

sous la direction de
Zoï Kapoula, Louis-José Lestocart
et Jean-Paul Allouche

Esthétique et complexité II

Neurosciences, évolution,
épistémologie, philosophie

CNRS ÉDITIONS
15, rue Malebranche – 75005 PARIS

Sommaire

Sommaire	7
Introduction	
Zoi Kapoula, Louis-José Lestocart	11
Avant-propos	
Louis-José Lestocart	15
Esthétique des complexités et information algorithmique.	
Esthétique, cognition et calcul	
Simon Diner	17

PREMIÈRE PARTIE

Complexité, esthétique, algorithmie, cognition

Complexité, perception, cerveau quantique	
Louis-José Lestocart	45
Modèles formels <i>dans</i> et <i>pour</i> la musique pop, le jazz et la chanson : introduction et perspectives futures	
Moreno Andreatta	69
Épistémologie des multiples possibles.	
Fondements phénoménologique et quantique ; résonances avec l'esthétique du Baroque	
Jean Vion-Dury	89

DEUXIÈME PARTIE

Art, temps, évolution

Section I

Art, temps, évolution I

Louis-José Lestocart	117
----------------------------	-----

L'horloge biologique ou l'art de maîtriser le temps	
Claire Leroux, Olga Kisseleva.....	121
De l'automatisme psychique à l'évolutionnisme	
Chu-Yin Chen.....	129
La sensation fonctionnelle de l'architecture	
Christophe Guillouët	149
Section II	
Art, temps, évolution II	
Jean-Paul Allouche et Louis-José Lestocart.....	165
Les arts différent-ils des mathématiques dans leur évolution darwinienne ?	
Jean-Paul Allouche, Laurence Maillard-Teyssier.....	173
A taste for the beautiful	
Hollis Taylor.....	181
Une théorie fonctionnelle de l'art dans une perspective évolutionniste	
Jean-Luc Leroy.....	189
Création et sécrétion.	
Biologie et art	
Stéphane Dumas	211
L'évolution des espèces a façonné nos manières d'entendre	
Jean-Claude Risset.....	233
Pour une Hyperzoologie. « Un Artaxonomique »	
Louis Bec.....	245

TROISIÈME PARTIE

Philosophie et regard(s) sur le monde

Tombeau de René Thom	
Bruno Pinchard.....	265
Bref plaidoyer pour une raison morphologique	
Bruno Pinchard.....	279

Le sujet monde ? Mutation de la figuralité du monde	
Valéry Grancher.....	283
La promenade comme quête esthétique d'intelligibilité morphologique	
Catherine Szántó	291
Problèmes de l'auto-représentationalisme	
Denis Seron.....	313
Ce que la philosophie attend des neurosciences au sujet de l'esthétique	
Jacques Morizot	329

QUATRIÈME PARTIE Neurosciences

Constructions de représentations de visages par l'enfant et l'artiste	
Pierre Mounoud	349
Neurologie et créativité	
Emmanuelle Volle, Leonardo Cruz de Souza.....	379
Dyslexia and creativity	
John Stein	409
How does a visual artist create an artwork?	
Paul J. Locher	419
La profondeur picturale induit des oscillations corporelles : étude posturographique	
Zoi Kapoula, Gabi Lipede, Marie-Sarah Adenis, Thanh-Thuan Lê, Qing Yang.....	441
Vers une posturographie de l'évaluation émotionnelle des œuvres picturales	
Gabi Lipede, Chrystal Gaertner, Zoi Kapoula	463
De la neuroesthétique à la cosmoéthique. Le ciel nous est-il ouvert ?	
Jacques Arnould.....	495
Auteurs	505

Introduction

Zoï Kapoula
Louis-José Lestocart

Ce livre s'inscrit dans le programme du Groupement de Recherche « Esthétique, Art & Science » (GDR, ESARS) porté par Zoï Kapoula (directrice de recherche au CNRS) sous l'égide de l'Institut des Sciences Biologiques (section 26). La constitution de ce Groupement fait suite à un certain nombre d'actions entreprises depuis plusieurs années pour structurer la recherche en France sur ce thème d'Arts et Sciences. En 2007, un programme de recherche et d'animation proposé par Zoï Kapoula, Louis-José Lestocart et Georges Sifianos a été financé *via* un appel à idées lancé par l'Institut des Systèmes Complexes Paris-Île-de-France (ISC-PIF). Ce programme reposait sur la thématique « Esthétique, Complexité, Expérimentation, Modélisation ». L'objectif de ce groupe d'animation était d'offrir un espace de discussion et de réflexion notamment sur les rapports entre art et sciences. Destinée à tous les esprits ouverts, cette démarche d'ouverture d'essence pluridisciplinaire visait à classer les positions esthétiques contemporaines et dresser un paysage de la création artistique actuelle. L'animation a consisté en un cycle de conférences, de tables rondes et de projections. Ces séances se sont tenues à l'Institut des Systèmes Complexes (<http://iscpif.fr/ecem>). Le contenu de ces séminaires a ensuite été publié dans un ouvrage collectif aux Éditions du CNRS, collection « Alpha », sous la direction de Zoï Kapoula et Louis-José Lestocart. *Esthétique et Complexité : Création, Expérimentation et Neurosciences*, paru en juin 2011, s'articulait autour de trois grands axes : « Complexité/Intelligence dans la création », « Exemples de créations artistiques dans différentes expressions artistiques » et enfin « Expérimentation et neurosciences ». Le scientifique y trouvait des problèmes artistiques susceptibles d'être soumis à l'expérimentation, l'homme d'art, professionnel ou amateur, des éléments de réflexion pour une approche empirique. Par la suite, ce cycle de conférences s'est plus ouvert à la philosophie, aux neurosciences tout en restant fidèle à l'art contemporain.

Ce faisant, pour ancrer d'autant plus notre propos dans la thématique Arts et Sciences voulue par le GDR ESARS, il nous a paru intéressant dans *Esthétique et Complexité II : neurosciences, évolution, épistémologie*

et philosophie de mêler les points de vue, voire de se livrer à une possible confrontation entre visions opposées afin de dresser un certain état des lieux en France sur la question de l'esthétique. Car si la teneur de la pensée animant une partie du présent ouvrage demeure la Complexité avec quelques chercheurs/penseurs « experts », s'entendant à réfléchir dans ce domaine (dont ils connaissent d'ailleurs assez bien les composantes historiques), une autre partie, du reste assez importante, relève plutôt des courants plus *traditionnels* du réductionnisme. Ce qui avait été aussi le cas du premier livre, notamment dans le domaine des neurosciences, mais de façon moins tranchée. Tenants de la Complexité et tenants du réductionnisme partagent sans cesse en deux le territoire de la recherche française et il ne semble pas encore qu'une partie ou l'autre puisse l'emporter définitivement. Il n'en demeure pas moins que particulièrement dans le champ des neurosciences de nombreuses avancées ont été faites depuis les années 1980, tant aux États-Unis que dans d'autres pays, qui amèneront peut-être à reconsidérer les choses, et notamment les choses de l'esthétique, d'une autre façon.

Pour le moment, nous en resterons à une sorte d'affrontement en un axe pluridisciplinaire.

Un tel enjeu de rencontres « antagoniques » fait que ce livre comporte à la fois des textes issus du cycle de conférences du groupe « Esthétique Complexité Expérimentation & Modélisation », tenues en 2010 et 2011 au sein de l'Institut des Systèmes Complexes, ainsi que quelques autres choisis venus du Colloque « Les arts dans le cadre actuel de la théorie darwinienne de l'évolution » ayant eu lieu du 22 au 24 octobre 2009 à Aix-en-Provence et Marseille, dont la pertinence semble apporter un complément. Ce dernier apport a été rendu possible grâce au concours du mathématicien Jean-Paul Allouche, directeur de recherches au CNRS et co-éditeur de ce livre. Qu'il en soit ici remercié¹.

Parmi les textes issus du colloque d'Aix-en-Provence/Marseille ou adaptés en vue de leur publication dans ce livre, *Pour une épistémologie*

1. Une partie des textes étant dans cet ouvrage correspond de fait à des contributions du colloque « Les arts dans le cadre actuel de la théorie darwinienne de l'évolution ». Colloque dont le MIM (Laboratoire Musique et Informatique de Marseille) a été l'initiateur. Organisé par le MIM, l'IMéRA (Institut Méditerranéen de Recherches Avancées), Zinc et Alphaberville, il s'est déroulé à Marseille et à Aix-en-Provence du 22 au 24 octobre 2009 selon le programme suivant : 1) Journée IMéRA « Art, culture, théorie de l'évolution » le 22 octobre ; 2) Journée MIM « Les arts dans le cadre actuel de la théorie darwinienne de l'évolution » le 23 octobre ; 3) Débat à la Friche, « Complexité du geste artistique », le 24 octobre. Les textes ici retravaillés sont en ligne en une version antérieure :

<http://imera.fr/index.php/fr/component/resource/article/9-les-pôles/104-art-culture-theorie-de-levolution.html> et <http://www.labo-mim.org/site/index.php?dlw/5/13>.

des multiples possibles de Jean Vion-Dury trouve place dans la Première partie intitulée « Complexité, esthétique, algorithmie, cognition ». Dans la Deuxième partie « Art, temps, évolution », on compte *De l'automatisme psychique à l'évolutionnisme* de Chu-Yin Chen, *Les arts diffèrent-ils des mathématiques dans leur évolution darwinienne ?* de Jean-Paul Allouche et Laurence Maillard-Teyssier, *A taste for the beautiful* de Hollis Taylor, *Une théorie fonctionnelle de l'art dans une perspective évolutionniste* de Jean-Luc Leroy. À cela s'ajoutent *Création et sécrétion. Biologie et art* de Stéphane Dumas, *L'évolution des espèces a façonné nos manières d'entendre* de Jean-Claude Risset et *Pour une Hyperzoologie. « Un Artaxonomique »* de Louis Bec. Un texte sur la philosophie de l'art *Ce que la philosophie attend des neurosciences au sujet de l'esthétique* de Jacques Morizot s'inscrit naturellement dans la Troisième partie « Philosophie et regard(s) sur le monde ». Enfin deux textes, *Du développement de structures nouvelles à la création de portraits : comment concilier identité et expressions du visage* de Pierre Mounoud et *De la neuroesthétique à la cosmoéthique. Le ciel nous est-il ouvert ?* de Jacques Arnould se trouvent dans la quatrième et dernière partie nommée « Neurosciences ». Nous espérons que ce métissage des pensées sera à même d'apporter de nouvelles interprétations sur l'art et l'esthétique.

Constructions de représentations de visages par l'enfant et l'artiste

Pierre Mounoud¹

Alors que le modèle darwinien de la création artistique proposé par Changeux (Changeux, 1994; Changeux & Debru, 2008) fait jouer un rôle important aux processus aléatoires dans l'émergence de la nouveauté – importance que je trouve disproportionnée –, j'ai considéré intéressant de présenter une perspective piagétienne du développement centrée sur le rôle des structures préalables dans la construction de nouvelles structures. Il s'agit d'une tentative destinée à pondérer le rôle accordé aux processus aléatoires. J'ai été encouragé dans ma démarche par les positions adoptées actuellement par de nombreux biologistes moléculaires qui considèrent que les variations génétiques sont fortement limitées par des *plans de construction* inscrits dans nos gènes.

Quant au rôle sélectif que Changeux fait jouer à la mémoire à long terme dans son modèle, il me paraît également problématique. De mon point de vue, la mémoire à long terme est dépositaire des connaissances sédimentées. Certes elle joue un rôle sélectif mais en n'intégrant que des variations compatibles avec sa structure. Au cours du développement de l'enfant, mais aussi chez l'adulte, le problème de la sélection me semble principalement être dû aux incroyables capacités de nos systèmes perceptifs à détecter de multiples liens entre éléments, objets ou personnes, qui peuvent être aussi bien fortuits ou accidentels que relatifs à des relations fonctionnelles et causales. À partir de cette multitude de liens, une sélection est donc nécessaire. Elle serait de mon point de vue principalement réalisée par l'intermédiaire de nos actions sur le réel, qui nous permettent de sélectionner les liaisons satisfaisantes de celles qui ne le sont pas compte tenu des différents buts poursuivis.

Je ne suis parvenu à structurer mon exposé qu'à partir du moment où j'ai trouvé un exemple précis de création artistique. Il s'agit du portrait de

James Lord réalisé par Giacometti (1901-1966) en 1964 ; 18 séances de pose, restituées par Lord (Lord, 1981). Cet exemple devrait nous permettre d'illustrer la succession des étapes parcourues par Giacometti pour la réalisation de portraits, alors qu'il disposait de modes d'expression et de construction éprouvés. Ces étapes débutent par la réalisation d'une première esquisse pour se terminer par un portrait jugé de toute façon inachevé, mais qui lui procure néanmoins un sentiment d'ouverture vers toutes sortes de possibles.

Puisque nous allons parler du développement de l'enfant, évoquons en quelques mots les apprentissages précoces du dessin, de la peinture, de la sculpture de Giacometti. C'est par son père, Giovanni Giacometti, artiste peintre, qu'Alberto Giacometti a été sensibilisé très précocement à la peinture. Il est possible de dire qu'autour de l'âge de 17 ans, il avait déjà acquis une grande maîtrise de son « métier » d'artiste. Dès ses premiers dessins et sculptures il s'est centré, non exclusivement, sur la représentation de têtes et de visages. Le dessin au crayon de « Bruno à la casquette » (1913), et la tête de Diego (1914) réalisée en plâtre, sont des exemples saisissants de sa « maturité » à l'âge de 12-13 ans. Cinq ans plus tard, son autoportrait (1918, encre de chine) et la tête de Bruno (1919) en bronze sont des illustrations remarquables de la nouvelle maturité atteinte à l'âge de 17-18 ans.

Cette entrée en matière me permet d'une part de relativiser le concept de maturité dans la caractérisation d'étapes successives et d'autre part de souligner le fait que c'est en terme d'années que les processus de genèse doivent être envisagés. À titre d'exemple, plusieurs années sont nécessaires à l'enfant pour acquérir une « maîtrise relative » du langage oral, il en est de même pour le langage écrit. Ce sont également quatre ou cinq années qui s'écoulent entre les deux niveaux de « maturité » que je viens d'évoquer à propos de Giacometti. Ce préambule permet également d'introduire le thème que j'ai choisi pour présenter la théorie piagétienne : le rôle des savoirs et savoir-faire préalables dans la genèse de nouveaux savoirs et savoir-faire.

RÔLE DES STRUCTURES PRÉALABLES DANS LA CONSTRUCTION DE STRUCTURES NOUVELLES : PERSPECTIVE PIAGÉTIENNE

Parmi les déterminants multiples des comportements humains, on peut s'interroger sur l'existence, l'importance et les rôles des comportements dits « préalables » ou « précurseurs » à l'acquisition de comportements que l'on va qualifier ici de « nouveaux ».

Il est habituel de caractériser le développement de l'enfant par l'apparition de toute une succession de comportements « nouveaux » tels que : les premiers sourires, les premiers pas, les premiers mots, les premières phrases, etc. Le développement des comportements de l'enfant est généralement décrit comme une transition d'un état où le comportement est considéré comme absent jusqu'à un état où le comportement est considéré comme acquis, en distinguant éventuellement des niveaux d'expertise et des degrés d'automatisation.

Toutefois, on oublie souvent que pour tout comportement « nouveau », tel que marcher, parler, lire, écrire, additionner, s'orienter, il existe des comportements préalables (« précurseurs », « pré-requis ») dont la structure (d'ensemble) ou l'organisation prédétermine en partie le comportement à acquérir, ou constitue tout au moins une condition nécessaire et non suffisante à son acquisition.

Pour traiter ce problème, je partirai de deux postulats formulés par Piaget :

- pas de structures nouvelles sans structures préalables ;
- pas de structure sans genèse (autrement dit toute structure a une genèse).

Signalons que Piaget a souvent minimisé la complexité des structures ou conduites préalables par crainte du préformisme. De mon point de vue, le niveau de complexité des structures préalables ne menace pas nécessairement l'existence d'une construction de structures nouvelles. Il me semble que la complexité initiale détermine la diversité des dimensions du milieu pouvant être prise en considération dans cette construction et la diversité des traitements réalisables.

C'est ainsi que le nouveau-né par exemple, dispose de structures réflexes automatiques (construites au cours de la phylogenèse et de l'embryogenèse) qui assurent de façon efficace son adaptation à toute une série de situations. De ce point de vue il peut et doit être considéré comme compétent ou mature. Toutefois cette adaptation n'est que relative et ces structures héritées sont inadaptées par rapport à bien d'autres situations pour lesquelles le bébé ne dispose donc pas de solutions satisfaisantes. Piaget parle à ce propos de déséquilibre entre les structures ou capacités actuelles du bébé et les situations problématiques qu'il rencontre et auxquelles il doit s'adapter. Ce sont ces états de déséquilibres qui déclenchent selon Piaget des processus de rééquilibration. En d'autres termes les déséquilibres sont pour lui une des principales origines des processus de construction de structures nouvelles. Piaget introduit également l'idée que les déséquilibres seraient à l'origine chez le bébé de prises de conscience relatives à certains aspects de ses actions et de certains états du réel relatifs à ses actions. Ces prises de conscience seraient à l'origine des premiers élé-

ments des nouvelles structures en construction. On parlerait actuellement en terme d'attention sélective, de fonctions exécutives relatives à la planification des actions, ainsi que de mémoire de travail.

Au moyen de diverses illustrations, je vais tenter de réaliser des approximations successives de quelques constructions de structures nouvelles à partir de structures préalables qui caractérisent le développement.

Première illustration : les conduites d'imitation

Comme première illustration j'utiliserai l'apparition des conduites imitatives relatives à des parties non visibles du corps propre, telle que celle de tirer la langue.

L'apparition au début de la seconde année de vie du bébé de conduites imitatives relatives aux parties non visibles du visage (imitation volontaire) a été très finement documentée par Piaget dans les années 1930 et 1940 et relatée en particulier dans son livre intitulé « La formation du symbole » (Jean Piaget, 1945). C'est en terme d'homologation (mise en correspondance) progressive par le bébé des parties de son visage avec celles du visage d'autrui que Piaget a décrit cette genèse des imitations relatives aux parties non visibles du corps propre.

Il se trouve que des comportements d'imitation de mouvements du visage, mais aussi des mains, ont été mis en évidence chez le nouveau-né. Lorsque le visage du nouveau-né se trouve en face du visage d'un adulte qui produit des protrusions répétées de la langue ou des lèvres, ou des ouvertures/fermetures répétées de la bouche, le nouveau-né est capable d'imiter ces mouvements.

Ce phénomène observé au cours du siècle dernier par différents chercheurs n'a été documenté scientifiquement au moyen d'une approche expérimentale plus stricte qu'à partir des années 1970 (Maratos, 1973, 1982 ; Meltzoff & Moore, 1977 ; Vinter, 1983, 1985) .

Comme on peut l'imaginer, l'existence d'imitation précoce chez le nouveau-né modifie la façon dont il est possible de rendre compte de l'émergence des conduites d'imitation volontaire chez le bébé de 12 mois, moins par rapport à l'idée d'un processus de construction, que par rapport à la reconstruction d'un comportement préexistant.

Seconde illustration : les conduites de préhension

Les conduites de préhension sont des conduites complexes faisant intervenir plusieurs conduites élémentaires : la poursuite visuelle d'un objet, l'approche de la main et la capture manuelle de l'objet.

La genèse de cette conduite a été remarquablement décrite dans les années 1930 par Halverson (Halverson, 1931). C'est à l'âge de 12 mois qu'Halverson situait l'émergence d'une conduite de préhension plus ou moins comparable à celle de l'adulte et se caractérisant par un pattern parfaitement intégré.

Or il se trouve que comme pour l'imitation, des comportements préalables de préhension ont déjà été décrits au début du siècle dernier, en particulier par Halverson lui-même. Ces comportements n'ont été mis en évidence de façon expérimentale que dans les années 1970-1980, en particulier par Hofsten (Hofsten, 1982, 1990). Ces préhensions précoces réalisent (ou simulent) les trois fonctions principales de cette activité complexe : l'extension du bras et simultanément l'ouverture et la fermeture de la main projetée en direction de l'objet, ainsi que la capture visuelle de l'objet.

À partir de ces conduites préalables manifestées par le bébé au cours de ses premiers jours d'existence, le développement ultérieur des conduites du bébé est décrit par une dissociation progressive des coordinations initiales ; il est question d'interruption des couplages ou de découplages, de ruptures des synergies, d'individualisation de *patterns* partiels (*partial pattern individualized*), d'inhibition des réactions réflexes et automatiques, etc.

À ces descriptions en terme de rupture ou d'inhibition succèdent des descriptions à nouveau en termes de composition, coordination, intégration, synergie, séquentialisation, qui manifestent l'émergence des conduites souvent décrites comme conscientes et volontaires.

À partir de ces premières illustrations, il est possible de récapituler les descriptions évoquées de la façon suivante :

- Il existe à la naissance des comportements précurseurs qualifiés d'automatiques, ou de réflexes.
- Il apparaît au début de la seconde année des comportements décrits comme « volontaires », ou contrôlés consciemment.

De façon schématique il est possible de dire que les comportements initiaux sont principalement sous la dépendance de structures sous-corticales responsables de régulations automatiques ; les comportements volontaires contrôlés de façon consciente sont principalement sous la dépendance de structures corticales et de systèmes conscients de régulation attentionnelle (Shallice, 1991) ; les structures frontales sont tout particulièrement impliquées dans la mise en relation de données séparées dans le temps et/ou dans l'espace, de l'activation sélective ainsi que de l'inhibition

de conduites impulsives initiales vers le but (Fuster, 2008). Ce sont elles qui vont rendre possible la construction de nouvelles représentations et de nouveaux programmes.

Troisième illustration : les conduites de sériation

Les deux premières illustrations étaient relatives à la construction de nouvelles structures de nature perceptivo-motrice (intelligence sensorimotrice) à partir de structures réflexes préalables. Nous allons brièvement évoquer la construction de nouvelles structures conceptuelles (intelligence conceptuelle) à partir de ces structures perceptivo-motrices ou pratiques.

Je vais montrer comment ce même processus de construction de comportements « nouveaux » à partir de comportements « préalables » se présente à d'autres étapes du développement. L'exemple choisi concerne les conduites de sériation d'objets. De nombreuses études ont tenté de déterminer l'âge auquel les enfants deviennent capables de sérier ou d'ordonner correctement des objets relativement à certaines de leurs propriétés telles que leur taille ou longueur, leur poids, etc. C'est à l'âge de 6-7 ans que Piaget et Szeminska (Jean Piaget & Szeminska, 1941) ont situé la première apparition de cette capacité conceptuelle au moyen d'une tâche de sériation de diverses petites baguettes de bois de longueurs différentes. Les réussites des enfants de 6-7 ans sont atteintes au moyen de stratégies systématiques. Elles sont précédées de réussites par tâtonnements dirigés, ou essais et erreurs (5-6 ans), elles-mêmes précédées par la réalisation de couples ou trios de baguettes (3-4 ans).

Trente ans après les travaux de Piaget et Szeminska, l'étude des conduites d'encastrement de tasses de diamètres différents par des enfants âgés d'un à trois ans a permis à Greenfield *et al.* (Greenfield, Nelson, & Sallzman, 1972) de mettre en évidence une succession d'étapes entre les âges de 1 et 3 ans très comparables à celles que l'on vient de voir à propos de la sériation des baguettes. Les conduites d'encastrement, maîtrisées autour de l'âge de trois ans, constituent dans cet exemple les conduites « préalables » à l'émergence de nouvelles conduites de sériation de longueurs de baguettes maîtrisées autour de l'âge de 7 ans.

Alors que les deux premières illustrations concernaient la genèse de l'intelligence sensorimotrice à partir des structures réflexes, cette dernière illustration concerne la genèse de conduites relatives à l'intelligence conceptuelle à partir de conduites sensorimotrices ou pratiques. Alors que Piaget a toujours situé la transition entre l'intelligence sensorimotrice ou pratique et l'intelligence conceptuelle à l'âge de 18 mois, je considère plus

satisfaisant de la situer à l'âge de 3-4 ans, en faisant intervenir le langage comme instrument de représentation.

L'âge de 4 ans marque la transition du langage oral au langage écrit, la capacité d'attribuer à autrui des états mentaux qui diffèrent des siens, la capacité de considérer un objet simultanément de plusieurs points de vue dans des situations concrètes, ou de considérer qu'un mot peut remplir plusieurs fonctions dans une phrase subordonnée, etc.

Aspects figuratifs et aspects opératifs

Je ne saurais terminer cette présentation des structures préalables sans parler du rôle primordial joué par les actions dans la théorie de Piaget. En particulier c'est à leurs coordinations en systèmes que Piaget attribue l'origine des structures de nos raisonnements. C'est grâce aux actions que l'enfant découvre les liens de causalité qui existent entre les différents états des objets. Pour expliquer ces liens, Piaget a introduit une distinction entre deux types de connaissance qu'il a respectivement appelées *connaissance des états* et *connaissance des transformations*, indissociables, si ce n'est à des fins d'explicitation.

La connaissance des états est rendue possible par des *instruments figuratifs* dont Piaget distinguait trois variétés, les indices perceptifs, les systèmes de signe (*symbols*) et les symboles imagés (*mental images*). C'est ainsi qu'un objet tel qu'un biberon peut être traité soit perceptivement, et représenté sous forme d'indices perceptifs (visuels, tactiles etc.) (J. Piaget, 1937), soit sous forme de signes par un mot tel que « gobelet », soit sous forme de symboles imagés par un dessin.

Quant à la connaissance des transformations, elle est basée sur des *instruments opératifs*, c'est-à-dire des actions en tant que transformations qui font passer les objets d'un état à un autre, par exemple pour une tasse, de l'état plein à l'état vide par l'action de boire, vider, ou à l'inverse remplir ; ou pour une boule de pâte à modeler, de l'état de boule à l'état de galette par l'action d'aplatir, d'écraser, ou plus généralement de reconfigurer.

Selon Piaget, les actions sont exclusivement matérielles durant la première année du développement ; elles peuvent ensuite exister également sous forme d'actions intériorisées, c'est-à-dire se dérouler mentalement ou se projeter dans le temps, et s'exprimer alors verbalement sous forme de jugements.

Lorsque l'enfant acquiert de nouveaux concepts au cours de ses interactions avec les objets ou les personnes, il prend d'abord en considération les résultats obtenus (centration sur les résultats), et non la transformation elle-même (centration sur les transformations). Par exemple lorsque le

bébé tire sur la nappe qui est devant lui et que des objets initialement hors de sa portée deviennent préhensibles, son attention se centre sur le résultat de cette action : il établit un lien entre le fait de tirer et le rapprochement des objets ; lorsque, voulant reproduire ultérieurement cet effet il ne l'obtient pas, son attention va se déplacer du résultat à la transformation, ce qui lui fera progressivement découvrir que la transformation n'est efficace que pour autant que des objets se trouvent sur le support !

C'est vers la fin de la première année que les bébés parviennent à effectuer ce type de déduction. Bien plus tard, au niveau des raisonnements liés à la pensée, l'enfant comprendra (vers 4 ans) que l'action de rouler et d'écraser une boule de pâte à modeler la transforme en saucisse de plus en plus longue (centration sur un des résultats produits par la transformation). Si l'enfant poursuit la transformation, son inférence (plus je roule, plus la saucisse est longue) est correcte, mais partielle. Questionné sur la quantité de pâte, il estimera par exemple qu'il y en a davantage dans la saucisse que dans la boule initiale. Ce n'est que lorsqu'il prendra en considération la transformation entière, allongement et amincissement, que l'enfant, vers 7 ans, parviendra à un jugement correct (à savoir même quantité de matière).

DONNÉES RÉCENTES SUR LA PERCEPTION DES VISAGES : IDENTITÉ ET EXPRESSION

Il nous faut à présent considérer le développement de la reconnaissance des visages tout d'abord du point de vue de l'« identité » et ensuite plus brièvement du point de vue des expressions faciales.

Alors que l'identité des visages repose sur la structure invariante de ses « parties » constitutives (principalement les yeux, le nez, la bouche) définies par leur forme, leur localisation, et les relations spatiales qui les relient au sein de la configuration du visage, définie elle aussi par sa forme. J'ajouterai que les parties sont également définies à partir des fonctions qu'elles remplissent.

Quant aux expressions faciales elles résultent de transformations passagères qui affectent des régions plus ou moins bien délimitées, voire même le paysage tout entier du visage en tant que structure souple et déformable. D'une certaine façon il est possible de dire que l'on est en présence de deux « faces » distinctes d'un même objet, devant être traitées de façons différentes.

Ces deux aspects du visage ont été considérés jusqu'à très récemment comme indépendants l'un de l'autre, comme traités de façon distincte et parallèle par des structures nerveuses différentes (de façon très schéma-

tique l'identité par le gyrus fusiforme, FFA, et les expressions par le sillon temporal supérieur, STS, et l'amygdale).

Mais depuis quelques années, à partir de nouvelles données expérimentales, en particulier d'imagerie cérébrale, la plupart des chercheurs considèrent que ces deux systèmes de traitement fonctionnent plutôt en réseau de façon interactive, les différentes structures ayant néanmoins certaines spécificités.

C'est ainsi qu'actuellement les recherches s'orientent de plus en plus vers l'étude des interactions qui se produisent entre les traitements non seulement de l'identité et des expressions du visage, mais aussi de la direction du regard, de l'activité locutoire. Il va de soi que le rôle des mécanismes attentionnels est également crucial

Nous allons tout d'abord traiter séparément le développement de la reconnaissance de l'identité du visage, et le développement de la reconnaissance des expressions faciales, avant d'examiner les relations qu'ils entretiennent.

L'identité, la face connue des visages

Représentation des visages chez le nouveau-né

Dès la naissance, le nouveau-né manifeste des préférences visuelles pour les visages.

Toutefois il subsiste des divergences relativement à son origine : est-elle spécifique ou non spécifique aux visages ?

Selon Morton et Johnson (Morton & Johnson, 1991) il y aurait un mécanisme inné sous-cortical de détection des visages qui contiendrait la représentation d'une configuration schématique de la structure des parties intérieures du visage. Durant les premières semaines ce mécanisme orienterait l'attention visuelle du bébé vers les stimuli qui sont appariés à cette configuration. Il s'agit d'une configuration schématique composée de trois taches sombres disposées en triangle dans une forme ovale, ressemblant au visage (« face-like »), par opposition à une configuration contenant les mêmes traits mais dans une disposition différente (inversée), ne ressemblant pas au visage (« non face-like »). Lorsque ces deux configurations sont présentées successivement en mouvement au nouveau-né, la configuration « face-like » produit davantage de poursuites visuelles que la configuration ne ressemblant pas au visage, « non face-like ». Au mécanisme inné (*conspéc*) succéderait selon ces auteurs un mécanisme responsable des apprentissages (*conlern*) relatifs à l'élaboration des caractéristiques des visages singuliers (Johnson, 2005).

Nous retrouvons à propos des visages la présence d'une structure que l'on peut qualifier de préalable et qui oriente en partie les développements ultérieurs. Les imitations précoces relatives aux mouvements de parties du visage mettent en évidence un autre aspect des structures préalables relatives à la connaissance des visages (cf. *supra*).

Représentation des visages chez les bébés âgés de 4 à 10 mois

Comme nous l'avons vu précédemment, grâce à l'entrée en fonction de capacités nouvelles de traitement et de contrôle, le bébé devient progressivement capable d'orienter son attention ; ce qui le conduit à se centrer sur différentes parties des objets qui l'intéressent, ici le visage, qui sont traitées isolément les unes des autres (connaissance des états, aspects figuratifs) ; l'attention pouvant cependant également se porter sur le visage entier, ce qui est nécessairement le cas à partir d'une certaine distance.

Les recherches réalisées par Schwarzer *et al.* (Schwarzer, Zauner, & Jovanovic, 2007) mettent en évidence comment les bébés modifient leurs modes de traitement des visages, passant d'analyses fragmentaires centrées sur des parties isolées à des traitements intégrés de ces parties dans une configuration d'ensemble du visage (connaissance des transformations, aspects opératifs).

Les expériences ont été réalisées au moyen d'un paradigme d'habituation et une technique de « permutation » (« switch ») consistant à présenter de façon statique sur un écran successivement deux visages (d'un homme et d'une femme) jusqu'au moment où les bébés manifestent une diminution significative de leur intérêt pour ces deux visages (habituation). À la suite de quoi on présente aux bébés soit un des deux visages familiers, soit un nouveau visage, soit un visage dans lequel un trait caractéristique (les yeux ou la bouche) a été permuté avec celui de l'autre visage familier.

On mesure les temps d'exploration visuelle des bébés, sachant que ces temps sont d'autant plus longs que le visage exploré est plus nouveau.

Les analyses effectuées à partir des durées de fixation ont permis de mettre en évidence qu'à 4 mois les bébés analysent les visages à partir d'éléments dissociés de l'ensemble, à 6 mois la bouche est intégrée à la configuration globale, alors que les yeux sont traités comme partie dissociée de l'ensemble, et enfin à 10 mois, les bébés traitent globalement un ensemble d'éléments intégrés dans la configuration du visage.

Ce développement se poursuit entre un et trois ans. La discrimination des différentes parties s'améliore, tant du point de vue de leur taille que de leur localisation et les relations entre elles s'affinent.

Représentation des visages chez les enfants âgés de 3 à 11 ans

Dans l'introduction, nous avons vu que l'âge de 3-4 ans permet de situer le passage d'une intelligence perceptivo-motrice, ou pragmatique, à une intelligence conceptuelle faisant intervenir le langage.

C'est ainsi qu'entre 3-4 ans et 10 ans on retrouve des changements plus ou moins équivalents à ceux que nous venons de caractériser : le passage de centrations sur certaines parties isolées, définies à ce niveau par des jugements verbaux (grande bouche, petits yeux, etc.) et à des mises en relations entre parties du visage au sein de la configuration d'ensemble, qui peuvent elles aussi être définies sous forme verbale (le nez entre la bouche et les yeux). Différentes techniques ont été utilisées pour tenter de dissocier ces deux types de traitement.

Avec des enfants âgés de 3 à 5 ans, Schwarzer G. (Schwarzer, 2002) a examiné l'importance du traitement de parties isolées des visages par rapport au traitement des relations entre ces parties au moyen d'une tâche de catégorisation de deux familles de visages d'enfants et d'adultes, dont les différences portent sur les yeux, le nez, la bouche et le contour du visage en utilisant des dessins schématiques de visages. Tous les enfants utilisaient majoritairement des stratégies centrées sur le traitement de parties isolées du visage. Les plus jeunes utilisaient différentes parties, alors que les plus âgés se concentraient sur un seul attribut, ce qui était suffisant et donc plus économique.

Pour étudier des enfants âgés de 6 et 11 ans, Tanaka *et al.* (Tanaka, Kay, Grinnell, Stansfield, & Szechter, 1998) utilisent une tâche de mémoire immédiate avec un paradigme appelé « partie-totalité » (« part-hole ») qui permet de dissocier les traitements de parties d'un visage (les yeux, le nez ou la bouche) soit insérées dans le visage entier, soit extraites du visage et présentées isolément (cf. *figure 1*). Ayant observé un visage cible durant 5 secondes, les enfants peuvent être confrontés à deux situations différentes :

- Soit ils sont confrontés à deux visages dont l'un est le visage cible et l'autre un visage « piège » (identique au visage cible excepté pour une de ses parties, les yeux par exemple) et doivent désigner quel est le visage cible.

- Soit ils sont confrontés à deux parties de visage, les yeux par exemple, l'une des parties extraite du visage cible, l'autre partie extraite du visage piège et doivent désigner quelle est la partie provenant du visage cible.

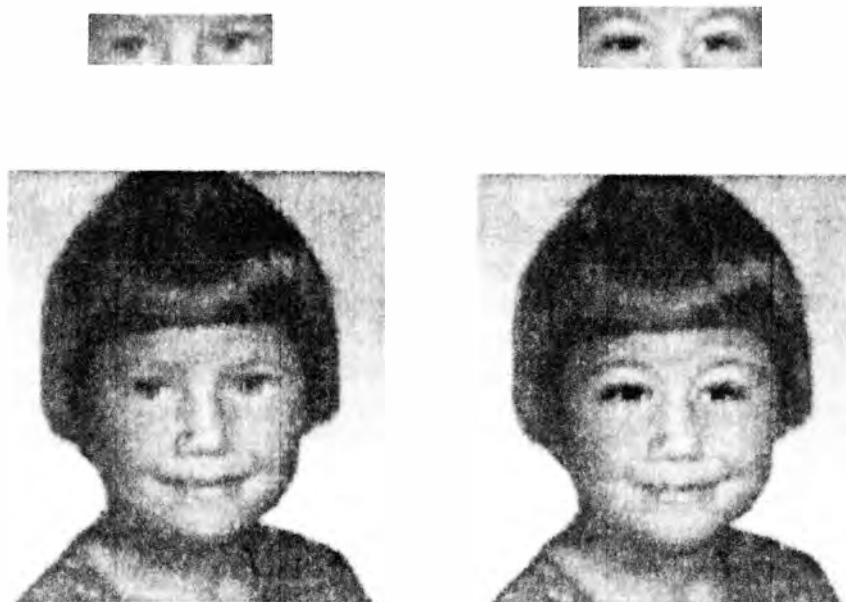


Fig. 1. Exemple d'images de visages composites utilisés pour tester l'identification soit de parties du visage (par exemple les yeux) soit de visages entiers.

Les résultats montrent qu'entre 6 et 11 ans, les enfants sont capables de reconnaître la partie modifiée dans les deux conditions, « extraite » ou « insérée ». Leurs performances moyennes entre les deux conditions augmentent significativement avec l'âge : 65 % à 6 ans, 78 % à 10-11 ans. À tous les âges (6 à 11 ans), les enfants reconnaissent significativement mieux les parties à l'intérieur d'un visage entier que les parties présentées isolément. La différence est significative dans tous les groupes d'âge. Il est toutefois intéressant d'examiner les variations de l'écart des pourcentages de réussite entre ces deux conditions (visage entier/partie isolée) : 10 % à 6 ans, 17 % à 8 ans, 12 % à 10-11 ans. C'est donc à 8 ans que les enfants ont le plus de difficulté à reconnaître la partie modifiée isolée plutôt qu'insérée.

Les expressions : la face méconnue des visages

Les expressions faciales sont générées par plusieurs systèmes coordonnés de groupes musculaires qui transforment de façon non rigide certains éléments ou traits du visage par des étirements, torsions, plissements, incurvations déformant des régions ou même le paysage entier du visage.

On peut distinguer deux régions principales, l'une qui incorpore les yeux, les sourcils, le nez, le front et les tempes, et l'autre qui incorpore les joues, la bouche et le menton.

Les principales configurations générées par ces systèmes musculaires coordonnés sont produites par des programmes d'action préformés qui sont initialement déclenchés chez le bébé par des stimulations internes et/ou externes. Ces configurations ou expressions faciales correspondent aux principales émotions qualifiées de joie, tristesse, surprise, colère, peur et dégoût. Ces états émotionnels sont simplement « éprouvés » ou « ressentis ».

Les stimulations qui déclenchent ces expressions faciales déclenchent simultanément des comportements (manifestes ou simplement esquissés) d'approche, de retrait, de protection, de repli, etc. qui « expriment » en quelque sorte les significations des états émotionnels « éprouvés ». C'est ainsi que selon Damasio (Damasio, 2005) ce que nous éprouvons ou ressentons dans notre corps, par exemple la peur, fait partie d'un *programme d'action émotionnel* qui met en relation ce qui est ressenti et perçu avec des comportements appropriés à la situation et destinés à mettre les êtres vivants hors de danger. « Les émotions confèrent aux êtres vivants la possibilité d'agir intelligemment sans penser » et, ajoute Damasio avec un peu d'ironie, « les raisonnements nous donnent la possibilité de penser intelligemment avant d'agir intelligemment ». Les expressions faciales, états transitoires générés dynamiquement par des transformations brèves, sont néanmoins reconnaissables à partir d'informations statiques comme celles fournies par des photos. Toutefois la perception des mouvements qui les génèrent en facilite l'identification (Bassili, 1978, 1979).

Comme pour la (re)connaissance de l'identité du visage et de ses parties, pour laquelle le nouveau-né dispose à sa naissance d'une représentation schématique ainsi que de capacités de mise en correspondance de certaines des parties de son visage avec celles du visage de ses partenaires (imitation précoce), les nouveau-nés disposent également de capacités à discriminer (aspect figuratif) et imiter (aspect opératif) différentes expressions faciales correspondant à la joie, la tristesse, la surprise (Field *et al.*, 1983 ; Field, Woodson, Greenberg, & Cohen, 1982). Il faut mentionner que pour ces expériences les nouveau-nés ont été confrontés à de vrais visages produisant activement les expressions, et comme nous l'avons déjà signalé, le nouveau-né répond avant tout à des formes en mouvement plutôt qu'à des formes statiques. Lorsque les structures corticales prennent progressivement le contrôle des activités du bébé, on assiste au cours des premiers mois à une lente et progressive différenciation des expressions émotionnelles aussi bien émises (connaissances des transformations) que perçues (connaissance des états), telles que des sourires, des froncements de sourcils associés à des états de plaisir et de déplaisir. La familiarité du

visage semble cependant faciliter la discrimination des expressions (Kahana-Kalman & Walker-Andrews, 2001).

Exposer ici le développement de la reconnaissance des expressions faciales surchargerait inutilement ce texte, d'autant plus que leur traitement paraît de plus en plus lié à celui de l'identité, comme on va le voir. Voici cependant des références à quelques revues de question qui viennent de paraître : M. de Haan & A. Matheson (De Haan & Matheson, 2009), M. de Haan (De Haan, 2008), O. Pascalis *et al.* (Pascalis, Kelly, & Schwarzer, 2009).

Les deux faces du visage : interactions entre identité et expressions

Les deux «faces» du visage sont de moins en moins considérées comme étant traitées par des structures différentes dans des voies parallèles, mais plutôt par des structures organisées en réseau.

Il est important de mentionner que l'approche des traitements visuels des deux faces du visage par les sciences cognitives a été très ancrée pendant longtemps dans une perspective empiriste selon laquelle les connaissances seraient avant tout « extraites » du monde extérieur à partir de traitement bottom-up, seule la voie ventrale du système visuel (celle responsable du traitement de l'identité des objets) est prise en considération, la voie dorsale (responsable du traitement de la localisation des objets, et des liens entre les objets et les actions qui leur sont associées) (Mishkin & Ungerleider, 1982) n'est jamais mentionnée. Les références à des processus de contrôle descendants (top-down) ne sont pas très fréquentes. Ce n'est qu'au cours de ces dernières années que les mécanismes attentionnels ont été sérieusement pris en compte.

Chez l'enfant

Je commencerai par présenter les résultats d'une expérience réalisée par Mondloch *et al.* (Mondloch, Geldart, Maurer, & Le Grand, 2003) avec des enfants âgés de 6 à 10 ans, consistant à apparier des visages en fonction d'une dimension (par exemple leur expression) malgré des variations irrelevantes (non pertinentes pour la tâche actuelle) d'une autre dimension (par exemple l'identité). Dès l'âge de 6 ans, les enfants n'ont pas de difficultés à apparier des photos à partir de leurs expressions, malgré les variations parasites de l'identité. À 7-8 ans, ils réussissent la tâche inverse, apparier les photos compte tenu de l'identité malgré les variations distractrices des expressions ; plus tard encore à apparier les visages à partir de leur identité malgré des variations de l'orientation des visages. Ces résultats mettent

précisément en évidence l'intervention des mécanismes d'attention sélective qui rendent possible l'activation privilégiée d'une dimension et/ou éventuellement l'inhibition du traitement de l'autre dimension.

Des situations expérimentales de ce genre, mais avec d'autres objets que les visages, ont été abondamment utilisées en psychologie du développement pour étudier les capacités d'attention sélective : changements de critères de tri (Zelazo, Frye, & Raptus, 1996), conflits entre réponses (Gerstadt, Hong, & Diamond, 1994), etc. Selon la difficulté de la tâche, les réussites peuvent intervenir à des âges très différents. Par rapport à ces travaux, les résultats de Mondloch ne semblent pas caractériser un traitement qui serait spécifique aux visages.

À partir de ces expériences réalisées chez les enfants, on pourrait considérer que les interactions entre identité et expression (parfois facilitatrices, parfois perturbatrices) ne se manifestent que dans la mesure où les mécanismes d'attention sélective ne sont pas en mesure d'intervenir (soit en fonction de la maturation du système nerveux, soit en fonction de la complexité des situations) ; mais que dès que ces mécanismes entrent en jeu, les différentes dimensions des visages dont en particulier l'identité et les expressions ne donneraient plus lieu à des interférences lors des traitements. Dans certains cas cependant l'attention sélective ne parvient qu'à restreindre l'importance des interférences qui néanmoins perdurent ; dans ces cas il est possible de considérer que ces deux dimensions ne sont pas entièrement séparables.

Chez l'adulte : les effets d'interférence asymétriques

L'étude des relations entre dimensions d'identité et d'expression des visages a été également entreprise sous l'angle des mécanismes attentionnels chez des sujets adultes à partir d'une tâche de classification accélérée imaginée par Garner (Garner, 1974, 1976). Il s'agit d'une situation permettant d'étudier le rôle de l'attention sélective orientée vers une dimension particulière d'un visage (par ex. l'expression) en ignorant une autre dimension non pertinente (par ex. l'identité). Dans cette situation les participants doivent catégoriser les visages qui se succèdent sur un écran d'ordinateur à une cadence rapide (environ toutes les quatre secondes). Les trois premières recherches réalisées au moyen de cette tâche (Baudouin, Martin, Tiberghien, Verlut, & Franck, 2002 ; Schweinberger, Burton, & Kelly, 1999 ; Schweinberger & Soukup, 1998) ont montré que lorsque les participants devaient fournir des réponses relatives à des variations d'expression, ils étaient perturbés par des variations concomitantes d'identité non pertinentes dans la série en cours, alors que lorsqu'ils devaient fournir des réponses sur l'identité des visages, ils n'étaient pas ou peu perturbés par des

variations non pertinentes des expressions. Ces résultats remettent en question l'hypothèse de traitements parallèles complètement indépendants de l'identité et des expressions du visage.

Chez l'adulte : les effets d'interférence symétriques

Ganel et Goshen-Gottstein (Ganel & Goshen-Gottstein, 2004) reprennent ce type d'expérience avec l'hypothèse que les interférences ne devraient pas se produire uniquement de l'identité aux expressions, comme on vient de le voir, mais également des expressions aux identités. Ces chercheurs considèrent que l'absence d'interférence des expressions sur l'identité serait due au degré de différenciation des visages pour chacune des dimensions étudiées, aspect qui n'avait pas été contrôlé lors des expériences antérieures. Après avoir égalisé les degrés de différenciations entre expressions et entre identités, ils ont obtenu des interférences non seulement de l'identité sur les expressions, mais également des expressions sur l'identité. Ces résultats renforcent l'hypothèse de l'interdépendance entre le traitement des dimensions invariantes relatives à l'identité et des dimensions variables relatives aux expressions du visage. Dans leurs expériences ils font aussi varier la familiarité des visages considérant que plus les visages sont familiers, plus les interférences seront importantes, ce qui est confirmé par leurs résultats.

On pourrait cependant penser que l'asymétrie des effets d'interférence, qui a toujours été observée jusqu'à cette dernière expérience, pourrait être due à la nature même des dimensions respectives prises en considération pour les traitements de l'identité et des expressions. Il n'y a actuellement aucun accord entre les chercheurs de ce domaine sur la façon de définir la nature de ces différentes dimensions. Alors que selon moi l'identité est relative à des parties distinctes du visage définies par leurs formes, leurs localisations, et leurs relations spatiales, les expressions sont relatives elles à des surfaces ou régions qui subissent des transformations non rigides, comme on l'a décrit précédemment. Si on admet ce point de vue, on peut dès lors imaginer que lorsque la centration attentionnelle s'exerce sur des surfaces qui subissent des transformations complexes et diffuses, les traitements soient davantage perturbés par des changements « d'identité » relatifs aux parties du visage, changements qui surviennent en quelque sorte en surimpression. Par contre, lorsque les centrations attentionnelles portent sur les transformations que subissent les parties distinctes du visage et sur leurs relations, les traitements pourraient être moins perturbés par des variations plus diffuses et continues de changements d'expression concomitants. (Une autre façon de s'exprimer consisterait à dire que pour les expressions, l'attention doit porter sélectivement sur

l'ensemble du visage, ou sur une de ses régions, et que les variations plus locales liées au changement d'identité produisent des effets plus saillants (*pop out*), alors que les changements d'expression qui surviennent en toile de fond auraient un impact plus faible sur le traitement des variations plus ponctuelles de l'identité.)

Les hypothèses formulées par Ganel & Goshen-Gottstein à la fin de la discussion générale de leur article sont assez différentes, voire opposées à celles que je viens de formuler.

L'imagerie cérébrale chez l'adulte

Ganel *et al.* (Ganel, Valyear, Goshen-Gottstein, & Goodale, 2005) ont repris l'expérience de classification accélérée de Garner en incluant des enregistrements d'imagerie cérébrale par résonance magnétique fonctionnelle (fMRI) afin d'étudier dans quelle mesure ce qu'ils définissent comme les trois «régions d'intérêt» pour le traitement des visages (FFA, STS et amygdale) sont elles aussi interdépendantes. Ces auteurs parviennent à mettre en évidence que la région considérée comme spécialisée pour le traitement de l'identité (FFA) est la seule à réagir au traitement de cette dimension, son activité croissant davantage lorsque l'identité varie, mais que toutes les trois participent aux traitements des expressions et sont plus actives lorsque ce sont les expressions qui varient. Il ne serait donc plus question de voies parallèles et indépendantes, mais d'interdépendance ou d'interactions entre des structures ayant néanmoins leurs spécificités.

J'aimerais aussi signaler l'existence de trois autres articles qui peuvent compléter et enrichir cette partie : Vuilleumier *et al.* (Vuilleumier, Armony, Driver, & Dolan, 2003), Vuilleumier & Pourtois (Vuilleumier & Pourtois, 2007) et Winston *et al.* (Winston, Henson, Fine-Goulden, & Dolan, 2004).

Prosopagnosie congénitale : origine des troubles de la reconnaissance du visage

J'aimerais mentionner pour conclure comment à partir de l'étude de la pathologie cérébrale, et plus précisément de patients souffrant de prosopagnosie congénitale, d'autres chercheurs (Avidan & Behrmann, 2009) sont parvenus à montrer que les traitements du visage ne sont pas réalisés par des structures spécialisées dissociées, mais par un réseau distribué de structures qui interagissent.

Les trois cas de prosopagnosie congénitale étudiés minutieusement par ces chercheurs se caractérisent par l'absence de reconnaissance, tout au moins « explicite », de l'identité des visages, et par l'intégrité de leurs capacités à reconnaître les expressions faciales. Or il ressort de leurs tra-

vaux que ces troubles résulteraient de l'état défectueux des connexions entre les structures du réseau, et plus précisément des connexions qui relient le centre du réseau (cortex occipito-temporal ventral qui inclut FFA et STS) à certaines de ses extensions (cortex cingulaire postérieur et paracingulaire antérieur).

Pour conclure

J'espère être parvenu avec ce survol des recherches réalisées sur la reconnaissance des visages et des expressions faciales au cours du développement et chez des sujets adultes et pathologiques à fournir quelques éléments pour comprendre la complexité de ces objets si familiers et si mystérieux que sont les visages, et sur la façon dont l'enfant et l'adulte parviennent à construire des représentations de leurs multiples dimensions.

À ce propos, il faut rappeler l'importance des structures «préalables» dans ces constructions, structures qui sont cependant insuffisamment prises en considération. On aurait également pu parler de l'intervention probable des voies sous-corticales qui atteignent de façon directe l'amygdale et d'autres structures, structures qui envoient à leur tour des messages au cortex occipital ventral.

De même il faut souligner l'importance des principaux mécanismes au moyen desquels la construction de ces représentations et leurs interactions peuvent se réaliser, à savoir l'attention sélective, les fonctions exécutives, et la mémoire de travail. Ces mécanismes dépendent principalement des structures frontales et pariétales de notre cerveau, c'est aussi leurs interventions qui assurent une part importante de l'orchestration des réseaux complexes qui participent au traitement des visages.

LA CRÉATION DE PORTRAITS PAR GIACOMETTI

Je vais commencer par décrire brièvement la façon dont quelques critiques d'art ont caractérisé le style et les particularités des portraits réalisés par Giacometti pour examiner ensuite la réalisation d'un de ses portraits, celui de James Lord, réalisé en 1964, et pour lequel on dispose du récit du déroulement des dix-huit séances de pose, et de l'état d'avancement du portrait par les photos prises à l'issue de chacune de ces séances (Lord, 1981). Enfin j'esquisserai quelques rapprochements entre les connaissances actuelles que je viens d'exposer sur les rapports entre identité et expression des visages et ces mêmes rapports entre identité et expression au cours de la création de portraits.

Points de vue de critiques d'art

Mentionnons tout d'abord le point de vue de Reinhold Hohl (Hohl, 1971), qui ne prend en considération que les portraits réalisés par Giacometti à partir de 1947, date à laquelle il situe la maturité artistique du peintre (précédée néanmoins, ajoute-t-il, par le chef d'œuvre qu'est le portrait de sa mère, daté de 1937). R. Hohl oppose les portraits de la jeunesse du peintre, qualifiés de néo-impressionnistes, à ceux réalisés à partir de 1947 qu'il définit comme des icônes « sécularisées » dont il qualifie la beauté de sensuelle : ils sont animés, ils nous regardent, et leur forme est toujours l'expression d'un contenu, d'un message même, dit-il, à savoir « l'émerveillement de Giacometti devant l'être humain qui est là, vivant, émettant une force qui domine le spectateur ». La peinture de Giacometti serait selon lui une re-création de la perception que Giacometti a des objets : « le travail du pinceau est comme la trace du regard du peintre, le pinceau ne dessine pas des cernes mais contourne les objets et traverse les distances ». Le dessin m'aide à voir, disait Giacometti ; il ne pouvait rien voir sans le dessiner, tout au moins mentalement.

Ses portraits sont le plus souvent décrits comme des enchevêtrements de lignes, de courbes, de virgules, de cercles, de traits. Selon Jacques Dupin (Dupin, 1962), ces traits ne cernent rien, ne précisent rien, mais font surgir le sujet du tableau. Ou, comme l'exprime différemment Jean Genet (Genet, 1963), à mesure que l'on s'éloigne, « le visage avec tout son modèle apparaît, s'impose ». Il se dégagerait des tableaux de Giacometti un sentiment de vérité et de vie. « Ce qui donne la vie, c'est tout l'ensemble, déclare Giacometti. Si j'ai la courbe de l'oeil, j'aurai aussi l'orbite; si j'ai l'orbite, j'ai la racine du nez...Donc le tout pourrait à la fin donner quand même un regard, sans qu'on se fixe sur l'oeil même. » (Scheidegger & Munger, dialogue tiré du film de 1965 entre Jacques Dupin et Alberto Giacometti). Je rajouterais que « le tout » pourrait faire surgir une expression, ou un condensé d'expressions !

Un portrait par Giacometti

Nous allons maintenant suivre Giacometti dans la réalisation d'un de ses portraits. Il faut mentionner que ses portraits résultent tous d'une gestation qui peut durer des semaines, voire des mois. Ils prennent naissance au travers d'une succession d'étapes, de stades, dont on a, pour celui de James Lord, le récit grâce à la restitution que James Lord lui-même en a donné dans son livre intitulé « Un portrait par Giacometti » ainsi que la trace de

ses métamorphoses successives, puisque James Lord a pris des photos de son état à la fin de chacune des 18 séances de pose (cf. figures 2 et 3).



Fig. 2. Première photo prise par James Lord de l'état du tableau à la fin de la 1^{re} séance.



Fig. 3. Dernière photo prise par James Lord de l'état final du tableau à la fin de la 18^e et dernière séance.

Voici quelques-uns des commentaires que Giacometti a exprimé tout au long des séances à propos de sa progression dans la réalisation du portrait :

1^{re} séance

« Tu as l'air d'un vrai voyou! Si je pouvais te peindre comme je te vois et qu'un flic te voie, il t'arrêterait immédiatement. » (p. 19)

« C'est impossible de peindre un portrait. Ingres le pouvait. Il pouvait finir un portrait. Ça jouait le rôle d'une photographie. Mais aujourd'hui ça ne veut plus rien dire. » (p. 22)

3^e séance

« J'ai remarqué que non seulement de face tu as l'air d'une brute, mais que ton profil est un peu dégénéré. De face tu vas en prison, de profil tu vas à l'asile. » (p. 33)

« La racine du nez me dépasse. Je n'ai aucun espoir. » (p. 33)

4^e séance

« Le nez y est maintenant, c'est un progrès ! Je sais où je vais maintenant. » (p. 37)

7^e séance

« La tête s'en va ! Elle s'en va tout à fait. » (p. 56)

8^e séance

« Il y a une ouverture. Il faut réussir la tête. » (p. 59)

« Il faut tout défaire maintenant. Il faut arriver à tout défaire et à tout refaire très rapidement. J'aimerais arriver à peindre comme une machine. » (p. 60)

9^e séance

« Il faut que je ramène tout à un carré. » (p. 66)

10^e séance

« Il faut tout abolir de nouveau. » (p. 75)

12^e séance

« Il y a encore le corps (à faire). Mais dès que le cou sera en place, le reste viendra de lui-même. Je te tiens. Tu ne m'échapperas plus maintenant. » (p. 89)

« Nous arrivons maintenant quelque part. L'espace autour de la tête s'est beaucoup précisé. Et le lien entre le corps et la tête est plus fort parce que la tête elle-même est plus forte. Elle a cessé d'être de travers. » (p. 89)

15^e séance

« C'est le moment où tout pourrait commencer. La tête se tient très bien sur le corps, et le corps en conséquence a plus de volume. » (p. 109)

17^e séance

« J'ai une ouverture très large » (p. 116)

« J'ai maintenant la possibilité de défaire tout très vite » (p. 116)

« Je commence à savoir de quoi il s'agit. » (p. 116)

J. Lord : « de quoi? » (p. 116)

« d'une tête. » (p. 116)

« Je fais tout disparaître à nouveau » (p. 117)

« Il y a une ouverture. C'est la première fois de ma vie que j'ai une telle ouverture » (p. 118)

« Il y a une ouverture, ce n'est pas mal. Il y a quelque chose à faire. Mais ça chahute. C'est inégal » (p. 119)

18^e séance

« Tu as l'air d'une sculpture égyptienne, en plus beau ! » (p. 123)

Au cours de cette ultime séance, Giacometti exprime ce que signifie pour lui de faire un tableau :

« on pourrait se figurer que pour faire un tableau il s'agit simplement de placer un détail à côté d'un autre » (les traits co-occurents ou corrélés, cf. *supra*),

« mais ce n'est pas ça. Ce n'est pas ça du tout. Il s'agit de créer d'un seul coup une entité complète. »

Or, comme on vient de le voir au travers de cette restitution des 18 séances, pour créer d'un seul coup une « entité complète », il faut l'avoir construite « dans son esprit ». Comme Giacometti l'exprime ailleurs par rapport à sa sculpture du chat, « le chat, je l'avais dans l'esprit exactement comme il est. Tout ce que j'ai eu à faire c'est de l'exécuter » ; ou plus généralement encore : « les sculptures me venaient toutes faites dans la tête. Ensuite le seul problème était de les exécuter, et ça c'était une affaire mécanique, rien de plus. »

Je soulignerai pour faire un rapprochement avec le développement de l'enfant que « l'entité complète » dont parle Giacometti, ça ne s'extrait pas, selon l'expression de la plupart des chercheurs, mais ça se construit ! Le portrait de James Lord, Giacometti l'a construit au cours d'un travail de plusieurs dizaines d'heures, comme le bébé construit le « portrait » de sa mère au cours de ses premiers mois, ce qui l'amène à reconnaître visuellement son visage comme singulier ou unique.

Rapprochements entre connaissances scientifiques et création

C'est en défaisant et refaisant, en construisant et déconstruisant que Giacometti parvient progressivement à localiser la racine du nez, puis à placer le nez, c'est-à-dire un des axes du visage, puis à composer la tête, puis l'espace autour de la tête, et le lien entre le corps et la tête (qu'il a redressée) et qu'il attache au tronc par le cou...

On pourrait voir dans cet enchaînement l'expression d'un plan de construction comparable à celui qui préside au développement des postures

et des praxies, plans qui se déroulent selon des axes définis comme céphalo-caudal et proximo-distal. On retrouve la présence de plans comparables dans le développement des activités graphiques (entre 3 et 5 ans) ou dans la construction d'instruments simples chez l'enfant (entre 4 et 7 ans) (P. Mounoud, 1970).

Cet enchaînement de relations donne l'impression que la préoccupation principale de Giacometti pourrait n'être que relative à la structure du visage, et plus généralement à la structure de tout le haut du corps, comme s'il s'agissait pour lui de l'aspect essentiel de son travail. Une telle démarche semblerait alors plutôt conforter une hypothèse formulée par certains chercheurs (Ganel *et al.*, 2005) selon laquelle « les expressions faciales ne pourraient être bien caractérisées qu'à partir de la structure invariante du visage, c'est à dire de son identité ». Que les expressions des émotions soient « contraintes » par la structure invariante des visages ne signifie pas pour autant (comme le laissent entendre ces chercheurs) qu'elles ne sont pas décriptables sans recourir à cette structure invariante. De mon point de vue, les expressions sont tout à fait décriptables, soit sur la base des informations dynamiques liées aux mouvements qui les génèrent (connaissance des transformations), soit en tant que configurations, elles aussi décriptables malgré les distorsions dues à la morphologie particulière du visage (connaissance des états). Dans les deux cas, on est en présence d'informations de natures différentes de celles utilisées pour définir la structure invariante d'un visage qui portent, elles, sur la forme (aspect figuratif) et la localisation de parties, ainsi que sur les relations spatiales qui les relient entre elles (aspect opératif). À ce propos il faut mentionner que de nombreuses postures relatives à des mouvements précis, par exemple la posture du swing au golf, sont identifiées sans difficulté y compris par des personnes qui n'ont jamais pratiqué ces activités. On sait par ailleurs que ces postures sont non seulement reconnues, mais qu'elles évoquent directement les actions qui les génèrent et permettent de faciliter la reconnaissance des objets et des personnes qui leur sont associées (Craighero, Fadiga, Rizzolatti & Umiltà, 1998 ; Mounoud, Duscherer, Moy & Perraudin, 2007 ; Perraudin & Mounoud, 2009). Il en est probablement de même pour les expressions faciales qui doivent elles aussi évoquer les actions qui les génèrent, d'autant plus que l'observateur dans ce cas est en mesure de produire lui-même les expressions observées (il en possède les répertoires).

Il est temps de revenir à la succession des séances ! Lorsqu'enfin à la 12^e séance Giacometti a l'impression de maîtriser, de s'approprier son modèle et déclare « je commence à savoir de quoi il s'agit », J. Lord lui demande « mais de quoi s'agit-il ? », et Giacometti répond « d'une tête », et pas « de ton portrait » (ce qu'attendait probablement J. Lord). Mais,

peut-on se demander, de quelle nature, de quelle espèce est son modèle de tête ? On pourrait dire que son modèle est devenu « permanent » dans la mesure où Giacometti dit qu'il peut le faire disparaître et réapparaître. Ce qui fait émerger de nouvelles « ouvertures », d'autres façons d'enrichir sa représentation, c'est-à-dire que le portrait est vivant, que c'est son modèle de tête ! Et surtout qu'il sera toujours inachevé.

J'aimerais encore évoquer un commentaire fait par Giacometti dans un autre contexte, lorsque, se trouvant devant trois bustes de Diego, il déclare : « dans les bustes d'après nature tout est faux. La part d'illusion n'est pas assez grande. C'est la même chose qui fait qu'une tête des Cyclades est tellement plus vivante et convaincante qu'un buste romain qui se veut un portrait. Faire une tête qui ait vraiment l'apparence de la vie est impossible, et plus vous luttez pour la rendre comme elle est dans la vie moins elle a l'air vivante ». C'est peut-être ainsi que Giacometti a acquis son style : ne plus lutter pour rendre la tête comme elle est, de façon à augmenter les chances qu'elle ait l'air vivante, c'est-à-dire expressive.

Tout se passe me semble-t-il comme si Giacometti en prétendant vouloir faire « un buste romain qui se veut un portrait » (i.e. le portrait de J. Lord), espère faire surgir une figure archétypique ou prototypique des multiples facettes de son modèle, un portrait qui transcende son modèle, qui va au-delà de sa propre nature.

Au travers des boutades que Giacometti lance à son modèle durant la première et troisième séance, « voyou », « brute », « dégénéré », on peut considérer qu'il exprime un aspect de ce que le visage de J. Lord évoque probablement pour lui, ce qu'il ressent, ce qui le rend vivant, ce qu'il va lui-même tenter d'exprimer au travers du portrait qu'il va créer... et on sait par ailleurs qu'il ne saurait s'agir de quelque chose de ressemblant au sens banal du terme.

Reprenons de plus près la progression du travail de Giacometti : on constate que son attention porte tout autant si ce n'est davantage sur les expressions du visage que sur sa structure. Son acharnement à restituer la « vie » de son modèle, ses expressions, ses regards, entraîne des distorsions du visage qui menacent, à plusieurs reprises, l'équilibre de la configuration d'ensemble en plein chantier ; ce qui déstabilise Giacometti et l'oblige à effectuer des recadrages et des réajustements structuraux.

Par conséquent il ressort de cette tentative d'analyse que la centration prédominante de Giacometti sur les aspects expressifs entraîne des interférences sur la forme ainsi que sur la structure de ses parties ; ces deux aspects du traitement du visage sont comme interdépendants et le travail primordial réalisé sur les expressions déstabilise la structure globale du personnage (position de la tête par rapport au tronc). Par ailleurs, si l'on examine les portraits et sculptures réalisés par Giacometti de son frère

Diego à la même période (1960-1965), on se rend compte que la structure « invariante » de son visage et de sa tête ne sont pas au centre des préoccupations de Giacometti !

À ce propos on a vu dans les données récentes sur la perception des visages à quel point l'identité du visage peut interférer sur les expressions. On sait que l'importance de ces interférences dépend des capacités d'attention sélective. Faut-il encore que l'observateur sache sur quel élément porter son attention ! Certains résultats expérimentaux semblent aussi montrer que ces interférences de la structure sur les expressions seraient plus importantes lorsque les visages sont familiers. Or il se trouve que Giacometti a toujours préféré travailler à partir des modèles qu'il connaissait le mieux, dont en particulier son frère Diego qu'il a représenté inlassablement pendant plus de 50 ans. On peut aussi penser que cette connaissance approfondie a pu faciliter les sélections qu'il opérerait au cours de ses constructions.

Pour conclure, je dirais que tout se passe comme si les créations de Giacometti avaient deux déterminants distincts :

– D'une part les savoirs et savoir-faire grâce auxquels il poursuivait des buts contrôlés consciemment ;

– Et d'autre part des biais déterminés par le réseau complexe de structures qui intervient dans le traitement des visages et des expressions.

On a entrevu comment ce réseau pouvait générer des interférences qui se traduisent de façon déconcertante chez Giacometti par des déformations et des distorsions spectaculaires. Giacometti a souvent décrit ces déformations comme déterminées à son insu par des forces sur lesquelles il avait peu d'emprise. Ces déformations dans lesquelles il s'est laissé entraîner ont donné à ses portraits et sculptures leur expressivité saisissante.

On découvre ainsi progressivement comment la façon dont les chercheurs peuvent actuellement rendre compte de certains aspects de la complexité des traitements des visages peut aider à comprendre certains aspects de la démarche créative du peintre-sculpteur; et réciproquement comment la démarche créative peut faire découvrir aux chercheurs certains aspects de la complexité des processus qu'ils étudient.

Bibliographie

- AVIDAN G. & BEHRMANN M., « Functional MRI Reveals Compromised Neural Integrity of the Face Processing Network in Congenital Prosopagnosia », *Current Biology*, n°19(13), 2009, p. 1146-1150.
- BASSILI J.-N., « Facial Motion in Perception of Faces and of Emotional Expression », *Journal of Experimental Psychology-Human Perception and Performance*, n°4(3), 1978, p. 373-379.
- BASSILI J.-N., « Emotion Recognition – Role of Facial Movement and the Relative Importance of Upper and Lower Areas of the Face », *Journal of Personality and Social Psychology*, n°37(11), 1979, p. 2049-2058.
- BAUDOIN J.-Y., MARTIN F., TIBERGHEN G., VERLUT I. & FRANCK N., « Selective attention to facial emotion and identity in schizophrenia », *Neuropsychologia*, n°40(5), 2002, p. 503-511.
- CHANGEUX J.-P., *Raison et plaisir*, Paris, Odile Jacob, 1994.
- CHANGEUX J.-P. & Debru C., *Du vrai, du beau, du bien : une nouvelle approche neuronale*, Paris, Odile Jacob, 2008.
- CRAIGHERO L., FADIGA L., RIZZOLATTI G. & UMLTA C., « Visuomotor priming », *Visual Cognition*, n°5(1-2), 1998, p. 109-125.
- DAMASIO A.-R., *Descartes' error : emotion, reason, and the human brain*, 2nd ed., London, Penguin Books, 2005.
- DE HAAN M., « Neurocognitive mechanisms for the development of face processing », dans C. A. NELSON & M. LUCIANA (eds.), *Handbook of Developmental Cognitive Neuroscience*, 2nd ed., Cambridge, MIT Press, 2008, p. 509-520.
- DE HAAN M. & MATHESON A., « The development and neural bases of processing emotion in faces and voices », dans M. de HAAN & M. R. GUNNAR (eds.), *Handbook of Developmental Social Neuroscience*, New York, Guilford Press, 2009, p. 107-121.
- DUPIN J., *Alberto Giacometti*, Paris, Maeght, 1962.
- FIELD T.-M., WOODSON R., COHEN D., GREENBERG R., GARCIA R. & COLLINS K., « Discrimination and Imitation of Facial Expressions by Term and Preterm Neonates », *Infant Behavior and Development*, n°6, 1983, p. 485-489.
- FIELD T.-M., WOODSON R., GREENBERG R. & COHEN D., « Discrimination and Imitation of Facial Expressions by Neonates », *Science*, n°218 (4568), 1982, p. 179-181.
- FUSTER J.-M., *The prefrontal cortex*, 4th, repr. ed., Amsterdam, Elsevier Academic Press, 2008.
- GANEL T. & GOSHEN-GOTTSTEIN Y., « Effects of familiarity on the perceptual integrality of the identity and expression of faces: The parallel-route hypothesis revisited », *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, n°30(3), 2004, p. 583-597.
- GANEL T., VALYEAR K.-F., GOSHEN-GOTTSTEIN Y., & GOODALE M.-A., « The involvement of the "fusiform face area" in processing facial expression », *Neuropsychologia*, n°43(11), 2005, p. 1645-1654.

- GARNER W.-R., *The processing of information and structure*, Potomac, L. Erlbaum, 1974.
- GARNER W.-R., « Interaction of Stimulus Dimensions in Concept and Choice Processes », *Cognitive Psychology*, n° 8(1), 1976, p. 98-123.
- GENET J., *L'atelier d'Alberto Giacometti avec 33 photographies d'Ernest Scheidegger*, Paris, L'Arbalète, 1963.
- GERSTADT C.-L., HONG Y.-J. & DIAMOND A., « The relationship between cognition and action: performance of children 3½-7 years old on a Stroop-like day-night test », *Cognition*, n° 53(2), 1994, p. 129-153.
- GREENFIELD P.-M., NELSON K., & SALLZMAN E., « The development of rulebound strategies for manipulating seriated cups: A parallel between action and grammar », *Cognitive Psychology*, n° 3, 1972, p. 291-310.
- HALVERSON H.-M., « An experimental study of prehension in infants by means of systematic cinema records », *Genetic Psychology Monographs*, n° 10, 1931, p. 107-286.
- HOFSTEN C.-V., « Eye-hand coordination in newborns », *Developmental Psychology*, n° 18, 1982, p. 450-461.
- HOFSTEN C. V., « A Perception-Action perspective on the development of manual movements », dans M. JEANNEROD (ed.), *Attention and Performance*, Hillsdale, Erlbaum, 1990, vol. XIII, p. 739-762.
- HOHL R., *Alberto Giacometti*, Lausanne, Guilde du Livre, 1971.
- JOHNSON M.-H., « Subcortical face processing », *Nature Reviews Neuroscience*, n°6(10), 2005, p. 766-774.
- KAHANA-KALMAN R., & WALKER-ANDREWS A.-S., « The role of person familiarity in young infants' perception of emotional expressions », *Child Development*, n° 72(2), 2001, p. 352-369.
- LORD J., *Un portrait par Giacometti*, trad. fr. de P. Leyris, Paris, Éditions Mazarine, 1981.
- MARATOS O., *The origin and development of imitation in the first six months of life*, Université de Genève, Genève, 1973.
- MARATOS O., « Trends in development of imitation in early infancy », dans T.-G. BEVER (ed.), *Regressions in mental development: basic phenomena and theoretical alternatives*, Hillsdale, Erlbaum, 1982.
- MELTZOFF A.-N. & MOORE M.-K., « Imitation of Facial and Manual Gestures by Human Neonates », *Science*, n° 198(4312), 1977, p. 75-78.
- MISHKIN M. & UNGERLEIDER L.-G., « Contribution of striate inputs to the visuospatial functions of parieto-preoccipital cortex in monkeys », *Behav Brain Res*, n° 6(1), 1982, p. 57-77.
- MONDLOCH C.-J., GELDART S., MAURER D. & LE GRAND R. (2003), « Developmental changes in face processing skills », *Journal of Experimental Child Psychology*, n° 86(1), p. 67-84.
- MORTON J. & JOHNSON M.-H., « Conspic and conlern: A two-process theory of infant face recognition », *Psychological Review*, n°98, 1991, p. 164-181.
- MOUNOUD P., *Structuration de l'instrument chez l'enfant*, Neuchatel, Delachaux et Niestlé, 1970.

- MOUNOUD P., *Sketch on Piaget (1896-1980)*, dans B. HOPKINS (ed.), *The Cambridge Encyclopaedia of Child Development*, Cambridge (UK), University Press, 2005, p. 522-523.
- MOUNOUD P., DUSCHER K., MOY G. & PERRAUDIN S., « The influence of action perception on object recognition: a developmental study », *Developmental Science*, n° 10(6), 2007, p. 836-852.
- PASCALIS O., KELLY D.-J. & SCHWARZER G., « Neural bases of the development of face processing », dans M. de HAAN & M. R. GUNNAR (eds.), *Handbook of Developmental Social Neuroscience*, New York, Guilford Press, 2009, p. 63-85.
- PERRAUDIN S. & MOUNOUD P., « Contribution of the priming paradigm to the understanding of the conceptual developmental shift from 5 to 9 years of age », *Developmental Science*, n° 12(6), 2009, p. 956-977.
- PIAGET J., *La construction du réel chez l'enfant*, Neuchâtel, Delachaux et Niestlé, 1937.
- PIAGET J., *La formation du symbole chez l'enfant : imitation, jeu et rêve, image et représentation*, 1^{re} ed., Neuchâtel, Paris, Delachaux et Niestlé, 1945.
- PIAGET J. & SZEMINSKA A., *La genèse du nombre chez l'enfant*, 1^{re} éd., Neuchâtel, Paris, Delachaux et Niestlé, 1941.
- SCHWARZER G., « Processing of facial and non-facial visual stimuli in 2-5-year-old children », *Infant and Child Development*, n° 11(3), 2002, p. 253-269.
- SCHWARZER G., ZAUNER N. & JOVANOVIĆ B., « Evidence of a shift from featural to configural face processing in infancy », *Developmental Science*, n° 10(4), 2007, p. 452-463.
- SCHWEINBERGER S.-R., BURTON A.-M. & KELLY S.-W., « Asymmetric dependencies in perceiving identity and emotion: Experiments with morphed faces », *Perception & Psychophysics*, n° 61(6), 1999, p. 1102-1115.
- SCHWEINBERGER S.-R. & SOUKUP G.-R., « Asymmetric relationships among perceptions of facial identity, emotion, and facial speech », *Journal of Experimental Psychology : Human Perception and Performance*, n° 24(6), 1998, p. 1748-1765.
- SHALLICE T., « Precis of From neuropsychology to mental structure », *Behavioral and Brain Sciences*, n° 14, 1991, p. 429-438.
- TANAKA J., KAY J., GRINNELL E., STANSFIELD B. & SZECHTER L., « Face recognition in young children: When the whole is greater than the sum of its parts », *Visual Cognition*, n° 5(4), 1998, p. 479-496.
- VINTER A., *Imitation et représentation durant les premiers mois de la vie*, Thèse de Doctorat, Université de Genève, Faculté de Psychologie et des Sciences de l'Éducation, 1983.
- VINTER A., *L'imitation chez le nouveau-né*, Paris, Delachaux et Niestlé, 1985.
- VUILLEUMIER P., ARMONY J.-L., DRIVER J. & DOLAN R.-J., « Distinct spatial frequency sensitivities for processing faces and emotional expressions », *Nature Neuroscience*, n° 6(6), 2003, p. 624-631.
- VUILLEUMIER P. & POURTOIS G., « Distributed and interactive brain mechanisms during emotion face perception: evidence from functional neuroimaging », *Neuropsychologia*, n° 45(1), 2007, p. 174-194.

- WINSTON J.-S., HENSON R.-N., FINE-GOULDEN M.-R. & DOLAN R.-J., « fMRI-adaptation reveals dissociable neural representations of identity and expression in face perception », *Journal of Neurophysiology*, n° 92(3), 2004, p. 1830-1839.
- ZELAZO P.-D., FRYE D. & RAPTUS T., « An age-related dissociation between knowing rules and using them », *Cognitive Development*, n° 11, 1996, p. 37-63.