Mémoire de stage de recherche
Vision et Audition

Etude des processus cognitifs de reconnaissance et de différenciation dans les domaines visuel et sonore

Nicolas Esposito
nik@niksnews.com
www.niksnews.com

Université de Technologie de Compiègne — Printemps 1998

≪ Parce que chacune des douze notes a une position, un titre, une fonction propre, l'œuvre que nous entendons est plus qu'une simple masse sonore : elle développe devant nous une action. ≫ (Milan Kundera, [13], p. 272)

Ce mémoire a été réalisé à l'UTC[1] *dans le cadre du mineur PHITECO*[2]
pour l'obtention de l'unité de valeur SC02[3] *suite au séminaire JIOSC 97*[4].

Il est aussi disponible en version électronique à l'adresse suivante :
www.niksnews.com/sc02/

Je tiens à remercier cordialement Bruno BACHIMONT, Charles LENAY,
François SEBBAH et Véronique HAVELANGE pour leurs précieux enseignements.
Je remercie également Renaud SIRDEY, André GOASDOUÉ et Nicolas SALZMANN
pour l'aide qu'ils m'ont apportée, et toutes les personnes qui ont eu la
gentillesse de répondre à mon enquête.

[1]Université de Technologique de Compiègne
[2]PHIlosophie, TEchnologie, COgnition
[3]Stage de recherche
[4]Journées Interdisciplinaires d'Orsay sur les Sciences Cognitives

Résumé

Le monde visuel et le monde sonore peuvent chacun être étudiés en tant que signal avec les mêmes outils mathématiques[5] (séries de Fourier par exemple). Il est donc intéressant de se demander si les processus cognitifs alors mis en jeu chez l'homme sont eux aussi comparables. Nous allons aborder ce sujet en traitant de la reconnaissance et de la différenciation dans chacun des deux mondes, puis nous chercherons comment ces processus peuvent être comparés.

Mots-clés

Perception, vision, audition, reconnaissance, différenciation, formes, couleurs, musique, sons, illusions graphiques, daltonisme, cécité

Avant-propos

Ce mémoire s'adresse à toutes les personnes intéressées par la perception et son étude en tant qu'acte cognitif. On y traitera de ses différents aspects dans les domaines visuel et sonore (reconnaissance de formes, vision des couleurs, justesse de la musique, etc.). Il sera aussi intéressant d'évoquer des troubles de la vision tels que le daltonisme ou la cécité, toujours dans le but d'enrichir notre perspective de la perception.

Notons aussi que ce mémoire n'a pas une problématique unique (qui pourrait être celle de la troisième partie : *Parallèle entre les mondes visuel et sonore*), mais il dégage plutôt une volonté de dresser un panorama de la vision et de l'audition au travers des processus de reconnaissance et de différenciation.

[5]Pour cela, on généralise les outils mathématique des signaux à une dimension (le son) aux signaux à deux dimensions (l'image).

Table des matières

Table des figures

Introduction

JIOSC 97

Les Journées Interdisciplinaires d'Orsay sur les Sciences Cognitives proposaient en 1997 le sujet suivant : *La perception, du naturel à l'artificiel* [34]. Ce sujet a été traité les 1er et 2 décembre suivant trois principaux modes de fonctionnement : les conférences plénières, les ateliers et les posters.

C'est de ces interventions qu'a été dégagé le sujet de ce mémoire : *VISION et AUDITION - Étude des processus cognitifs de reconnaissance et de différenciation dans les domaines visuel et sonore.*

Objet de l'étude

Parmi les cinq sens intervenant dans la perception humaine, la vue est sans aucun doute le plus étudié. On ne compte plus les ouvrages traitant de la vision, et la vue semble être à la fois le sens le plus facile a étudier (troubles clairement reconnaissables, caractère très objectif) et celui qui permet le mieux de percevoir le monde.

De même, l'ouïe possède une grande importance dans la perception du monde, prenons simplement comme exemples les rôles primordiaux que ce sens a dans la communication et l'art. Effectivement, il peut paraître moins *évident* et plus difficile à étudier que la vue, mais ces deux sens sont finalement comparables. Ce ne sont pas des sens de *proximité*[6], ils sont tous les deux largement véhiculés par les médias et ils sont complémentaires dans bien des situations. La vue peut par exemple compléter l'ouïe dans un environnement bruyant où on est amené à lire sur les lèvres pour mieux comprendre

[6] Il n'y a pas de contact physique entre ce que nous voyons ou entendons et nos yeux ou nos oreilles.

le message que l'on nous communique.

Il convient donc de les étudier en parallèle, en se concentrant sur les processus de reconnaissance et de différenciation, et en mesurant ce qu'il peut y avoir de comparable dans les deux mondes.

Les dimensions de la perception

Nous étudierons donc la reconnaissance et la différenciation dans les domaines visuel et sonore. Nous le ferons selon deux méthodes : tout d'abord ponctuellement, avec par exemple la reconnaissance d'une image ou d'un son, puis dans le temps, avec par exemple la reconnaissance d'un mouvement ou d'un morceau de musique.

Dans le domaine visuel, nous différencierons aussi deux niveaux : les images en deux dimensions (sans perspective, vues de face) et les images en trois dimensions (perçues en relief ou deux dimensions sur un plan incliné). Ainsi, il sera par exemple intéressant d'étudier la reconnaissance des formes à deux dimensions dans un environnement en trois dimensions ou des illusions suggérant trois dimensions dans un environnement en deux dimensions.

A propos de la culture et des enfants

Nous allons voir que la culture joue un rôle essentiel dans la perception. Mais pour reconnaître et différencier, il faut posséder des modèles et être capable de manipuler des concepts. C'est pour cette raison que nous ne traiterons pas des enfants ici, ces derniers étant en cours de développement.

Comme le montrent les travaux de Piaget et d'Inhelder [18], les activités perceptives se développent progressivement avec l'âge. La perception est un cas particulier des activités sensori-motrices et l'enfant acquiert son *intelligence sensori-motrice* par la succession de différents stades, des réflexes jusqu'à la compréhension *soudaine*. Ainsi, l'enfant ne peut être pris en compte dans notre étude. Par contre, nous pourrons nous intéresser à différentes cultures présentes dans le monde des adultes afin de mettre en lumière leur incidence.

Première partie

Le domaine visuel

Chapitre 1

La reconnaissance dans le domaine visuel

1.1 Reconnaissance de formes

1.1.1 Reconnaissance des formes chez l'homme

La reconnaissance des formes implique le fait que ces formes doivent être contenues dans un monde que l'homme peut percevoir. Ainsi accessibles, elles peuvent être traitées par le cerveau, comparées à des formes connues et finalement identifiées.

Une scène visuelle peut être décomposée en trois parties distinctes : les contours, les couleurs et les mouvements. La structuration des formes [3] nécessite donc le traitement de ces composantes pour obtenir respectivement les formes, les surfaces et les déplacements. La reconnaissance des formes s'obtient par le traitement des contours. En effet, les couleurs ne sont pas nécessaires, une vision en nuances de gris (par exemple) permet toujours la reconnaissance des formes.

Comme le montre l'illusion de la figure 1.1, ce sont les contours qui donnent la forme, et pas forcément les couleurs. Grâce à notre capacité à fermer les contours, on voit un carré alors qu'il n'est pas représenté explicitement. Ici, la fermeture du carré se fait par *coopération* des contours des trois quarts de cercle et le traitement des contours est facilité par le fait que l'écart entre les deux couleurs (le noir et le blanc) est maximal.

La perception visuelle est donc un traitement actif de l'information qui fait appel aux capacités de construction de notre cerveau. L'information vi-

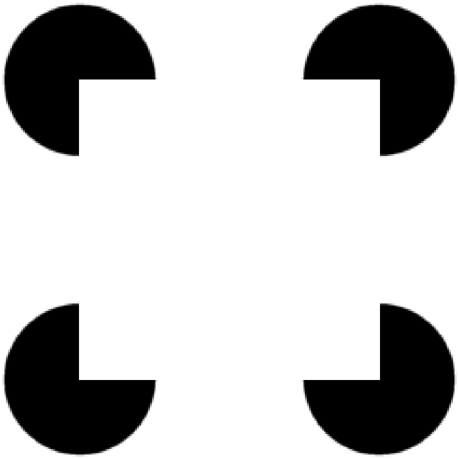

FIG. 1.1: Exemple suggérant un carré

suelle est tout d'abord traitée de façon sensorielle, l'œil transmet les stimuli au cerveau via le nerf optique. Ensuite de façon perceptive, c'est à ce stade qu'on perçoit les formes, les couleurs et les mouvements. Et enfin de façon cognitive, on identifie alors les objets en faisant intervenir nos représentations et nos connaissances. Ce sont précisément ces deux derniers stades que l'on essaie de reproduire sur des machines afin de concevoir une vision artificielle.

1.1.2 Reconnaissance artificielle des formes

Il existe de nombreuses méthodes qui visent à reproduire la vision humaine. Mais à l'heure actuelle, aucun système n'est en mesure de remplacer les niveaux perceptifs et cognitifs (voir section précédente) dans leur totalité. On ne peut en effet concevoir de vision artificielle globale sans intelligence artificielle de très haute qualité[1]. Il est par contre possible d'obtenir une intelligence efficace pour des domaines bien ciblés (environnement et connaissances limitées). C'est le principe des systèmes experts et cela permet la réalisation de visions artificielles très spécialisées qui sont efficaces. On pourra par exemple citer les systèmes de reconnaissance d'empreintes digitales ou ceux qui peuvent garder votre voiture à bonne distance de celles qui la précèdent.

Une méthode courante de vision artificielle consiste en une succession de traitements : on commence par des traitements numériques sur l'image et l'on

[1]Malgré les espérances passées de certains chercheurs, on est aujoud'hui encore bien loin de ce type d'intelligence.

en extrait finalement une information sémantique. Mais des recherches considèrent plutôt la vision comme comme un système complexe [26] où toutes les étapes seraient plus ou moins liées. Chaque traitement serait alors exécuté en fonction du précédent et le résultat serait alors plus efficace.

On comprend dans cette méthode que la vision artificielle se doit d'être active (tout comme la vision humaine[2]) et c'est ainsi qu'apparaissent des techniques de prédiction et vérification [27]. La stratégie de perception est alors d'explorer la scène puis de traiter les objets séparément de manière adéquate (tout comme l'homme le fait[3]).

On voit bien que l'élaboration de système de vision artificielle nous amène directement vers la psychologie de la vision humaine. Et c'est donc tout naturellement que des recherches se sont tournées vers ce qu'on appelle l'attention visuelle [29]. On procède là à une analyse sérielle de zones restreintes de l'image. Le système localise ainsi plus rapidement les informations pertinentes.

Loin d'atteindre des résultats satisfaisants dans un environnement quelconque, ces techniques sont efficaces dans des domaines tels que la robotique et elles montrent bien que les recherches sont à mener autant (si ce n'est plus) en psychologie de la vision qu'en algorithmique. Plus le modèle de perception sera proche de l'homme, plus les résultats devraient être encourageants.

Une des voies prometteuses est celle de la vision stéréoscopique qui permet de reconstruire une scène en trois dimensions. On peut alors détacher les objets les uns des autres beaucoup plus efficacement. Mais le problème majeur réside dans la reproduction du processus cérébral qui nous permet d'obtenir une image en relief à partir de deux images en deux dimensions.

1.1.3 Vision d'objets en 2D dans un environnement 3D

Il est parfois nécessaire de présenter un symbole en deux dimensions dans un environnement en trois dimensions. On plaque alors le plus souvent le symbole sur une surface plane. Cela ne pose pas de problème visuel lorsque la surface fait face à l'observateur comme c'est le cas des affichages publicitaires sur les murs. Mais il est des situations où la surface ne peut faire face à l'observateur, c'est le cas par exemple du dessin d'un panneau de circulation

[2] On ne mettra pas en jeu les mêmes processus cognitifs selon la scène observée.
[3] On ne regarde pas deux objets simultanément.

sur la chaussée. Le dessin est alors volontairement allongé pour que les automobilistes le reconnaissent de loin. Cette technique simple est suffisante pour reconnaître le panneau, mais elle ne restitue pas sa géométrie exacte (voir figure 1.2). Sur la figure 1.3, les lignes horizontales nous montrent bien que le bas du point exclamation est plus large que le haut. Il faut donc appliquer au symbole une autre transformation pour en rétablir une vision correcte. Ainsi, le point d'exclamation du panneau sera aussi large en haut qu'en bas. On pourra calculer l'amplitude de cette transformation en fonction de l'angle de vue des observateurs potentiels[4].

FIG. 1.2: Point d'exclamation vu de face

1.1.4 Les illusions graphiques

Les illusion ***classiques***

Il existe de nombreux types d'illusions graphiques [36] :

- les illusions artistiques jouent sur les différentes représentations que l'on peut avoir d'une œuvre, comme par exemple le dessin de M.C. Escher

[4]On peut noter que des publicitaires utilisent cette technique pour faire apparaître des logos sur des terrains tels que des pistes de Formule 1 où les spectateurs et les caméras de télévision n'ont qu'un seul point de vue.

FIG. 1.3: Point d'exclamation vu sur une surface inclinée

où l'on peut voir de l'eau couler soit vers le haut, soit vers le bas (voir figure 1.5) ;

– les illusions optico-géométriques provoquent des erreurs d'estimation, comme par exemple l'illusion de Müller-Lyer (voir figure 1.4) ;
– des illusions qui présentent des contours subjectifs (voir figure 1.1, page 13).

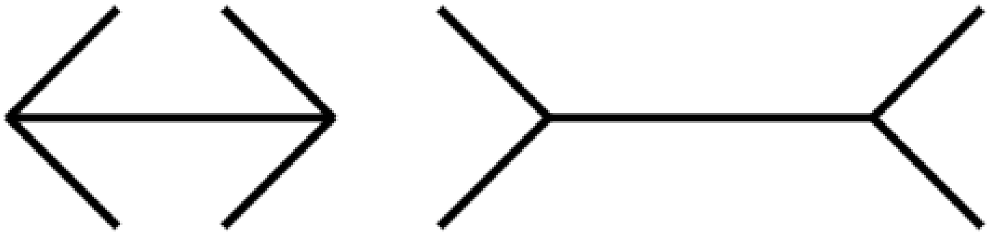

FIG. 1.4: Illusion de Müller-Lyer

Les illusions graphiques sont particulièrement intéressantes car elles nous renseignent sur la façon que l'on a de regarder une scène. Mais on peut se demander si un système de vision artificielle devrait lui aussi percevoir ces illusions comme nous le faisons. La réponse est probablement oui puisqu'il est maintenant courant d'entendre que l'intelligence artificielle sera une réalité le jour où les machines feront les mêmes erreurs que les humains. Les illu-

FIG. 1.5: *Cascade* de M.C. Escher (1961)

sions graphiques pourraient donc se relever être un bon test pour la vision artificielle.

Les *illusions des prix*

Il existe des personnes dont le métier reconnu est l'illusionnisme. Mais d'autres pratiquent cet art dans d'autres circonstances que des salles de spectacle, notamment pour la vente. Les commerçants créent ce que l'on pourrait appeler des *illusions des prix*, dans le but de nous faire acheter leur produits. Une première technique consiste à placer le prix tout juste sous celui que l'on pourrait obtenir par arrondi, on aura par exemple 9 900 F à la place de 10 000 F. Il y a dans cet exemple deux effets *illusionnistes* : le premier chiffre – un 9 – fait immédiatement penser à 9 000 F et les deux 0 finaux font disparaître le second 9 grâce leur supériorité numérique. Une seconde technique a pour effet de donner l'impression d'un prix peu élevé en utilisant uniquement des chiffres de faible hauteur, par exemple : 11111 F, volontairement regroupé pour masquer le nombre de chiffres. Elle suggère un produit *accessible*. On est donc face à une situation où l'illusion (une certaine perception que l'on a de la réalité) modifie délibérément l'action (le fait d'acheter ou de ne pas acheter).

Les stéréogrammes

Couché le papier, un stéréogramme se présente le plus souvent comme une texture se répétant à l'infini [33]. C'est en accommodant sa vision derrière le plan du stéréogramme que le relief apparaît (comme par exemple sur la figure 1.6). Ainsi, chaque œil perçoit les informations stéréoscopiques qui lui sont destinées et qui sont contenues dans les légères perturbations de la texture du stéréogramme. On est ici confronté à une déformation volontaire de la réalité, l'observateur se fait illusionniste à son tour et à sa propre intention.

Fig. 1.6: Le stéréogramme ≪ `JIOSC` ≫

1.2 Reconnaissance des couleurs

La perception colorée [2] est conditionnée par les longueurs d'ondes que réfléchissent les objets, ce qui implique le fonctionnement du système photopique (système de vision du jour qui dépend des cônes, à opposer au système scopique qui convient à un faible éclairage et qui dépend des bâtonnets[5]. Les trois types de cônes fournissent les composantes primaires (rouge, vert et bleu) et la couleur est obtenue par synthèse additive (les luminances

[5]Les cônes et les bâtonnets sont les photorécepteurs de l'œil. Se reporter à la référence précédente ([2]) pour plus de précisions sur le système visuel de l'homme.

s'ajoutent).

Si nos cônes manquent ou sont endommagés, on peut être victime de troubles de la perception des couleurs (voir section 5.1, page 25). Et puisque certaines tribus affricaines n'auraient que très peu de noms pour distinguer les couleurs, on peut se demander si leur système visuel est indentique ou si il s'agit simplement d'un aspect culturel. La classification des couleurs nous apparaît donc comme un problème très complexe.

Nous avons vu que les contours nous permettent de reconnaître les formes (voir section 1.1.1, page 12). Mais comment ces contours sont-ils construits ? Et bien justement par différence de couleur (à la lumière ou d'intensité lumineuse dans l'obscurité). C'est la frontière entre deux couleurs qui indique la présence d'un contour (niveau perceptif). De plus, certains contours sont mis en évidence par notre vision stéréoscopique (niveau cognitif).

1.3 Reconnaissance des mouvements

Le mouvement nait de la cohérence des positions successives d'un objet [9]. Si un objet apparaît à des emplacements aléatoires dans l'espace, l'observateur ne pourra pas identifier un mouvement précis. Reconnaître un mouvement, c'est en fait reconnaître une forme dans le temps, on parle alors de trajectoire. Cela implique la mémorisation des emplacements précédents et la reconnaissance de l'objet à chaque position.

Lorsqu'on dit qu'un objet tourne en rond, on a reconnu que sa trajectoire formait un cercle. Il convient alors de se demander si on reconnaît une trajectoire comme on reconnaît une forme dans une scène. Dans ce dernier cas on identifie des contours physiques, mais dans le temps on identifie une forme abstraite par représentations mentales successives. Les représentations finales (cercle ou carré par exemple) peuvent être semblables mais la perception ne se situe pas au même niveau : on perçoit une forme au niveau perceptif mais la perception d'une trajectoire nécessite le passage au niveau cognitif.

Chapitre 2

La différenciation de formes dans le domaine visuel

Différencier, c'est déjà reconnaître au moins deux formes. Ces formes peuvent être présentes simultanément, mais on peut aussi en mémoriser une ou même les deux. Une fois ces formes reconnues, on dispose des éléments nécéssaires et on peut identifier les différences qu'il y a entre les deux formes, on les aura ainsi différenciées.

Chapitre 3

La question de la spatialisation

Percevoir le monde permet de se situer par rapport à son environnement. La vision stéréoscopique nous permet par exemple de savoir où sont placés les objets[1]. C'est ce qu'on appelle la spatialisation. Mais privé de la vue, un individu peut-il développer de nouvelles modalités perceptives qui permettent tout de même une constitution de la spatialisation ?

C'est ce que montre le travail de Charle LENAY [14]. En équipant des aveugles de dispositifs de couplage sensori-moteurs de type cellule photoélectrique connectée à un stimulateur tactile sur un doigt, on observe à l'issue d'une certaine période d'adaptation la naissance d'une nouvelle modalité sensorielle qui permet de ressentir la présence ou non d'objets. La spatialisation naît alors de l'action : l'aveugle éloigne le doigt de son corps afin d'obtenir plusieurs points de vue (une stéréo-perception est donc possible par le biais d'un processus cognitif). Il peut aussi explorer l'environnement par rotation ou par translation, et comme on reconnaît une trajectoire dans un mouvement, l'aveugle peut, par mémorisation des états successifs, reconnaître des formes ou des objets. En restant passif, un individu équipé de ce système serait incapable de percevoir son environnement. C'est bien l'action qui lui permet d'utiliser un dispoditif technique simple pour se forger un nouvel espace perceptif, l'action est donc constitutive de la perception.

[1]La profondeur de champ de la vision permet aussi d'évaluer des différences de distance entre les objets mais elle n'interviendrait qu'à une hauteur de 10 la spatialisation.

Chapitre 4

De la reconnaissance à la représentation

4.1 La représentation

> ≪ Une théorie du sens et de la signification est possible dès lors que le sens est distingué de la représentation mentale, dès lors que le problème du sens possède une autonomie théorique vis-à-vis de la psychologie. ≫ (Bruno Bachimont, [1], p. 249)

En effet, identifier et reconnaître ne sont pas des synonymes dans le domaine de la perception [30]. Reconnaître implique que l'on ait déjà connaissance de l'objet, on *connaît à nouveau* l'objet. C'est une reconnaissance analytique. Identifier implique que l'on ait déjà une catégorisation conceptuelle, on reconnaît un type d'objet. C'est une reconnaissance synthétique.

La représentation est au cœur de la théorie de la connaissance pour légitimer la possibilité qu'a le sujet d'accéder au monde. L'objet n'est alors rien sans le sujet et la vérité est atteinte quand il y a adéquation entre la représentation et le monde extérieur.

On peut considérer que l'émergence de la représentation s'est basée sur les mots ≪ information ≫ et ≪ voir ≫ de la conception prémoderne [19]. C'est avec Aristote que la notion de ≪ forme d'une chose ≫ a pris son sens. Et pour Saint Thomas d'Aquin, ≪ voir ≫ signifiait justement ≪ saisir la forme d'une chose ≫.

Selon Descartes [5], la représentation d'une chose extérieure est un enseignement de la nature (le contenu d'une pensée ou idée) et selon Heiddeger, c'est faire venir devant soi, stabiliser. Pour Kant [12], une représentation n'est pas une image de chose. Le trajet de la déduction transcendantale commence par l'expérience sensible et on obtient un point de vue sur un ou des concepts. En effet, pour Kant les concepts précèdent l'expérience, ils la rendent possible, il sont une condition a priori de l'expérience.

4.2 L'approche phénoménologique

L'approche phénoménologique pourrait être définie comme le fait de considérer les choses comme elles se donnent. Elle s'intéresse donc aux phénomènes. La phénoménologie propose une interprétation de la connaissance privée de représentation, c'est l'intentionnalité qui est ici le concept central. C'est l'homme qui éclaire le monde et qui lui permet de présenter devant lui. La perception est alors un processus fondamental, il permet notamment de comprendre l'imagination ou la connaissance conceptuelle.

Il est reconnu que la phénoménologie est née dans la *Phénoménologie de l'esprit* de Hegel [16], mais les premières thèses essentielles ont été exposées dans les *Recherches logiques* d'Husserl [11]. La phénoménologie de Merleau-Ponty [17] a pour tâche de mettre à nu le ≪ monde de la vie ≫ d'Husserl. Pour cela, il reconstruit les catégories d'Husserl en privilégiant le sensible avant tout.

La phénoménologie consiste donc en un retour aux choses mêmes. Dans le sens *husserlien*, c'est la capacité qu'a la conscience de pouvoir se saisir elle-même et de pouvoir saisir ses objets [6].

4.3 Trois hypothèses des sciences cognitives

4.3.1 Thèse représentationnaliste

La thèse représentationnaliste naturalise les représentations. Elle intègre aussi une thèse formaliste (à opposer à syntaxique).

4.3.2 Paradigme computo-représentationnaliste

Le paradigme computo-représentationnaliste considère les processus cognitifs comme assimilables à des calculs. On aurait alors un cycle de ce type : sensation, perceptions, concepts et actions ; dans une logique de traitement séquentiel de l'information.

L'apparition de l'ordinateur a conforté l'idée d'un monde où tout serait calculable [15]. On traduit les raisonnements mathématiques en algorithmes et on va parfois jusqu'à considérer l'homme comme un simple système de traitement de l'information.
Fodor divise même l'esprit en dispositifs très spécialisés [8]. Ces modules traiteraient l'information du monde réel de façon automatique et c'est ainsi que les représentations nous viendraient.

4.3.3 Projet constructiviste

Le projet constructiviste est basé sur la boucle sensori-motrice. Il est entre autre représenté par Merleau-Ponty, Piaget et Varela. Ce dernier propose une alternative au concept de représentation : l'*enaction* [21]. Cette approche peut s'expliquer par notre sens commun et notre capacité à sans cesse *faire émerger* des questions pertinentes. Elle tend vers une vision neurologique de l'esprit.

Chapitre 5

Troubles de la perception visuelle

Nos références culturelles font en sorte que chacun perçoive[1] le monde différemment. Mais certains individus souffrent de pathologies qui bouleversent leurs perceptions visuelles et qui de ce fait, leur imposent un monde d'autant plus différent. Il existe un grand nombre de troubles de la perception visuelle [32] (myopie, presbytie, etc.), mais nous allons focaliser notre attention sur deux troubles particulièrement intéressants : le daltonisme et la cécité. Comment se déroulent alors les processus de reconnaissance et de différenciation ? Nous allons voir que l'incidence des pathologies qui touchent la vision et qui conditionnent donc les perceptions conduit le plus souvent à un comportement particulier et des repères socio-culturels différents.

5.1 Le daltonisme

Cette section sur le daltonisme est principalement basée sur une enquête qui a été menée à l'occasion de ce mémoire (voir Annexe A, page 46). Les résultats portent sur une population très limitée et leur utilisation se fera en employant le mode conditionnel s'ils n'ont pas été vérifié dans d'autres travaux.

5.1.1 Définition

La daltonisme est un trouble de la perception des couleurs (une *dyschromatopsie* ou anomalie de la vision colorée) qui fut étudié pour la première fois par le physicien et chimiste anglais John DALTON en 1794. Les daltoniens,

[1]On entend ici percevoir au sens large, perception et représentation.

qui sont aussi appelés *dichromates*, ne peuvent généralement percevoir correctement que deux couleurs parmi les trois primaires, le rouge, le vert et le bleu. Ceci est dû à une déficience des pigments des cônes (voir section 1.2, page 18) récepteurs de la couleur verte ou de la couleur rouge (les daltoniens au bleu sont extrêmement rares). Cette déficience est héréditaire, elle est due a un gène récessif situé sur le chromosome X. Pour qu'une femme soit daltonienne, il faut par conséquent que ses deux chromosomes X portent le gène. Ceci explique le faible taux de daltonisme chez les femmes : 0,4 % contre 8 % chez les hommes.

Le niveau de daltonisme varie considérablement selon les individus, à tel point qu'une majorité de la population atteinte par cette pathologie n'en serait pas consciente. La déficience peut en effet être plus ou moins importante et il semblerait que les pigments des cônes récepteurs des autres couleurs compensent dans une certaine mesure l'insuffisance.

5.1.2 Reconnaissance et différenciation des couleurs

Comme nous venons de le voir, un daltonien au vert aura des difficultés plus ou moins importantes à voir la couleur verte. Ansi, il pourra juger de même couleur un vert et un gris. Même si le vert fait partie de sa culture (on lui aura appris à l'école que l'herbe et les feuilles sont vertes), il ne pourra pas faire la différence entre des couleurs vertes et d'autres couleurs. Il n'a donc pas les capacités physiques lui permettant de distinguer certaines couleurs.

De même, le daltonien au vert pourra ne pas reconnaître une couleur verte comme étant verte. Si le vert n'est pas mélangé avec d'autres couleurs, il aura de grandes difficultés à lui donner un nom et il le qualifiera le plus souvent de gris. Si le vert est mélangé avec une autre couleur, il donnera dans la majorité des cas le nom de l'autre couleur. Il n'a donc pas les capacités physiques lui permettant de reconnaître certaines couleurs.

5.1.3 Les troubles occasionnés par le daltonisme

Tout d'abord, un daltonien peut être plus facilement sujet à des illusions visuelles au niveau des couleurs. En effet, conscient de son handicap, un daltonien fait appel à sa culture pour identifier des couleurs. Cela peut parfois l'amener à *imaginer* un rouge sur une image en noir et blanc. Dans ce cas, le daltonien est victime de sa culture. Aussi, comme il ne verra pas la même beauté d'un paysage, un daltonien ne verra pas l'art de la même façon. Il ne pourra pas comprendre les jeux de couleur d'un tableau puisqu'il ne voit pas les mêmes couleurs que le peintre. Ceci est particulièrement handicapant pour des tableaux construits principalement sur des jeux de couleur comme c'est le cas dans le style impressionniste. Enfin, il semblerait que les daltoniens n'aient pas une mémoire des couleurs aussi performante que les non-daltoniens.

Comme pour certaines personnes aveugles, il arrive que des daltoniens développent une hyper sensibilité auditive (si, bien sûr, leur audition est correcte). L'univers sonore est alors un domaine où le daltonien peut tout percevoir (contrairement à l'univers visuel), il se trouve dans le même *repère* que le reste du monde. On assiste d'ailleurs dans, certains cas, à une certaine *préférence* pour le monde sonore et il est fréquent de voir des musiciens parmi les daltoniens. Mais cette hyper sensibilité auditive peut aussi provoquer certains troubles. Comme un homme ébloui en sortant d'une caverne dans laquelle il serait resté suffisamment longtemps pour que ses yeux s'adaptent à l'obscurité, un daltonien peut ressentir en permanence un *éblouïssement sonore*. Cela se caractérise tout d'abord par une sensibilité particulière de l'oreille aux volumes sonores élevés. Ensuite, il est possible que le daltonien perçoive son environnement sonore avec une extrême précision. Comme un musicien qui entend distinctement tous les instruments d'un orchestre, le daltonien peut dans certains cas percevoir chacun des bruits qui l'environnent. Un bruit *agaçant*[2], même lointain et à faible volume, peut avoir des effets directs sur le comportement du daltonien. Le daltonisme est un handicap mineur, mais son incidence sur la perception peut déterminer certains comportements chez les personnes qui en souffrent.

5.1.4 Le daltonisme comme différence *utile*

Les daltoniens sont amenés à faire des différenciations de couleur que des personnes ne souffrant pas de cette pathologie ne pourraient pas faire. Lors de tests qui consistent à reconnaître des formes, lettres ou chiffres dans des mosaïques de points multi-colores (voir figure 5.1), un daltonien échouera sur les cartes qu'un autre sujet reconnaîtra. Mais il verra des formes sur des cartes où la plupart des sujets ne reconnaît pas de forme. En fait, ces cartes sont spécialement dessinées pour détecter le daltonisme. Les personnes qui en souffrent sont donc capables de différencier des groupes de couleurs que d'autres ne pourraient pas différencier.

Cette différence de vision des couleurs est parfois utilisée comme avantage.

[2]Par exemple le bruit d'un ventilateur possérieux ou le bruit d'une mouche.

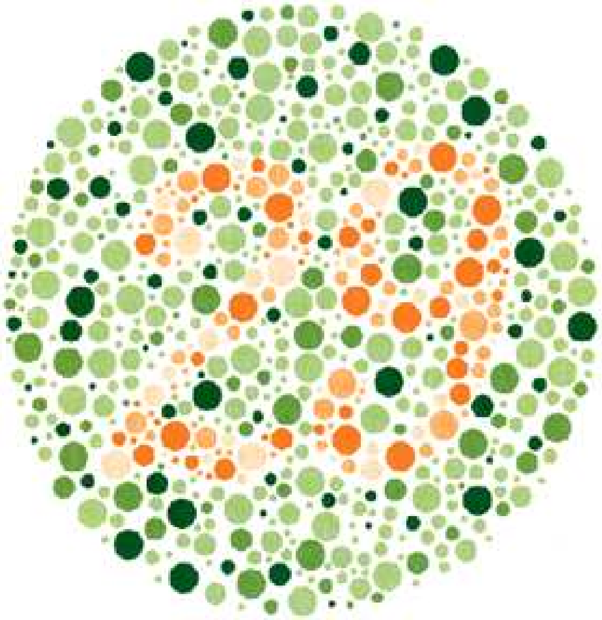

FIG. 5.1: Mosaïques de points multi-colores

On peut noter que des militaires ont employé des daltoniens pour repérer des unités camoufflées. Il y a aussi des dessinateurs qui surprennent et séduisent par leurs couleurs inhabituelles. Mais ces cas sont des exceptions et le daltonisme reste dans la plupart des cas un handicap. Le photographe André A. DERIAZ (né en 1948) a d'ailleurs été refusé au concours d'entrée de l'Ecole de Photographie de Vevey du simple fait de son daltonisme. C'est ainsi que certaines professions sont presque inaccessibles à cette partie de la population. C'est par exemple le cas des métiers de l'électronique où il faut reconnaître les résistances par leurs couleurs.

5.2 La cécité

Les aveugles (sujets n'ayant aucune perception visuelle) et les malvoyants (dont l'acuité visuelle est inférieure à 1/20 ou dont le champ visuel est inférieur à 10° pour chaque œil) sont considérés comme atteints de cécité [35]. Pour simplifier le discours, nous parlerons simplement des aveugles.

En opposition au daltonisme, la cécité est un handicap fort. Il laisse 70 % des personnes qui en sont touchées au chômage. Mais privé de sa vue, l'aveugle développe-t-il plus ses autres sens comme on pourrait aisément l'imaginer ? Il s'avère effectivement que certains aveugles ont un goût particulièrement raffiné ou une ouïe excellente, mais la plus remarquable des différences par rapport aux personnes ne souffrant pas de cécité est le plus souvent une grande capacité de mémorisation et de concentration. Ne pouvant voir l'environnement qui l'entoure, l'aveugle est contraint de s'en faire une représentation mentale la plus précise possible. Ainsi, à l'aide de ses quatre autres sens, il se forge une vision intérieure du monde. Des aveugles affirment même voir *à leur façon*. On pourrait s'avancer à dire qu'un aveugle *voit* comme un voyant dans un rêve, par le biais d'une représentation mentale[3]. Un voyant peut se repérer en temps réel dans son environnement, il en a une vision immédiate. Or, un aveugle ne peut percevoir que ce qu'il a à sa proximité. C'est dans ce cas qu'il est nécessaire de mémoriser chaque lieu, chaque trajet ou chaque environnement sonsore. Ainsi, dans des situations où la vision est inutile[4], les aveugles s'avèrent le plus souvent très performants.

Dans la représentation mentale du monde qu'a l'aveugle, les processus cognitifs comme la reconnaissance de formes ne se font donc pas au même niveau. Il faudra, tout comme pour reconnaître une trajectoire, mémoriser des sensations tactiles successives pour pouvoir percevoir une forme. Il en est de même pour la spatialisation, il faudra prendre de nombreux repères successifs pour arriver à une représentation spatiale de son environnement.

Lorsque les autres sens viennent compenser une vision nulle ou presque, il ne s'agit pas d'une compensation de la nature [22]. La suppléance des sens n'intervient nullement au niveau physique, mais psychologique [5]. Ce phénomène naît de la volonté des non voyants de continuer à mener une vie aussi complète que possible.

[3]Certains aveugles racontent même être parfois voyants dans leurs rêves.

[4]Travail par téléphone par exemple

[5]l'oreille d'un musicien peut paraître plus sensible, mais c'est en fait le fruit d'une culture, d'une éducation et/ou d'un travail particulier. Il ne devrait pas y avoir de différence *matérielle* entre son oreille et celle d'un non musicien.

Deuxième partie

Le domaine sonore

Chapitre 6

La reconnaissance dans le domaine sonore

6.1 Reconnaissance de sons

Un son est une sensation due à une vibration [10]. On peut caractériser un son par sa hauteur (grave, aigu), son amplitude (fort, faible) et son timbre (pour les voix et les instruments)[1]. Il existe de nombreux types de sons, en voici quelques uns. En dessous de 20 Hertz il s'agit d'infra-sons et au dessus de 20 MHz il s'agit d'ultra-sons, ce sont dans les deux cas des vibrations inaudibles. On peut définir comme bruit un son gênant. Cette définition est vaste et il existe aussi de nombreux types de bruits (bruit blanc, bruit rose, etc.). Les sons au volume élevé peuvent être particulièrement gênants et même provoquer des dommages auditifs irréversibles [20].

Devant ces différents types de sons, on peut se demander si on ne pourrait pas les traduire en terme de formes. En effet, il n'est pas rare qu'un musicien sculpte un son ou une mélodie afin de lui donner la forme la plus proche possible de ce qu'il veut exprimer [24].

6.2 Reconnaissance d'une note de musique

La notion d'*oreille intérieure* désigne un contrôle volontaire des représentations auditives chez les musiciens [7]. L'oreille intérieure s'exerce et se développe notamment dans les cours de solfège. Ainsi, pour reconnaître une

[1]On pourrait par exemple comparer ces éléments à la forme, la taille et la couleur d'un objet.

note de musique, on y fait appel (donc à une certaine forme de culture musicale).

Alors que l'oreille intérieure permet dans la majeure partie des cas de reconnaître des intervalles, certaines personnes possèdent l'*oreille absolue*. Elle leur permet de donner un nom à une note sans qu'aucun repère ne soit nécessaire [23]. Ce phénomène semble encore assez mal expliqué.

6.3 Reconnaissance d'une mélodie

Reconnaître une mélodie, c'est mémoriser des intervalles successifs et reconnaître le *mouvement* ainsi créé. L'utilisation du mot *mouvement* n'est pas innocente, puisque nous pourrons comparer la reconnaissance d'une mélodie à celle d'un mouvement d'objet dans le monde visuel.

Il est aussi intéressant de noter que des interprétations différentes d'une mélodie nous amènent toujours à la reconnaître et que la plupart des interprètes tendent vers les mêmes variations temporelles qui seraient dues à des contraintes fonctionnelles du système auditif [31].

Chapitre 7

La différenciation dans le domaine sonore

7.1 Différenciation de mélodie

Différencier deux mélodies implique tout d'abord leur reconnaissance et leur mémorisation. Il faudra ensuite identifier les différences. Celles-ci peuvent être de nombreux types, notamment au niveau des notes, du rythme, de la tonalité.

Tous les individus ne sont pas égaux devant cette tâche, les musiciens seront évidemment plus à même de cerner ces différences. Ils pourront par exemple, s'ils sont batteurs, discriminer les irrégularités de rythme beaucoup plus facilement [28]. La culture des musiciens leur apporte aussi un système d'attentes harmonique qui leur permettra de déceler les dissonances mélodiques assez aisément [25].

Troisième partie

Parallèle entre les mondes visuel et sonore

Chapitre 8

Approche naïve

Comme nous l'évoquions en introduction, la vue et l'ouïe sont souvent complémentaires. Accorder une couleur ou une forme à un son n'est pas rare. Examinons un simple exemple pour mettre cela en évidence.

La figure 8.1 présente deux formes que l'on a choisi de nommer Malouma et Takété. Sans connaître au préalable l'association entre les formes et leur nom, vous n'aurez aucun mal à reconnaître Malouma ou Takété. Expliquer cette capacité que nous avons avec des mots n'est pas aisé. On pourrait par exemple dire que Malouma évoque quelque chose de fluide et que Takété évoque plutôt quelque chose de contrarié.

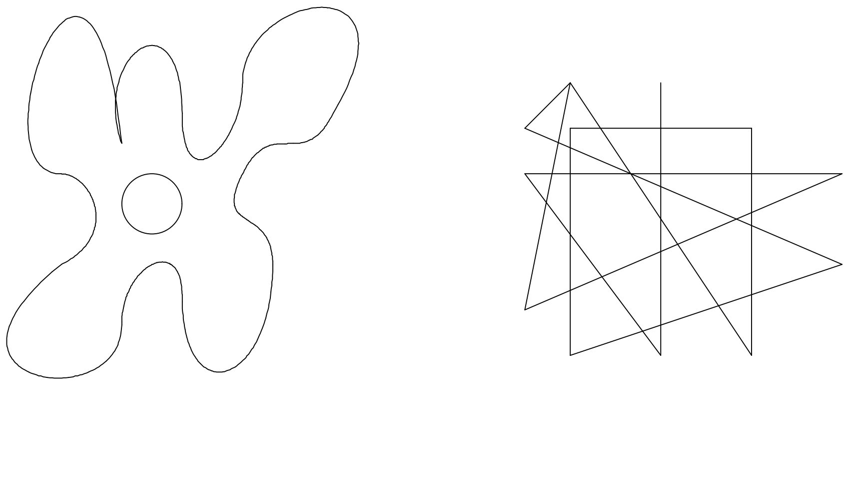

FIG. 8.1: Malouma et Takété

Chapitre 9

Approche artistique

Le simple fait que nous écrivions la musique suffit, comme nous l'avons fait dans l'exemple précédent, à mettre en évidence un nouveau parallèle entre les mondes visuel et sonore. Les figures 9.1 et 9.2 sont les notations respectives d'une mélodie et d'un accord, elles *codent* donc de la musique. Néanmoins, on ne peut s'empêcher d'y voir des formes ; par exemple, la ligne reliant les noires de la mélodie.

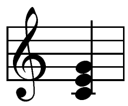

Fig. 9.1: Accord

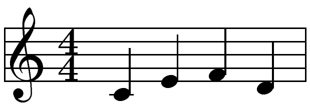

Fig. 9.2: Mélodie

Depuis longtemps les artistes jouent sur ce genre de parallèle [4], il n'est pas rare de voir des peintres inspirés par de la musique ou des musiciens inspirés par de la peinture. C'est ainsi que des partitions sont transformées en tableaux, que des sculptures suggèrent des sons (par exemple en incorporant un instrument de musique) ou même en produisent. Comme si les artistes cherchaient à toucher en nous ce qui est commun aux sens et qui procurerait donc d'autant plus de réactions.

Chapitre 10

Les processus cognitifs et leurs niveaux

10.1 A propos de la reconnaissance

La question principale est de se demander si on reconnaît une forme comme on pourrait reconnaître un son. Etant conscient que les mécanismes perceptifs sont totalement différents, on peut se demander si on est en droit de comparer les processus cognitifs *post perception* alors mis en jeu. Sont-il comparables ? Et si oui, en quoi ?

10.1.1 Proposition de deux premiers niveaux

Les mécanismes perceptifs ne sont effectivement pas les mêmes, mais les processus cognitifs peuvent être comparés dans bien des situations. Par exemple, on peut comparer la reconnaissance d'une forme à la reconnaissance d'un son. Dans les deux cas, le processus cognitif en jeu opère sur une perception *instannée* et il se charge de faire le rapprochement entre cette perception et une représentation déjà connue (pléonasme ?). Il s'agit là d'un premier niveau.

On peut en effet dégager un deuxième niveau dans lequel les processus cognitifs opèrent non pas sur une perception instannée, mais sur une représentation mentale forgée par mémorisation d'états successifs. Dans ce cas, on pourrait par exemple comparer la reconnaissance d'une trajectoire à celle d'une mélodie. Le présent processus de reconnaissance peut être comparé au précedent, mais il ne se situe pas au même niveau. Il est précédé d'un processus de reconstruction mentale par mémorisation.

10.1.2 A propos de la stéréo-perception

En stéréo-vision, notre perception visuelle est *instannée* (les deux images nous parviennent simultanément). Par contre, un non voyant devra toucher successivement différents objets de son environnement pour s'en faire une représentation mentale. Même si les sens mis en jeu sont différents, on se rend compte que les processus cognitifs qui suivent sont comparables. Il y a reconstruction d'une scène dans l'espace dans les deux situations, elle ne se fait simplement pas au même niveau. Dans le premier cas, elle devrait intervenir juste après la perception. Dans le second cas, elle devrait intervenir après un processus de reconstruction mentale par mémorisation qui serait comparable à celui qui est évoqué dans la section précédente.

10.2 A propos de la différenciation

La définition de la différenciation dans les deux mondes pourrait être identique : c'est identifier des différences. Mais il s'agit là d'un processus de niveau supérieur au processus précédemment évoqué puisqu'il intervient obligatoirement à l'issue d'une phase de reconnaissance d'au moins deux entités (forme, accord, etc.). Et puisque la reconnaissance peut avoir lieu au premier ou au deuxième niveau, la différenciation se fera au deuxième ou au troisième niveau.

Conclusion

Des types et des niveaux

Dans cette vision *particulière* de la perception humaine, et dans le cadre de la reconnaissance et de la différenciation[1], nous avons vu qu'il pourrait y avoir trois types de processus cognitifs :

- la reconstruction mentale par mémorisation ;
- la reconnaissance de l'*entité* ;
- la différenciation.

Nous ne faisons aucune hypothèse sur une éventuelle spécialisation de ces processus (pour tendre vers la thèse de Fodor) ou sur une généralisation des processus à l'ensemble des sens, nous bâtissons simplement des types de processus sur des comparaisons dans les milieux visuel et sonore.

Ces types de processus interviendraient à trois niveaux différents :

- immédiatement après la perception ;
- après la reconstruction mentale par mémorisation ou après la reconnaissance de l'entité ;
- après la reconstruction mentale par mémorisation et après la reconnaissance de l'entité.

Les combinaisons possibles seraient celles de la figure 10.1.

Vers une perception artificielle modulaire

Actuellement les architectures des logiciels s'orientent de plus en plus vers des structures modulaires où on peut ajouter, supprimer ou échanger

[1] La spatialisation mérite quant à elle une étude plus approfondie puisqu'on pourrait être amené à considérer qu'il soit possible de se spatialiser dans un environnement sans reconnaître aucun objet.

Niveaux → ↓ *Combinaisons*	**1**	**2**	**3**
1	Reconnaissance de l'entité		
2	Reconstruction mentale par mémorisation	Reconnaissance de l'entité	
3	Reconnaissance de l'entité	Différenciation	
4	Reconstruction mentale par mémorisation	Reconnaissance de l'entité	Différenciation

Fig. 10.1: Combinaisons des différents types de processus

des composants. Un des buts de ces architectures est notamment de pouvoir réutiliser au maximum les composants logiciels (pour par exemple accélérer les phases de développement, organiser les structures complexes et/ou faciliter la maintenance). On pourrait donc imaginer des systèmes de perception artificielle basés sur ce modèle de composants. Les composants pourraient être les trois types de processus précédemment exposées, ils pourraient traiter des données en provenance du monde visuel comme du monde sonore ; et le système pourrait être, pourquoi pas, étendu aux autres sens, si leurs processus se révélaient comparables.

Bibliographie

[1] Bachimont B., *Herméneutique matérielle et artéfacture : des machines qui pensent aux machines qui donnent à penser*, Thèse de doctorat de l'Ecole polytechnique en épistémologie, 1996.

[2] Bagot J.-D., *Information, sensation et perception*, Armand Colin - Cursus, 1996.

[3] Boucart M., *La reconnaissance des objets*, PUG - La Psychologie en Plus, 1996.

[4] Bosseur J.-Y., *Le sonore et le visuel - Intersections musique/arts plastiques aujourd'hui*, Dis Voir, 1992.

[5] Descartes R., *Méditations métaphysiques*, Le Livre de Poche, 1990.

[6] Desanti J.-T., *Introduction à la phénoménologie*, Gallimard - Folio/Essais, 1994.

[7] Dumaurier E., *La perception dans le monde sonore*, EAP - Psychologie et Pédagogie de la Musique, 1990.

[8] Fodor J., *La modularité de l'esprit - Essai sur la psychologie des facultés*, Editions de Minuit - Propositions, 1986.

[9] Frances R., *La perception*, PUF, 8e éd., 1992.

[10] Gribenski A., *L'audition*, PUF, 6e éd., 1994.

[11] Husserl E., *Idées directrices pour une phénoménologies*, Gallimard - Tel, 1950.

[12] Kant, *La raison pure - Textes choisis*, PUF, 14e éd., 1995.

[13] Kundera M., *Le livre du rire et de l'oubli*, Gallimard - Folio, 1985.

[14] Lenay C., *Mouvement et Perception : médiation technique et constitution de la spatialisation*, Communication à l'école d'été de l'Association pour la Recherche Cognitive sur le mouvement (Bona 1997).

[15] Levy P., *La machine univers - Création, cognition et culture informatique*, La Découverte - Sciences et Société, 1987.

[16] Lyotard J. F., *La phénoménologie*, PUF, 12e éd., 1995.

[17] Merleau-Ponty M., *Phénoménologie de la perception*, Gallimard - Tel, 1945.

[18] Piaget J. et Inhelder B., *La psychologie de l'enfant*, PUF, 17e éd., 1996.

[19] Pratt V., *Machines à penser - Une histoire de l'intelligence artificielle*, PUF - Sciences Modernités Philosophies, 1995.

[20] Rakowska-Jaillard C., *Entendre - Vivre par l'oreille de la conception à la vieillesse*, Editions Universitaires - Encyclopédie Universitaire, 1982.

[21] Varela F., *Invitation aux sciences cognitives*, Seuil - Points Sciences, 1989.

[22] Villey P., *Le monde des aveugles - Essai de psychologie*, Librairie José Corti, 1954.

ARTICLES

[23] Chambon P., Le cerveau musicien, *Science & Vie*, n°941, février 1996.

[24] Risset J.-C., La musique et les sons ont-ils une forme ?, *La recherche*, n°305, janvier 1998.

ACTES DE JIOSC 97

[25] Bigand E., Tillmann B., Besson M., Pineau M. et Regnault P., *P*erception, modélisation et bases neurobiologiques des attentes harmoniques en musique.

[26] Blanc-Talon Jacques, *La vision artificielle : système complexe plutôt que processus ?*.

[27] Chaumette F. et Marchand E., *Vision active en robotique pour la reconnaissance et l'exploration de scènes.*

[28] Ehrlé N. et Samson S., *Discrimination de l'irrégularité :influence du tempo et de l'entraînement musical.*

[29] Gallet O., P. Gaussier, Quoy M., et Cocquerez J.-P., *Un modèle de l'attention visuelle pour faciliter l'analyse d'images.*

[30] Gonzalez J., *Identifier n'est pas reconnaître.*

[31] Penel A. et Drake C., *Temporal variations recorded during musical performance.*

SITES WEB

[32] Bio-Presse - Journal de biologie, *www.mlink.net/˜biopresse/*

[33] [Eye Exercises, Vision Therapy, Visual Training, Eye Training, Visual Perception, 3-D Visual Training], *www.vision3d.com*

[34] Journées Internationales d'Orsay sur les Sciences Cognitives des JIOSC 97, *www.limsi.fr/WkG/JIOSC97/*

[35] La rééducation des déficients visuels, *www.cyber-espace.com/pierreg/*

[36] Les illusions d'optique, *www.loginnovation.com/rogerg/illusion/*

Annexes

Annexe A

Enquête sur le daltonisme

Etant personnellement daltonien et devant le peu de littérature sur cette pathologie, j'ai voulu confronter mes impressions avec une population la plus large possible. J'ai pu, grâce à Internet, contacter dix daltoniens par le biais d'un questionnaire (voir figures A.1 et A.2) et chacun m'a répondu avec beaucoup de précision. De manière à comparer les résultats avec ceux de personnes ne souffrant pas de daltonisme, j'ai envoyé un second questionnaire[1] (voir figure A.3) à vingt autres personnes.

Les résultats de cette enquête ne peuvent donc pas être considérés comme réellement utilisables, mais ils fournissent déjà de bonnes indications qui pourront servir de point de départ à des travaux beaucoup plus poussés.

[1]Ce second questionnaire ne contient donc pas de question en rapport avec le daltonisme.

Questionnaire destiné aux
personnes daltoniennes

Nicolas Esposito

Vous pouvez répondre en un seul mot à chaque question ou bien vous expliquer davantage. Toute remarque supplémentaire sera la bienvenue.

---

1. A quelle couleur êtes-vous daltonien ? ______
2. Quel est votre niveau de daltonisme (faible/moyen/élevé) ? ______
3. Le daltonisme a-t-il une incidence importante :
   – sur votre vie sociale ? ______
   – sur votre vie culturelle ? ______
   – sur votre vie professionelle ? ______
4. Avez-vous du mal a :
   – donner un nom à certaines couleurs ? ______
   – faire la distinction entre certaines couleurs ? ______
5. Vous servez-vous de vos références culturelles pour identifier certaines couleurs ? ______
6. Imaginez-vous parfois des couleurs là où il n'y a que du gris ? ______
7. Pensez-vous apprécier toute la beauté :
   – de le nature ? ______
   – de l'art ? ______
8. Etes-vous sûr de vous quand parlez :
   – du monde visuel ? ______
   – du monde sonore ? ______

1

FIG. A.1: Questionnaire destiné aux personnes daltonniennes (page 1/2)

9. Avez-vous un goût particulier pour la musique ? __________
10. Etes-vous musicien ? __________
11. Etes-vous particulièrement sensible aux volumes sonores élevés ? __________
12. Supportez-vous facilement un bruit *agaçant* ? __________
13. Que voyez-vous en premier (couleur/luminosité/forme/matière/texture) ? __________
14. Y a-t-il des situations dans lesquelles vous pouvez profiter de votre daltonisme ? __________
15. Ressentez-vous une certaine incapacité physique ? __________
16. Cet handicap est-il pour vous : faible, moyen ou fort ? __________

2

Fig. A.2: Questionnaire destiné aux personnes daltonniennes (page 2/2)

Questionnaire destiné aux
personnes non daltoniennes

Nicolas Esposito

Vous pouvez répondre en un seul mot à chaque question ou bien vous expliquer davantage. Toute remarque supplémentaire sera la bienvenue.

---

1. Avez-vous du mal a :
   - donner un nom à certaines couleurs ? ____________
   - faire la distinction entre certaines couleurs ? ____________
2. Vous servez-vous de vos références culturelles pour identifier certaines couleurs ? ____________
3. Imaginez-vous parfois des couleurs là où il n'y a que du gris ? ____________
4. Pensez-vous apprécier toute la beauté :
   - de le nature ? ____________
   - de l'art ? ____________
5. Etes-vous sûr de vous quand parlez :
   - du monde visuel ? ____________
   - du monde sonore ? ____________
6. Avez-vous un goût particulier pour la musique ? ____________
7. Etes-vous musicien ? ____________
8. Etes-vous particulièrement sensible aux volumes sonores élevés ? ____________
9. Supportez-vous facilement un bruit *agaçant* ? ____________
10. Que voyez-vous en premier (couleur/luminosité/forme/matière/texture) ? ____________

Fig. A.3: Questionnaire destiné aux personnes non daltonniennes