of the studies on Mirror Image confusion, however, there is only one stimulus component (one figure or symbol in the centre of the key). Consequently, when the transformation is created, the Mirror Image of the whole stimulus appears at essentially the same position (for instance, the Mirror Image of "<" "in the centre of a key is ">"in the centre of a key). The obvious change of position of the components might have been a key in the present experiment. In studies where no Mirror Image confusion was obtained (e.g. Delius & Hollard, 1995), even though one line figure was used, it was large and branched, and so the Mirror Image still clearly had figure-parts in new locations. Viewed in this way, there is nothing special about Mirror Images and Mirror Image confusion or discrimination. Mirror Image confusion or discrimination simply reflects the way in which pigeons use spatial information to

judge the similarity of newly encountered patterns with memories of old patterns. Future research on the treatment of Mirror Image might profitably take account the change in position of stimulus components (or parts of these components) as an important variable.

References

- Biederman, I. (1987). Recognition-by-components: A theory of human image understanding. *Psychological Review*, 94(2), 115-147.
- Cerella, J. (1990). Pigeon pattern perception, limits on perspective invariance. *Perception*, 19, 141-159.
- Corballis, M. C., & Beale, I. L. (1976). M. C. Corballis & I. L. Beale (Eds.), *The psychology of left and right*. Hillsdale: Lawrence Erlbaum associates.
- Corballis, M. C., & Cullen, S. (1986). Decisions about the axes of disoriented shapes. *Memory & Cognition*, 14(1), 27-28.
- Corballis, M. C., & McMaster, H. (1996). The roles of stimulus-response compatibility and mental rotation in mirror-image and left-right decisions. *Canadian Journal of Experimental Psychology*, 50(4), 397-401.
- Delius, J. D., & Hollard, V. D. (1995). Orientation Invariant Pattern Recognition by Pigeons (*Columba livia*) and Humans (*Homo sapiens*). *Journal of Comparative Psychology*, 109(3), 278-290.
- Gould, J. L. (1988). A mirror-image "ambiguity" in honey bee pattern matching. *Animal Behaviour*, 36, 487-492.
- Hollard, V. D., & Delius, J. D. (1982). Rotational Invariances in Visual Pattern Recognition by Pigeons and Humans. *Science*, 218, 804-806.
- Kinsbourne, M. (1967), Sameness-difference judgments and the discrimination of oblique in the rat. *Psychonomic Science*, 7, 183-189.

- Kinsbourne, M. (1971). Discrimination of orientation by rats. *Psychonomics Science*, 22, 50.
- Korneluk Y.G. & Plowright, C.M.S.(1995). Mirror image pattern matching by bumble bees. *Behaviour*, 132 (1-2), 87-93.
- Landry, F. & Plowright, C.M.S.(2001). Use of spatial dimensions in pattern discrimination and similarity judgments by pigeons. *International Journal of Comparative Psychology*, 14 (1-2), 76-89.
- Lashley, K.S. (1938). The mechanism of vision, XV. Preliminary studies of the rat's capacity for detailed vision. *Journal of General Psychology*, 18, 123-193
- Mackintosh, J. & Sutherland, N.S. (1963). Visual discrimination by the goldfish: The orientation of rectangles. *Animal Behaviour*, 11, 135-141.
- Pavlov, I.P. (1927) *Conditioned reflexes*. London and New-York: Oxford University Press.
- Plowright, C. M. S. (1997). Function and mechanism of mirror-image ambiguity in bumblebees. *Animal Behaviour*, 53, 1295-1303.
- Shepard, R. N., & Metzler, J. (1971). Mental rotation of three-dimensional objects. *Science*, 171, 701-703.
- Sokal, R. R., & Rohlf, F. J. (1981). Analysis of frequencies. In R. R. Sokal & F. J. Rohlf (Eds.), *Biometry*. (pp. 691-778). San Francisco: Freeman.
- Stack & Giurfa (2001). How honeybees generalize visual patterns to their mirror image and left-right transformations. *Animal Behaviour*, 62(5), 981-991.

Standing, L., Conezio, J., & Haber, R. N. (1970). Perception and memory for pictures: single-trial learning of 2500 visual stimuli. *Psychonomic Science*, 19(2), 73-74.

Sutherland, N. S. (1960). Visual Discrimination of Orientation by Octopus: Mirror Images. *British Journal of Psychology*, 51(1), 9-18.

Sutherland, N.S. (1963). Cat's ability to discriminate oblique rectangles. *Science*, 139, 209-210.

Tatham, T. A., & Zurn, K. R. (1989). The MED PC experimental apparatus programming system. *Behavior methods, Instruments and computers*, 21, 294-302.

Todrin, D. C., & Blough, S. D. (1983). The discrimination of mirror-image forms by pigeons. *Perception & Psychophysics*, 34(4), 397-402.

Van Hof, M.W. (1966). Discrimination between striated patterns of different orientation in the rabbit. *Vision Research*, 6, 89-94.

Van Hof, M.W. (1970). Mechanisms of orientation discrimination in the rabbit. *Experimental Neurology*, 28, 494-500.

Wasserman, E. A., Kirkpatrick-Steger, K., Van Hamme, L. J., & Biederman, I. (1993). Pigeons are sensitive to the spatial organization of complex visual stimuli. *Psychological Science*, 4(5), 336-341.

Acknowledgments

This research was funded by a research grant to CMSP from the Natural Sciences and Engineering Research Council of Canada.

Table 1.

For each condition, a statistical analysis of frequency (Gp) was effectuated for the choice proportion of the group compared to chance level (50:50), and a test of homogeneity (Gh) for individual differences.

Condition	Gp	df	p	Gh	df	p
S+vs MI	54.54	1	p<0.001	25.60	4	p<0.001
S+ vs L/R	31.24	1	p<0.001	19.96	4	p<0.001
MI vs Other Layouts	15.89	1	p<0.001	6.17	4	ns
L/R vs Other Layouts	9.76	1	p<0.005	0.536	4	ns

ns (non-significant)

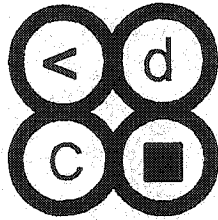
Figure captions

Figure 1. Stimuli used for training and for each of the four testing conditions. S+ , S- , mirror-image of the S+, left-right reversal of S+ and examples of the Other Layouts stimuli (for full list see fig3)

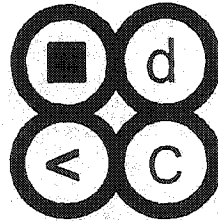
Figure 2. Choice frequencies out of $n = 40$ for the four experimental conditions for each pigeon.

Figure 3. Percentage of choice for each Other Layouts stimulus

Learning

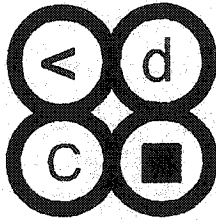


S+

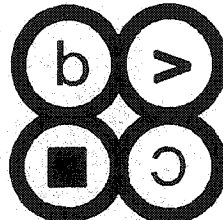


S-

Condition 1

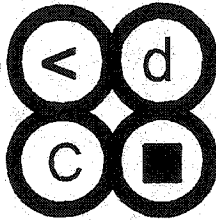


S+

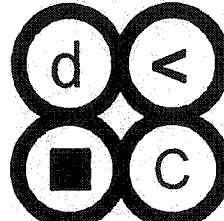


MI of S+

Condition 2

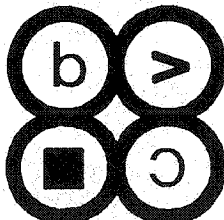


S+

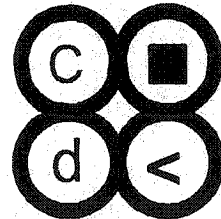


L/R of S+

Condition 3

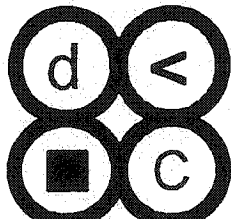


MI of S+

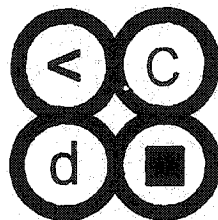


Example of OL

Condition 4

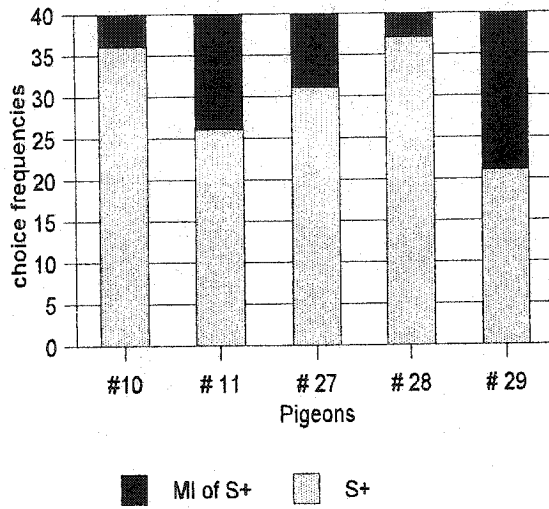


L/R of S+

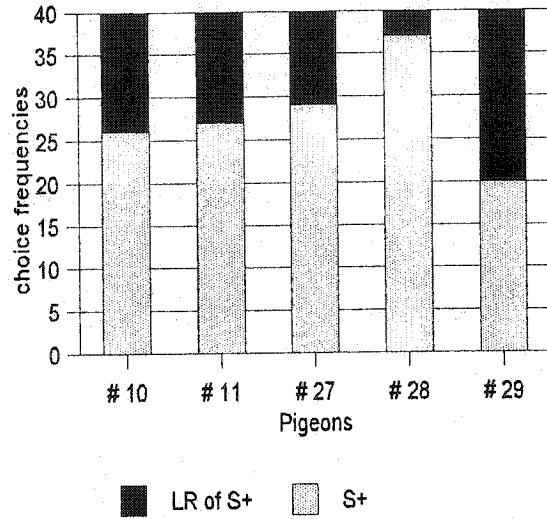


Example of OL

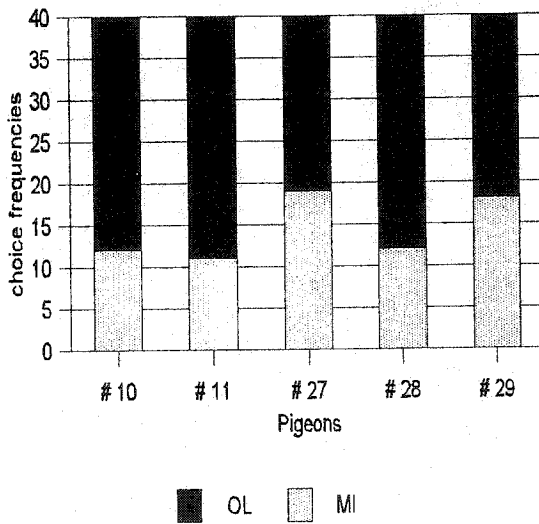
A



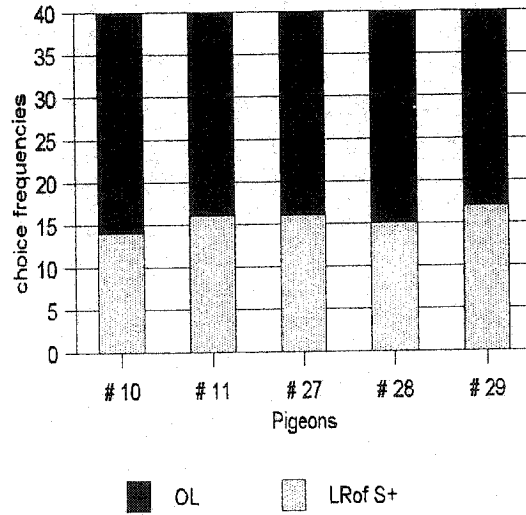
B



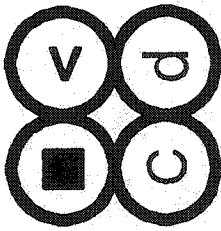
C



D

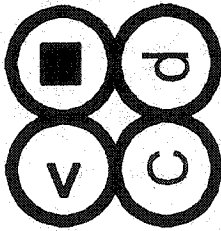


OL1



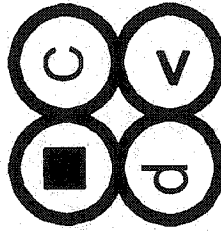
% choice vs MI=78
% choice vs LR=62

OL2



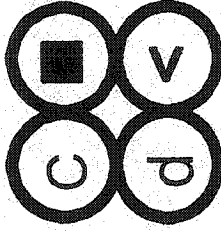
% choice vs MI=72
% choice vs LR=77

OL3



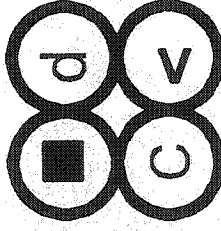
% choice vs MI=72
% choice vs LR= --

OL4

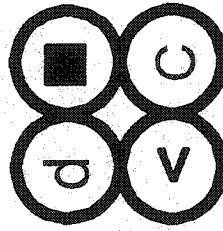


% choice vs MI=41% choice vs LR= --
% choice vs MI= -- % choice vs LR=72

OL5

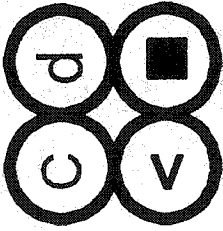


OL6



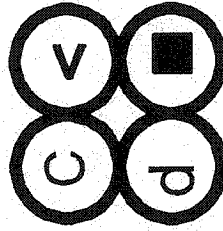
% choice vs MI= 18
% choice vs LR= 32

OL7



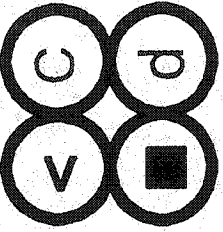
% choice vs MI= 82
% choice vs LR=76

OL8



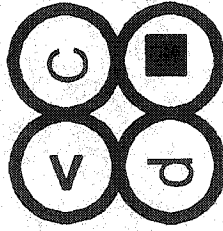
% choice vs MI= --
% choice vs LR= 44

OL9



% choice vs MI= 55
% choice vs LR= 54

OL10



% choice vs MI= 91
% choice vs LR= 86

Discussion générale

Résumé des résultats des trois expériences

Les trois expériences effectuées dans le cadre de cette étude proposaient, comme objectif commun, de cerner l'apport de l'information spatiale impartie par les composantes d'une image en deux dimensions dans le processus de reconnaissance des formes chez le pigeon. Dans une première expérience, l'information spatiale de l'image a été séparée en deux dimensions spécifiques : l'une se référant à l'orientation sur un plan de 360° d'une des composantes de l'image (une flèche avec une orientation de 0°, 90°, 180° ou 270°) et l'autre se référant à la position de cette même composante par rapport à un cadre de référence invariable (quatre quadrants formés par la droite et la gauche d'une droite verticale et le haut et le bas d'une droite horizontale). Les deux dimensions ont été contrastées de telle sorte que l'une ou l'autre des composantes (ou les deux) puisse être retenue et utilisée ultérieurement pour juger de la similarité entre les stimuli de la discrimination initiale et des stimuli présentant de nouvelles variations de ces mêmes dimensions. Les résultats ont démontré que les pigeons ont favorisé l'information provenant de la position des composantes plutôt que celle provenant de l'orientation pour classer des stimuli nouveaux. Ces résultats suggèrent premièrement que ces deux dimensions spatiales ont pu être discriminées par les pigeons contrairement aux conclusions de certaines études stipulant que les pigeons sont insensibles aux dimensions spatiales (Cerella, 1979, 1980, 1986). Les résultats sont toutefois en accord avec les théories de reconnaissance d'objets en trois dimensions (Biederman, 1987) et les études qui en découlent chez les pigeons (Kirkpatrick-Steger et Wasserman, 1996; Kirkpatrick-Steger, Wasserman et Biederman, 1996) à l'effet que

l'organisation spatiale des composantes est primordiale à la correspondance d'une image avec sa représentation en mémoire à long terme.

La deuxième expérience teste la possibilité que les résultats obtenus dans l'expérience 1 soient en relation directe avec le type de stimuli utilisés et la tâche demandée : est-ce que la prépondérance de l'information de la position est conséquente au fait que la tâche est purement spatiale? En serait-il autrement si la position était contrastée avec une dimension non-spatiale? L'expérience 2 recelait deux volets : dans un premier temps, nous avons tenté de reproduire les résultats de l'expérience 1 avec des stimuli plus simples et dans un second temps, nous avons contrasté l'information de position avec une information non-spatiale, en l'occurrence, la forme. Celle-ci semble intuitivement être plus saillante comparativement aux dimensions spatiales, du moins chez les humains. Même chez les pigeons, le temps de réaction associé à la discrimination entre deux formes est habituellement plus court qu'une discrimination sur la base d'une différence spatiale (Lohmann, Delius, Hollard et Friesel, 1988). Nos résultats ont démontré que les pigeons ont utilisé la position de la composante cible plutôt que sa forme géométrique. De plus, les résultats de l'expérience 1 quant à la préférence de la position par rapport à l'orientation ont été répliqués.

Dans la troisième expérience, l'importance de l'information de la position a été mise à l'épreuve en introduisant une transformation reconnue chez différentes espèces comme causant une confusion : la confusion de l'image miroir. De plus, la transposition gauche-droite des stimuli a été évaluée puisque cette transformation expose un changement de position des composantes, tout comme l'image miroir, et non pas un changement dans l'orientation de celles-ci. Après avoir

discriminé deux images où les symboles étaient disposés différemment, nous avons contrasté le stimulus positif avec son image miroir (incluant deux transformations : la transposition gauche-droite des composantes et le pivot du stimulus entier en son centre et la transposition simple de ses composantes de la droite vers la gauche et vice-versa). Plus encore, les deux transformations ont été contrastées à des stimuli comportant de toutes nouvelles dispositions des composantes afin d'observer la possibilité d'une généralisation entre le stimulus positif et ses transformations. Les deux types de transformations (image miroir et transposition gauche-droite) ont non seulement été ignorés dans ces conditions, mais les nouveaux stimuli comportant les mêmes composantes dans une configuration différente ont été favorisés. La préférence significative de certains nouveaux stimuli repose sur la similarité entre la position des symboles des stimuli nouveaux et ceux de la discrimination initiale (S+, S-). Ces résultats appuient ceux des deux expériences précédentes à l'effet que l'information de la position est prédominante.

Significations théoriques

Nos résultats mettent en évidence le fait que, non seulement les dimensions spatiales sont importantes dans le jugement de similarité de formes, mais que l'information de la position des composantes est prépondérante par rapport à celle de l'orientation et de la forme géométrique. Notre première assertion explicative propose qu'étant donné la simplicité des stimuli utilisés, le traitement de l'information ait pu avoir lieu très tôt dans le processus de reconnaissance. Il est possible en effet que, pour faire les discriminations initiales de chacune des trois expériences, les pigeons aient utilisé un mécanisme de détection simple où le stimulus tracé en noir ait été contrasté avec le fond blanc de la clef opérante. Selon la théorie de la vision de Marr (1982), cette étape du

traitement consiste en un processus de représentation bidimensionnelle globale en terme de changements de niveaux de luminescence en fonction de la localisation. Ces changements sont notamment engendrés par des changements de luminance dus aux contours des surfaces opaques, réfléchissant et diffusant la lumière qui délimitent des objets. Le fait que le nombre d'essais nécessaires à l'apprentissage de la discrimination initiale pour les deux groupes de l'expérience 2 (position-orientation et position-forme) ait été semblable semble appuyer cette hypothèse. En effet, si l'on infère que le pigeon ne traite pas individuellement les dimensions séparément mais, au contraire, qu'il traite l'image en tant que « photographie de contraste » globale, il ne devrait pas y avoir de différence dans la durée de l'apprentissage initiale des deux groupes.

Cependant, le fait que, dans la première expérience, les onze stimuli associés avec le deuxième stimulus initial (S2) n'ont pas tous été traités de façon égale (ceux présentant plus de ressemblances en terme de dimensions communes avec le S2 ont été favorisés) indique que les dimensions de la position et de l'orientation ont toutes deux été encodées lors de l'apprentissage de la discrimination initiale. Subséquemment, lors de la comparaison avec la représentation en mémoire, la dimension de la position a été récupérée et utilisée. Une explication plausible est que l'information concernant la position est traitée plus tôt dans le processus de reconnaissance que celle concernant l'orientation ou la forme des composantes. Cette supposition repose sur le fait que l'orientation et la position ont été confrontées dans une situation où les autres dimensions de l'image ont été maintenues constantes durant l'expérience et que le choix de la position a été très prononcé. Cet argument présuppose un traitement sériel des attributs des composantes. La présupposition hiérarchique des étapes des théories de reconnaissance supporte cette assertion.

Cependant, le fait que la position ou l'orientation des composantes soit traitée dans un ordre fixe reste à être corroboré. Dans le cas où cette supposition serait confirmée, il resterait à déterminer quelle serait la cause de la fixité de cet ordre. Si cet argument temporel s'avère exact, il est alors possible que, suite à l'extraction de l'information relative à la position, l'analyse de l'information concernant les autres dimensions ne soit pas conduite à son terme. Ceci ne suppose aucunement que, dans d'autres circonstances où la tâche le requerrait, cette information ne serait pas traitée. Au contraire, il a été démontré que l'information de l'orientation (Lohmann, Delius, Hollard et Friesel, 1988) et de la forme (Blough, 1985) sont traitées et utilisées par les pigeons. De plus, il a été démontré que les pigeons sont des organismes flexibles et que les indices visuels utilisés diffèrent selon la nature de la tâche (Young, Peissig, Wasserman et Biederman, 2001).

Finalement, nous nous sommes attardés aux dimensions spatiales des composantes et non du stimulus entier comme la plupart des études traitant de ces dimensions. La question de la reconnaissance des dimensions locales par rapport aux dimensions globales et l'influence de l'une sur l'autre est une autre piste permettant de mieux cerner l'influence de ces deux dimensions.

En somme, l'extraction et l'utilisation de la position de façon très constante durant les trois expériences suggèrent une rétention de cette dimension sous une forme quelconque en mémoire et une utilisation de cette dimension telle qu'elle a été démontrée par le choix de nouveaux stimuli par les pigeons.

Rilling, LaClaire et Warner (1993) ont tenté de rassembler différentes études (principalement chez les pigeons) dans le but de définir une succession hiérarchique de processus cognitifs menant à la reconnaissance visuelle. On y retrouve le rôle des dimensions spatiales à

deux étapes distinctes : 1) l'encodage de l'orientation des caractéristiques en mémoire qui se produit très tôt dans la hiérarchie et 2) la représentation structurelle des géons formant l'objet en trois dimensions, proposée par la théorie de reconnaissance par les composantes de Biederman (1987). Nos résultats cadrent mal avec l'une et l'autre de ces explications : premièrement, les pigeons n'ont pas utilisé l'orientation dans la tâche qu'ils devaient accomplir. Comme nous l'avons souligné, il est possible qu'il y ait eu encodage de cette dimension mais rien ne démontre qu'elle se serait produite plus tôt que la position. Deuxièmement, nos stimuli ne sont pas des images en trois dimensions; il est donc impossible d'extraire les formes volumétriques proposées par Marr (1982) et subséquemment par Biederman. De plus, ce dernier propose que, dans la progression des étapes de la reconnaissance, le traitement des relations spatiales survient après la détection des formes individuelles. Dans ce cas, ce ne serait pas une stratégie optimale de reconnaissance que de préférer la position aux formes géométriques dans un choix binaire; or, les pigeons de l'expérience 2 ont préféré la position des composantes à la forme géométrique de ces mêmes composantes.

Une dernière proposition explicative de nos résultats concerne un effet simple de prépondérance présent dans le système visuel des pigeons et qui serait analogue aux principes de la Gestalt chez les humains. Chez ces derniers, certaines dispositions spatiales sont préférées à d'autres. Cette préférence est attribuable à leur organisation symétrique (loi de pragnanz), à la proximité des composantes, à leur similarité, à l'unité de leur continuation et à la complétion d'une forme inachevée. Chez les pigeons, certains de ces principes ont été démontrés. Par exemple, Cook (1993) a démontré un effet de regroupement (« grouping ») qui implique les principes de

similarité et de proximité. De plus, l'effet du contexte, c'est-à-dire l'effet de supériorité du patron ou de l'objet (une composante simple est mieux discriminée quand elle se retrouve dans un contexte de forme que lorsqu'elle est seule), a été démontré chez le pigeon (Blough, 1984). Toutefois, certains autres principes n'ont pu être démontrés : Fujita (2001), Sekuler, Lee et Shettleworth (1996), Ushitani, Fujita et Yamanaka (2001) ont démontré l'incapacité des pigeons à compléter une forme inachevée. Il est concevable alors que le système visuel aviaire possède des particularités encore inexplorées et que la dimension de la position soit plus saillante que celle de l'orientation pour le pigeon.

Comme la problématique des caractéristiques visuelles spatiales s'inscrit principalement dans une perspective de traitement ascendant (« bottom-up »), c'est-à-dire que l'organisme extrait les caractéristiques de l'image pour la comparer avec une représentation en mémoire, l'assertion Gestalt relance la discussion quant à l'effet des processus descendants chez les animaux qui est encore très peu sondé. Blough et Blough (1997) sont parmi les seuls chercheurs à inférer des processus descendants chez les pigeons. Dans une de leurs expériences, les pigeons ont appris des relations prédictives entre les stimuli; ces relations possèdent de l'information pertinente pour attirer l'attention sur des cibles probables. La présente étude n'avait pas comme objectif d'examiner la question des influences de la voie descendante (« top-down »), mais ces influences auraient avantage à être approfondies dans des recherches futures puisque, par comparaison, la voie ascendante a une influence considérable dans la reconnaissance humaine. Par exemple, une lettre présentée à l'intérieur d'un mot est plus susceptible d'être reconnue que si elle est présentée seule (Reicher, 1969).

Comparaison avec les théories de reconnaissance

La présente étude n'a pas été conçue pour faire la distinction entre les théories de reconnaissance et leur interprétation sur la nature de la représentation en mémoire — comme nous l'avons souligné dans l'introduction, ces théories ne donnent pas des prédictions mutuellement exclusives — il est néanmoins intéressant de faire le parallèle entre nos résultats et chacune de ces théories.

Parallèle avec la théorie de l'appariement à un gabarit.

Tout d'abord, la théorie de l'appariement à un gabarit propose une représentation globale de la forme et une correspondance entre cette représentation et la nouvelle image présentée. Dans cette optique, une représentation aurait pu se créer suite aux présentations répétées des paires de stimuli originaux présentés au début de chaque expérience. Dans l'expérience 1, cette hypothèse est partiellement fondée puisque les stimuli nouveaux associés avec le S1 présentent un chevauchement très grand avec le S1. De plus, les stimuli nouveaux les plus fortement associés avec S2 ont également un chevauchement très grand avec S2. Cependant, plusieurs autres stimuli nouveaux fortement associés avec S2 présentent très peu de chevauchement avec S2. Il est possible que les pigeons aient utilisé des prototypes ou des gabarits plus flexibles que des gabarits simples, ce qui expliquerait mieux les résultats de l'expérience 1. Pour l'expérience 2, la conception que le pigeon se soit formé une image mentale globale et qu'il ait comparé ce gabarit avec les nouvelles présentations est plus plausible. En effet, les stimuli choisis affichant la même position forment une image globale qui correspond bien à l'image globale du S1 et du S2 respectivement. Cette explication s'applique également pour l'expérience 3 dans laquelle les

stimuli préférés parmi les nouveaux sont ceux qui ont des symboles aux mêmes positions que les stimuli initiaux. Il n'est donc pas possible d'éliminer complètement cette théorie comme explication des résultats. Ce constat reflète le problème théorique de la définition du gabarit qui, au cours des années, a passé de rigide à flexible, cette flexibilité n'étant d'ailleurs pas bien circonscrite. Cependant, la précision à laquelle les dimensions sont discriminées, malgré un contexte spatial complexe (plusieurs dimensions spatiales), suppose un traitement des dimensions au-delà de ce que la théorie des gabarits originale, incluant les prototypes, suggère.

Parallèle avec la théorie des caractéristiques.

La théorie des caractéristiques propose que les éléments qui constituent l'image sont individuellement encodés en mémoire et que la collection de ses éléments est comparée à la nouvelle image présentée. L'obstacle majeur à la comparaison de cette théorie à nos résultats est la prémisse d'invariance ou la non-importance des dimensions spatiales prônée par cette conceptualisation de la représentation. L'assertion que suffisamment d'éléments sont présents pour qu'il y ait reconnaissance n'est pas suffisante pour expliquer nos résultats puisque dans les expériences 1 et 3 les composantes étaient identiques dans la discrimination initiale. Les pigeons ont réussi à faire une discrimination sur une base uniquement spatiale. De plus, chacune des trois expériences a démontré clairement l'utilisation de dimensions spatiales par le pigeon. Conséquemment, cette conception basée uniquement sur les caractéristiques de la représentation mentale ne peut être entièrement retenue même si les caractéristiques de l'image sont encodés par le pigeon comme cela a été démontré l'expérience 3.

Parallèle avec la théorie structurelle.

Finalement, la théorie structurelle semble correspondre le mieux à nos résultats : non seulement elle tient compte des éléments constituant la forme mais l'organisation spatiale de ces éléments est prépondérante dans la représentation mentale. En effet, nos résultats principaux démontrent que les composantes et leurs dimensions spatiales de position et d'orientation ont été encodées et utilisées. L'organisation spatiale interne, lorsque circonscrite dans une image en 2D incluant des formes simples reliées entre elles par des liens de positions et d'orientation, est analysée. Le jugement de similarité d'images opposant ces dimensions reflète alors la dimension préminente, soit celle de la position. Cependant, la théorie structurelle a été conçue dans l'optique d'images en 3D et les unités de bases volumétriques sont prépondérantes à l'utilisation de cette théorie. Même si quelques chercheurs (Warner et Rilling, 1996) ont démontré que, dans certaines conditions, les pigeons se représentent les dessins en 2D comme des objets en trois dimensions, d'autres études sont nécessaires pour déterminer l'équivalence entre les processus utilisés pour des objets tridimensionnels et les images en deux dimensions.

En définitive, le recoupement des explications théoriques sur la nature des représentations mentales sous-tend une faiblesse théorique dans le domaine de la cognition humaine mais surtout animale. En fait, il serait faux de prétendre que l'apport de cette étude peut appuyer l'une ou l'autre de ces théories, notre étude offre plutôt une démonstration des capacités et des choix d'une espèce particulière dans une situation visuelle précise. Elle possède de plus une capacité heuristique d'inférence concernant le système cognitif de reconnaissance de formes chez le pigeon.

Remarques méthodologiques

Les résultats des trois expériences suggèrent fortement un traitement préférentiel de la position des composantes à l'intérieur d'une image chez le pigeon. Cette position, quoique maintenue constante dans les diverses conditions, demeure relative par rapport à un cadre donné. Les composantes cibles sont positionnées soit par rapport à des droites verticales ou à des droites horizontales présentes dans les expériences 1 et 3, soit par rapport au cadre circulaire qui enveloppe les stimuli des trois expériences, ou encore par rapport aux éléments de la cage opérante se trouvant dans le champ visuel du pigeon. Il est possible que les indices de relativité aient été très prononcés dans la construction des divers stimuli apportant ainsi une attention marquée à la position relative. Pour bien cerner le rôle de la position, il serait avantageux, dans les recherches futures, de minimiser les indices de position relative afin de cerner la robustesse du phénomène. Par exemple, l'utilisation de grands écrans servant de clefs opérantes permettrait de diminuer les indices de positions se situant à proximité du stimulus. L'effet de contexte dans la reconnaissance de patrons a été aussi démontré. Par exemple, Donis, Heinemann et Chase (1994) ont démontré que la distance des formes (formes additionnelles n'ayant aucune valeur d'information) avec l'objet cible a un effet sur l'efficacité de la reconnaissance.

De même, une mesure plus précise du temps de réaction permettrait une analyse plus approfondie de la dimension utilisée par l'oiseau. Le temps de réaction est une mesure souvent utilisée dans l'évaluation de la similarité, comme l'évaluation de la similarité entre les lettres de l'alphabet (Blough, 1991). De plus, Blough et Blough (1990) proposent que le temps de réaction est aussi utilisé pour découvrir les processus de base comme la longueur des ondes visuelles, la luminescence et la vision des formes. Selon eux, le temps de réaction donnerait une

approximation de la similarité des formes et permettrait de caractériser certains attributs des formes relativement à leur similarité et aux modes de traitement perceptif. De plus, comme les études avec les humains utilisent les temps de réaction, l'utilisation de cette mesure faciliterait les comparaisons interspèces. Une trop grande variabilité dans les résultats de l'analyse des temps de réaction pour les trois expériences de cette étude n'a pas permis de ressortir des éléments clairs. Cette variabilité est due en partie à la difficulté de la tâche pour les pigeons, à la variabilité intersujets et au manque de précision des clefs opérantes utilisées.

Toutefois, les méthodologies telles qu'elles ont été utilisées dans les expériences 1 et 2 (appariement symbolique) et dans l'expérience 3 (discrimination binaire avec conditions expérimentales) comportent l'avantage de proposer aux sujets l'utilisation de l'une ou l'autre des dimensions pour résoudre la tâche, comparativement à d'autres méthodologies (dont l'appariement simple) où le pigeon est contraint à répondre à certaines dimensions et à ne pas répondre à certaines autres. De plus, la variable dépendante utilisée, soit le jugement de similarité entre des stimuli originaux et des stimuli nouveaux, permet d'évaluer la valeur relative des dimensions entre elles.

Conclusion

Dans une perspective éthologique, l'orientation et la forme semblent avoir moins d'impact sur les comportements des oiseaux que la position. Par exemple, Hollard et Delius (1982) ont proposé que, étant donné la prédominance de l'utilisation de l'angle visuel horizontal d'approche durant le vol (comparativement aux humains qui utilisent l'angle vertical), la notion d'orientation serait arbitraire selon le point de vue du pigeon et donc, moins importante que d'autres

dimensions. Il a été observé par ailleurs que des oiseaux migrateurs comme les colibris reviennent chaque année à l'endroit exact où leur nid était situé l'année précédente, et ce, peu importe si le nid a été modifié ou a été changé de position. L'apport heuristique provenant des comportements naturels des animaux est souvent passé outre dans la planification d'expérience tentant de comprendre leur système cognitif.

Dans le cadre de cette étude, nous avons opté pour une approche méthodologique qui tente de concilier l'observation comportementale en laboratoire en nous permettant de contrôler les stimuli, le type de tâches et la perspective naturelle en laissant au pigeon le choix de certaines dimensions spatiales pour résoudre ces tâches. En tout dernier lieu, la conciliation de l'information provenant de différentes disciplines telles la psychologie cognitive, l'éthologie et maintenant la modélisation informatique est d'autant plus importante dans la compréhension d'un thème global comme celui de la reconnaissance visuelle.

Références (Introduction et Discussion générale)

- Biederman, I. (1987). Recognition-by-components: A theory of human image understanding. *Psychological Review*, 94(2), p. 115-147.
- Biederman, I., & Gerhardstein, P. C. (1993). Recognizing depth-rotated objects: Evidence and conditions for 3D viewpoint invariance. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 19, 1162-1182.
- Blough, D. S. (1984). Form recognition in pigeons. In H. L. Roitblat, T. G. Bever, & H. S. Terrace (Eds.), *Animal Cognition*. (pp. 277-289). Hillsdale: Lawrence Erlbaum Associates.
- Blough, D. S. (1985). Discrimination of letters and random dot patterns by pigeons and humans. *Journal of Experimental Psychology: Animal Behavior Processes*, 11(2), 261-280.
- Blough, D. S., & Blough, P. M. (1997). Form perception and attention in pigeons. *Animal Learning and Behavior*, 25(1), 1-20.
- Blough, D. S., & Blough, P. M. (1990). Reaction time assessments on visual perception in pigeons. In W. C. Stebbins & M. A. Berkley (Eds.), *Comparative Perception: Complex Signals*. (pp. 245-276). New-York: John Wiley & Sons.
- Blough, D. S. (1991). Perceptual analysis in pigeon visual search. In G. R. Lockhead & J. R. Pomerantz (Eds.), *The perception of structure*. (pp. 213-225). Washington DC: APA.
- Blough, D. S. (1992). Features of forms in pigeons perception. In W. K. Honig & J. G. Fetterman (Eds.), *Cognitive aspects of stimulus control*. (pp. 263-277). Hillsdale: Lawrence Erlbaum Associates.
- Cerella, J. (1977). Absence of perspective processing in the pigeon. *Pattern recognition*, 9, 65-68.

- Cerella, J. (1979). Visual classes and natural categories in the pigeon. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 5(1), 68-77.
- Cerella, J. (1980). The Pigeon's analysis of pictures. *Pattern recognition*, 12, 1-6.
- Cerella, J. (1982). Mechanisms of concept formation in the pigeon. In J. D. Ingle, A. M. Goodde, & W. R. Mansfield (Eds.), *Analysis of visual behavior*. (pp. 241-260). Cambridge: The MIT Press.
- Cerella, J. (1986). Pigeons and perceptrons. *Pattern Recognition*, 19(6), 431-438.
- Cerella, J. (1990a). Pigeon pattern perception, limits on perspective invariance. *Perception*, 19, 141-159.
- Cerella, J. (1990b). Shape Constancy in the Pigeon: The Perspective Transformations Decomposed. In M. L. Commons, R. J. Herrnstein, S. M. Kosslyn, & D. B. Mumford (Eds.), *Quantitative Analysis of Behavior: Behavioral approaches to pattern recognition and concept formation*. (pp. 145-163). Hillsdale, New Jersey: Lawrence Erlbaum Associates.
- Cook, B. R. (1993). Gestalt Contributions to visual texture Discriminations by pigeons. In T. R. Zentall (Ed.), *Animal Cognition: A tribute to Donald A. Riley*. (pp. 251-269). Hillsdale: Lawrence Erlbaum Associates.
- Cooper, L. A., & Shepard, R. N. (1973). Chronometric studies of the rotation of mental images. In W. G. Chase (Ed.), *Visual information processing*. (pp. 75-176). New-Jersey: Academic Press.
- Corballis, M. C., & Beale, I. L. (1976). M. C. Corballis & I. L. Beale (Eds.), *The psychology of left and right*. Hillsdale: Lawrence Erlbaum associates.

Delius, J.D. & Hollard, V.D. (1995). Orientation invariant pattern recognition by pigeons (*Columba livia*) and humans (*Homo sapiens*). *Journal of Comparative Psychology*, 109 (3), 278-290.

Donis, F. J., Heinemann, E. G., & Chase, S. (1994). Context effects in visual pattern recognition by pigeons. *Perception and Psychophysics*, 55(6), 676-688.

Donis, F. J. (1999). The oblique effect in pigeons (*Columba livia*). *Journal of Comparative Psychology*, 113(2), 107-115.

Donovan, W. J. (1978). Structure and function of the pigeon visual system. *Physiological Psychology*, 6(4), 403-437.

Edelman, S., & Bühlhoff, H. H. (1992). Orientation dependence in the recognition of familiar and novel views of three-dimensional objects. *Vision Research*, 32(12), 2385-2400.

Fujita, K. (2001). Perceptual completion in rhesus monkeys (*macaca mulatta*) and pigeons (*columba livia*). *Perception & Psychophysics*, 63(1), 115-125.

Gould, J. L. (1988). A mirror-image "ambiguity" in honey bee pattern matching. *Animal Behaviour*, 36, 487-492.

Güntürkün, O., Kesch, S., & Delius, J. D. (1988). Absence of footedness in Domestic Pigeons. *Animal Behaviour*, 36, 602-604.

Hamm, J., Matheson, W. R., & Honig, W. K. (1997). Mental Rotation in Pigeons (*Columba livia*). *Journal of Comparative Psychology*, 111(1), 76-81.

Hollard, V. D., & Delius, J. D. (1982). Rotational Invariances in Visual Pattern Recognition by Pigeons and Humans. *Science*, 218, 804-806.

Hummel, J. E., & Biederman, I. (1992). Dynamic binding in a neural network for shape recognition. *Psychological Review*, 3, 480-517.

Imbert, M., & de Schonen, S. (1994). Vision. In M. Richelle, J. Requin, & M. Robert (Eds.), *Traité de Psychologie Expérimentale*. (pp. 345-432). Paris: Presses Universitaires.

Kirkpatrick, K. (2001). Object recognition. In R.G. Cook (Ed), *Avian visual cognition* [On line]. Available: www.pigeon.psy.tufts.edu/avc/kirkpatrick.

Kirkpatrick-Steger, K., & Wasserman, E. A. (1996). The what and where of the pigeon's processing of complex visual stimuli. *Journal of Experimental Psychology: Animal Behavior Processes*, 22(1), 60-67.

Kirkpatrick-Steger, Wasserman, E. A., & Biederman, I. (1996). Effect of spatial rearrangement of object components on picture recognition in pigeons. *Journal of Experimental Analysis of Behavior*, 65, 465-475.

Kirkpatrick-Steger, K., Wasserman, A. E., & Biederman, I. (1998). Effect of geon deletion, scrambling, and movement on picture recognition in pigeons. *Journal of Experimental Psychology: Animal Behavior and Processes*, 24(1), 34-46.

Kirkpatrick-Steger, K., Wasserman, E. A., & Biederman, I. (2000). The pigeon's discrimination of shape and location information. *Visual Cognition*, 7(4), 417-436.

Kraemer, P.J.; Masmarian, D.S.; & Roberts, W.A. (1987). Simultaneous processing of visual and spatial stimuli in pigeons. *Animal Learning and Behavior*, 15(4), 417-422.

Le Ny, J-F., (1994). Les représentations mentales. In M. Richelle, J. Requin, & M. Robert (Eds.), *Traité de Psychologie Expérimentale*. (pp. 345-432). Paris: Presses Universitaires.

Lionello-DeNolf, K. M., & Urcuioli, P. J. (2000). Transfer of Pigeons' matching to sample to novel sample locations. *Journal of the Experimental Analysis of Behavior*, 73(2), 141-161.

Lohmann, A., Delius, J. D., Hollard, V. D., & Friesel, M. F. (1988). Discrimination of Shape Reflections and Shape Orientations by *Columba livia*. *Journal of Comparative Psychology*, 102, 3-13.

Lombardi, C. M., & Delius, J. D. (1988). Pattern recognition invariance in pigeons (*Columba livia*): outline, color and contrast. *International Journal of Comparative Psychology*, 2(2), 83-102.

Lombardi, C. M., & Delius, J. D. (1990). Size Invariance in Visual Pattern Recognition by Pigeons. In M. L. Commons, R. J. Herrnstein, S. M. Kosslyn, & D. B. Mumford (Eds.), *Quantitative Analysis of Behaviour: Behavioral approaches to aptern recognition and concept formation*. (pp. 41-65). Hillsdale, New Jersey: Lawrence Erlbaum Associates.

Maki, R.H.; Grandy, C.A. & Hauge, G. (1979). Why is telling right from left more difficult than telling above from below? *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 5, 52-67.

Marr, D. (1982). *Vision: A computational investigation into the human representation and processing of visual information*, San Francisco, W. H. Freeman & Co.

Neiwirth, J. J., & Rilling, M. E. (1987). A method for studying Imagery in Animals. *Journal of Experimental Psychology: Animal Behavior Processes*, 13(3), 203-214.

Pearce, J. M. (1997). Discrimination learning. In J. M. Pearce (Ed.), *Animal learning and cognition: An introduction*. (pp. 107-136). Hove: Psychology Press.

- Pinker, S. (1984). Visual cognition: An introduction. *Cognition*, 18 1-63.
- Plowright, C. M. S. (1997). Function and mechanism of mirror-image ambiguity in bumblebees. *Animal Behaviour*, 53, 1295-1303.
- Poggio, T., & Edelman, S. (1990). A network that learns to recognize three-dimensional objects. *Nature*, 343 (January 18), 263-266.
- Reicher, G.M. (1969). Perceptual recognition as a function of meaningfulness of stimulus material. *Journal of Experimental Psychology*, 81, 274-280.
- Rilling, M., LaClaire, L., & Warner, M. (1993). A comparative, Hierarchical theory for Object Recognition and Action. In T. R. Zentall (Ed.), *Animal Cognition: A tribute to Donald A. Riley*. (pp. 313-333). Hillsdale: Lawrence Erlbaum Associates.
- Sekuler, A. B., Lee, J. A. J., & Shettleworth, S. J. (1996). Pigeons do not complete partly occluded figures. *Perception*, 25, 1109-1120.
- Shepard, R. N., & Metzler, J. (1971). Mental rotation of three-dimensional objects. *Science*, 171, 701-703.
- Shepard, R. N. (1980). Multidimensional Scaling, Tree-Fitting, and Clustering. *Science*, 210(24), 390-398.
- Spetch, M. L., Friedman, A., & Reid, S. L. (2001). The effect of distinctive parts on recognition of depth-rotated objects by pigeons (*Columba livia*) and humans. *Journal of Experimental Psychology: General*, 130(2), 238-255.
- Spetch, M. L.; Mondloch, Michael V. (1993) Control of pigeons' spatial search by graphic landmarks in a touch-screen task. *Journal of Experimental Psychology: Animal Behavior Processes* 19(4), 353-372.

Standing, L., Conezio, J., & Haber, R. N. (1970). Perception and memory for pictures: single-trial learning of 2500 visual stimuli. *Psychonomic Science*, 19(2), 73-74.

Steele, K. M. (1990). Configural Processes in Pigeon Perception. In M. L. Commons, S. M. Kosslyn, D. B. Mumford, & R. J. Herrnstein (Eds.), *Quantitative Analysis of Behavior: Behavioral approaches to pattern recognition and concept formation*. (pp. 111-125). Hillsdale, New Jersey: Lawrence Erlbaum Associates.

Takano, Y. (1998). Why does a mirror image look left-right reversed? A hypothesis of multiple processes. *Psychonomic Bulletin & Review*, 5(1), 37-55.

Tarr, M. J., & Bülthoff, H. H. (1995). Is Human Object Recognition Better Described by Geon Structural Descriptions or by Multiple Views? Comment on Biederman and Gerhardstein (1993). *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 21(6), 1494-1505.

Tee, K.S. & Riesen, A.H. (1974). Visual right-left confusions in animal and man. In G. Newton & A. H. Riesen (Eds.) *Advances in psychobiology*. Vol 2 New York: John Wiley & Sons, Inc.

Todrin, D. C., & Blough, S. D. (1983). The discrimination of mirror-image forms by pigeons. *Perception & Psychophysics*, 34(4), 397-402.

Tversky, A. (1977). Features of similarity. *Psychological Review*, 84(4), 327-352.

Ushitani, T., Fujita, K., & Yamanaka, R. (2001). Do pigeons (*Columba livia*) perceive object unity? *Animal cognition*, 4(3-4), 153-161.

Vauclair, J. (1994). Les représentations chez l'animal. In M. Richelle, J. Requin, & M. Robert (Eds.), *Traité de Psychologie Expérimentale*. (pp. 225-270). Paris: Presses Universitaires.

Vaughan, W., & Greene, S. L. (1983). Acquisition of absolute discriminations in Pigeons. In M. L. Commons, R. J. Herrnstein, & A. R. Wagner (Eds.), *Quantitative analyses of behavior*. (pp. 231-238). Cambridge: Ballinger Publishing Company.

von Fersen, L., Emmerton J., & Delius, D. J. (1992). Unexpected discrimination strategy used by pigeons. *Behavioural Processes*, 27(2), 139-150.

Warner, M. D., & Rilling, M. E. (1996). Pigeons extract redundant, multiple features and attend to multiple contours when recognizing line drawings. *The Psychological Record*, 46, 123-144.

Wasserman, E. A., Kirkpatrick-Steger, K., Van Hamme, L. J., & Biederman, I. (1993). Pigeons are sensitive to the spatial organization of complex visual stimuli. *Psychological Science*, 4(5), 336-341.

Wasserman, E. A., Gagliardi, J. L., Cook, B. R., Kirkpatrick-Steger, K., Astley, S. L., & Biederman, I. (1996). The pigeon's recognition of drawings of depth-rotated stimuli. *Journal of Experimental Psychology: Animal Behavior Processes*, 22(2), 205-221.

Watanabe, S. (1997). An instance of viewpoint consistency in pigeon object recognition. *Behavioural Processes*, 39, 257-261.

Watanabe, S. (1999). Enhancement of viewpoint invariance by experience in pigeons. *Cahiers de Psychologie Cognitive/Current Psychology of Cognition*, 18(3), 321-335.

Young, M. E., Peissig, J. J., Wasserman, E. A., & Biederman, I. (2001). Discrimination of geons by pigeons: The effects of variations in surface depiction. *Animal Learning and Behavior*, 29(2), 97-106.