

Perception visuelle des mouvements humains : anticipation motrice et anticipation perceptive

Arnaud Louis-Dam

Doctorant allocataire

Thèmes de recherche :
*planification et contrôle des mouvements
d'atteinte de cibles ;
anticipation motrice et perceptive.*

Sonia Kandel

Maître de conférences en psycho-linguistique

Thèmes de recherche :
*production de séquences graphiques ;
perception du langage écrit et parlé.*

Jean-Pierre Orliaguet

*Professeur de psychologie cognitive
Responsable du groupe de recherche
« Perception et action »*

Thèmes de recherche :
*planification et contrôle des mouvements ;
coordinations intersensorielles
vision-proprioception ;
perception des mouvements humains.*

Lab. de psychologie expérimentale. UMR CNRS
Université Pierre Mendès France
F - 38040 Grenoble Cedex
jean-pierre.orliaguet@upmf-grenoble.fr

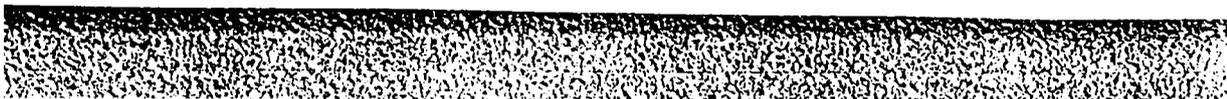
ABSTRACT

A striking characteristic of the human motor system is the ability to produce motor sequences in a smooth and continuous way, without any pause between successive movements. This indicates that the motor system anticipates the programming of the forthcoming components of the sequence during the production of the movement. This motor anticipation entails spatio-temporal modifications, i.e. changes in trajectory and movement time. The aim of this article is to show that the visual system

can exploit these spatio-temporal fluctuations to predict the identity of the following motor sequence. Several studies suggest that perceptual anticipation cannot only rely on visual learning but also depends, at least to some extent, on the perceiver's motor competences.

Introduction

Depuis les premiers travaux de Johansson (1950), la perception des mouvements humains a fait l'objet de très nombreuses recherches. La



technique la plus utilisée a consisté à placer sur le corps d'un sujet des cibles lumineuses au niveau de chaque articulation (épaule, hanche, genou, pied...) et à filmer ensuite, dans l'obscurité complète, la production de différents types de mouvements (danse, locomotion, manipulation d'objets). La tâche consistait à faire identifier la nature des mouvements représentés par l'ensemble des points lumineux. Lorsque les points sont présentés statiquement, l'identification est impossible. En revanche, il suffit de quelques images en mouvement, ceci pendant quelques centaines de milli-secondes, pour que les sujets reconnaissent très rapidement qu'il s'agit d'un mouvement humain (Johansson, 1973). Cette sensibilité générale au mouvement humain est très précoce : elle apparaît dès l'âge de cinq mois (Bertenthal, Proffitt, Kramer et Spetner, 1987). Elle est relativement fine : le mouvement des points lumineux permet l'identification du sexe de la personne (Kozlowski et Cutting, 1978), la reconnaissance de personnes familières et de soi-même (Cutting et Kozlowski, 1977). La perception du mouvement rend également possible l'identification des objets et l'extraction de leurs propriétés, le poids par exemple (Runeson et Frykholm, 1981). Ces capacités d'identification ne sont pas limitées aux mouvements humains : on observe des résultats similaires lorsque les films présentent des mouvements effectués par un animal (Mather et West, 1993).

Plusieurs explications basées sur une analyse de la structure des stimuli ont été avancées pour rendre compte de ces résultats. La vitesse relative commune des points (Johansson, 1973), l'information géométrique donnée par les éléments les plus centraux (Cutting et Proffitt, 1981), la rigidité des connexions entre les points (Bertenthal et Pinto, 1993) ont été considérées comme jouant un rôle essentiel dans la reconnaissance des mouvements humains.

Toutefois, d'autres données montrent que les explications centrées sur l'influence des propriétés du stimulus ne rendent compte qu'en partie des processus à l'œuvre dans la perception des mouvements humains. En effet, une recherche réalisée par Beardworth et Bukner (1981) suggère que la perception des mouvements humains pourrait dépendre au moins en partie d'une connaissance implicite que les sujets ont des règles de fonctionnement de leurs propres mouvements. La technique était similaire à celle décrite précédemment (Johansson, 1973). Elle a consisté à enregistrer plusieurs personnes en train de marcher. Ces personnes avaient la particularité de

vivre ensemble et donc de bien se connaître. Les résultats montrent qu'on reconnaît plus facilement sa propre démarche que celle de personnes familières. L'identification des mouvements humains ne relève donc pas uniquement d'un apprentissage visuel mais dépend au moins en partie de l'expérience motrice des sujets. Des recherches plus récentes sont venues confirmer et préciser les liens existant entre perception visuelle et motricité. Elles montrent par exemple que la perception de la forme des trajectoires des mouvements implique notamment un accès aux règles cinématiques de production motrice.

Accès aux règles de production motrice

Une des règles très connue décrivant les productions motrices concerne les liens existant entre la vitesse du mouvement et la courbure de sa trajectoire. Par exemple, lors de la production d'une ellipse, la vitesse a tendance à augmenter lorsque la courbure diminue et à réduire quand celle-ci augmente (loi de puissance deux-tiers : Lacquaniti, Terzuolo et Viviani, 1983). Une expérience (Viviani et Stucchi, 1992) a consisté à présenter sur un écran un spot lumineux, décrivant une trajectoire ellipsoïdale selon un profil de vitesse conforme à la loi de puissance deux-tiers. La trajectoire du mouvement était ensuite progressivement modifiée de telle manière à ce qu'elle devienne un cercle. Le profil de vitesse restait inchangé, c'est-à-dire correspondait à celui de la production d'une ellipse. On constate que les sujets ont tendance non pas à percevoir un cercle mais une ellipse, alors que celui-ci est parfaitement perçu comme tel lors d'une présentation statique. Quand la forme de la trajectoire et son profil de vitesse ne respectent pas les lois du mouvement humain, on observe des phénomènes d'illusions perceptives. La cinématique du mouvement a donc une influence directe sur l'identification des formes. Des résultats similaires ont été obtenus lors de la présentation d'un mouvement aléatoire (gribouillis) ou d'une action significative (lancer de boule). Si le stimulus ne respecte pas les règles de covariation forme-vitesse, les sujets sont capables, sans pouvoir l'expliquer, de percevoir l'inadéquation entre le profil de vitesse et une trajectoire donnée et modifient progressivement ce profil de vitesse pour qu'il soit conforme à la loi de puissance deux-tiers. Ceci montre que des connaissances implicites sur les règles de production motrice pourraient servir de cadre de référence ou de médiateur dans le traitement perceptif de

la forme des trajectoires. Il est intéressant de noter que les mêmes phénomènes apparaissent lorsque la présentation des trajectoires des mouvements se fait dans la modalité proprioceptive (Viviani, Baud-Bovy et Redolfi, 1997). L'expérience consistait à déplacer le bras du sujet selon une trajectoire ellipsoïdale et à lui demander notamment de reproduire ce mouvement avec le bras contralatéral. Lorsque la vitesse de déplacement du bras respecte la règle de covariation vitesse-courbure, les performances sont correctes. En revanche, la forme de la trajectoire est très déformée lorsque la règle n'est pas respectée, par exemple lorsque la vitesse reste constante ou quand on inverse les vitesses. Ce résultat montre que les liens entre perception et motricité ne dépendent pas de la spécificité des caractéristiques fonctionnelles de chaque modalité sensorielle. L'existence d'un système amodal de convergence des entrées perceptives pourrait être à l'origine des relations existant entre perception et action (Viviani *et al.*, 1997 ; Prinz, 1990).

Plusieurs données montrent que ces relations perception-action, mises en évidence lors de la perception de stimuli dynamiques, apparaissent également lors de la perception de traces graphiques laissées par le mouvement. L'identification du tracé pourrait dépendre en partie de l'accès à la « grammaire de l'action », c'est-à-dire aux informations spatiales renseignant sur la façon dont la séquence graphique a été réalisée.

Accès à la « grammaire de l'action »

De nombreuses données indiquent qu'il est possible d'identifier la façon dont a été produit un dessin en utilisant des indices spatiaux contenus dans la trace graphique. Une expérience réalisée par Babcock et Freyd (1988) a consisté à présenter différents dessins sans signification correspondant à des séquences de traits différemment agencés. On constate que les sujets sont capables de détecter l'ordre dans lequel ont été réalisés les traits et le sens de production d'un même trait, ceci en utilisant les déformations spécifiques de chaque tracé (chevauchement de traits, pleins et déliés). Une connaissance des règles de production graphique permet donc de décoder les distorsions spatiales contenues dans les tracés.

Cette capacité à déchiffrer le « mouvement » présent dans les traces graphiques est utilisé dans l'identification de figures significatives, notamment lors de la perception et la reconnaissance des idéogrammes chinois (Florès d'Arcais, 1994). Les idéogrammes sont composés de différents traits,

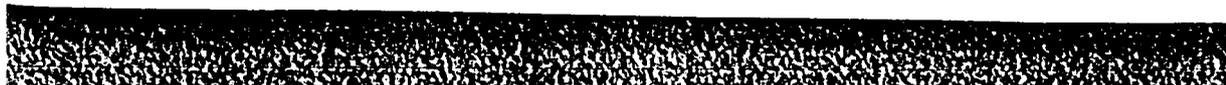
écrits dans un ordre et un sens déterminés, faisant l'objet d'un apprentissage très codifié. L'ordre et le sens dans lequel ont été produits les premiers traits constituent des indices perceptifs très efficaces pour un accès rapide à la signification des idéogrammes. Si l'on modifie l'ordre dans lequel ont été réalisés les premiers traits, ceci sans changer la forme de l'idéogramme, on observe une augmentation des temps d'identification. Par ailleurs, on peut observer chez l'enfant en phase d'apprentissage de la lecture et chez l'adulte se trouvant devant un idéogramme peu familier une tendance à mimer la séquence motrice correspondant à l'agencement des traits de l'idéogramme. Tout se passe comme si l'identification d'un idéogramme était associée au schéma moteur ayant servi à sa production. Selon Florès d'Arcais, la lecture d'un idéogramme implique évidemment la reconnaissance de la forme mais également la façon dont cette forme a été réalisée.

Les impressions de mouvement, données par certains dessins ou peintures, pourraient également s'expliquer par une récupération perceptuelle des règles de production motrice (Freyd, 1993). Dans une analyse consacrée au dessin, et en particulier à l'œuvre de Delacroix, Huyghe (1961) spécialiste d'arts plastiques, considère que le « graphisme joue le rôle de la courbe révélatrice d'un dynamomètre, d'un encéphalogramme... » et que l'artiste ne peut donner une sensation de mouvement au dessin que si le geste graphique a lui-même été réalisé très rapidement.

Cet ensemble d'observations met donc à nouveau en évidence les liens fonctionnels existant entre perception et action dans la reconnaissance des mouvements humains. Les résultats obtenus dans le domaine de l'anticipation perceptuelle vont dans le même sens. Ils montrent que le système visuel peut utiliser l'information spatio-temporelle pour prédire l'identité de mouvements non encore réalisés.

Anticipation motrice et anticipation perceptuelle

Une des caractéristiques du système moteur est de pouvoir produire des séquences motrices complexes et de longue durée (écriture, parole), tout en préservant la continuité et la fluidité des mouvements. Par exemple, lors de l'écriture d'un mot ou d'une phrase, le profil de vitesse présente une succession d'accélération et de décélération, non entrecoupées de pauses et passant rarement par la vitesse nulle. La préparation motrice des séquences de lettres peut être réalisée pendant le



mouvement sans en altérer la régularité. Ceci implique préconnaissance des contraintes motrices et l'existence d'anticipations motrices intervenant périodiquement en cours de mouvement. Ceci se traduit notamment par des modifications touchant la cinématique du mouvement. Par exemple, l'atteinte et la saisie d'un même objet sont réalisées plus rapidement lorsque cette saisie est destinée à jeter l'objet plutôt qu'à le poser (Marteniuk *et al.*, 1987). On observe les mêmes effets lorsque la saisie a pour but de déplacer l'objet sur une petite ou une grande cible (Rand *et al.*, 1997). Les contraintes pesant sur le deuxième mouvement sont donc anticipées pendant la réalisation de la saisie. Le même phénomène est observé lors des mouvements continus. La forme et la durée d'une même lettre sont affectées par la forme et la taille des lettres suivantes (Thomassen et Schomaker, 1986). Les recherches présentées ci-dessous sont destinées à montrer, d'une part, que les informations contenues dans ces gestes anticipateurs peuvent être utilisées par le système visuel pour prédire l'identité des mouvements suivants et, d'autre part, à mettre en évidence que cette capacité dépend en partie, comme nous l'avons vu précédemment, des compétences motrices des sujets.

Mouvements de saisie

Une première expérience (Louis-Dam, Orliaguet et Coello, 2000) a consisté à filmer la réalisation de différentes séquences motrices produites par un même sujet (figure 1a). Celui-ci devait saisir un objet (cylindre de 6 cm de diamètre) pour aller le déposer sur des cibles de tailles différentes (7 cm, 9 cm ou 12 cm), toutes situées à la même distance de l'objet. L'analyse cinématique des mouvements de saisie met en évidence les effets d'anticipation décrits ci-dessus : la durée de la saisie augmente en fonction de la diminution de la taille de la cible sur laquelle doit être déplacé l'objet, c'est-à-dire en fonction de la difficulté du deuxième mouvement (loi de Fitts). Dans un deuxième mouvement, le film était découpé de façon à ne laisser apparaître sur l'écran que le mouvement de saisie (figure 1b).

On voyait la main en position de départ, puis le mouvement de saisie. L'image s'arrêtait au moment où le pouce et l'index entraient en contact avec l'objet. On expliquait au sujet que la saisie d'objet, apparaissant sur l'écran, correspondait à la première composante d'une séquence motrice consistant à transporter l'objet vers trois cibles de tailles différentes. Le sujet devait, à partir des

informations contenues dans la saisie, prédire la taille de la cible sur laquelle était déposée l'objet. Les résultats montrent que le pourcentage moyen de bonnes réponses (62%) est très nettement au-dessus du hasard : les sujets peuvent utiliser les indices visuels d'anticipation motrice pour prédire l'identité des mouvements suivants (figure 1c). Une expérience complémentaire indique que cette anticipation perceptive s'appuie essentiellement sur la cinématique du mouvement balistique de la main et non pas sur les informations données par la régulation temporelle de la pince digitale à l'approche de l'objet. En effet, lorsqu'on ne présente que le mouvement balistique du poignet, matérialisé par le seul déplacement d'une pastille lumineuse (technique de Johansson), les capacités d'anticipation perceptive restent intactes.

Il est intéressant de noter que ces capacités d'anticipation perceptive sont encore plus efficaces lorsque les séquences motrices font intervenir des objets usuels, ou impliquent des actions ayant une finalité fonctionnelle significative (Louis-Dam *et al.*, 2000). En effet, il suffit de remplacer l'objet cylindrique par un verre de même taille pour observer une augmentation significative de bonnes réponses (71%). Ce pourcentage augmente encore (82%) si la saisie du verre est suivie d'actions se différenciant du point de vue de leur finalité fonctionnelle, par exemple lorsque la saisie est suivie de l'action de boire, changer le verre de position ou jeter le verre dans une boîte (figure 1c). Les différences cinématiques contenues dans le mouvement de saisie sont donc mieux utilisées lorsque l'action motrice et l'objet manipulé peuvent être intégrés dans un cadre moteur sémantiquement identifiable. Ceci pourrait faciliter l'activation des connaissances que le sujet a de son propre fonctionnement moteur ou permettre plus facilement l'évocation motrice des gestes perçus sur l'écran. Selon la familiarité de la situation, deux voies différentes pourraient être sollicitées (Rothi, Ochipa et Heilman, 1991), l'une sémantique, reposant sur des représentations d'actions connues, l'autre non sémantique, s'appuyant uniquement sur un traitement spatio-temporel des mouvements. L'analyse de l'activité cérébrale (Decety *et al.*, 1997) montre effectivement que des réseaux neuronaux différents sont activés selon le contenu de l'action observée. Les actions sémantiquement identifiables sollicitent essentiellement les régions temporales et frontales de l'hémisphère gauche, alors que les actions non significatives engagent principalement les régions occipito-temporales de l'hémisphère droit.

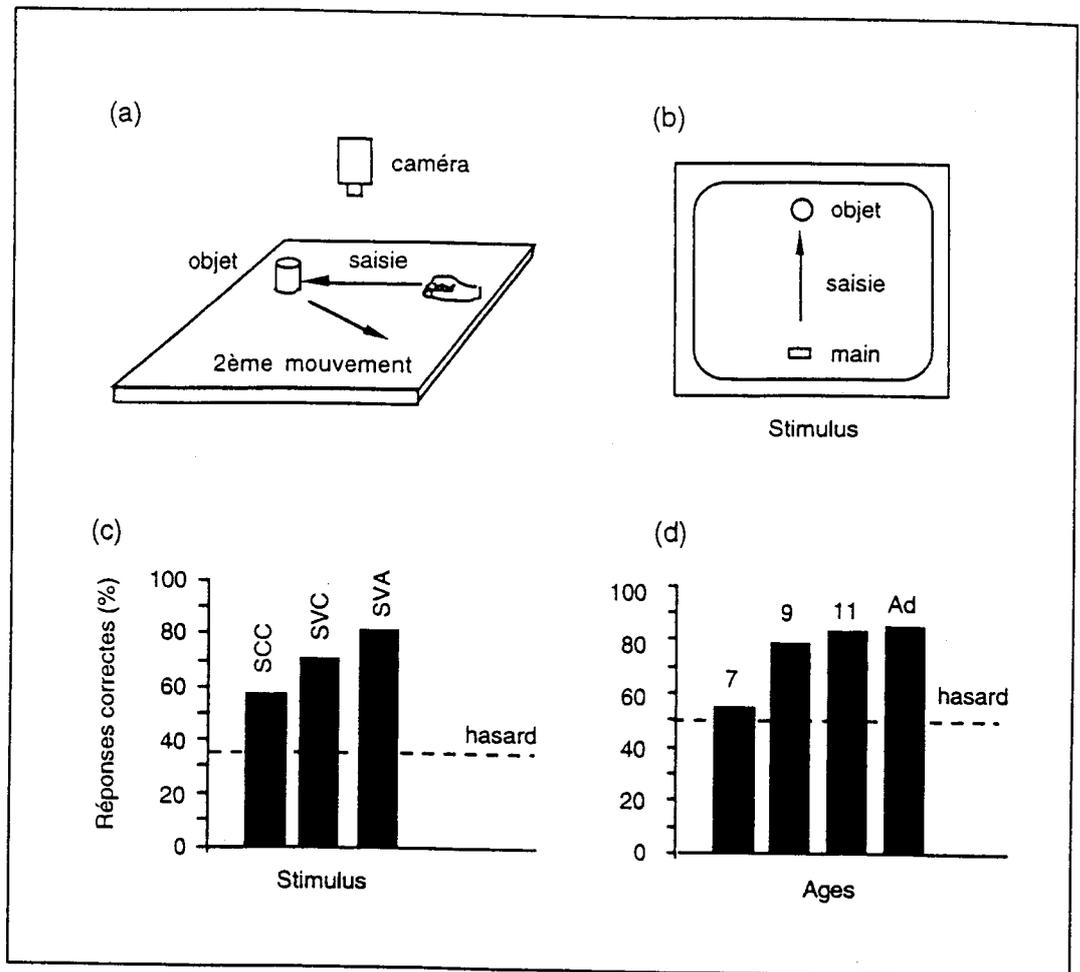


Figure 1 - Perception des mouvements de saisie : (a) enregistrement des séquences motrices : saisir un cylindre (SCC) ou un verre (SVC) pour le déplacer sur des cibles de tailles différentes ; saisir le verre pour exécuter trois actions différentes (SVA) : jeter, boire, déplacer) ; (b) présentation du mouvement de saisie : le film s'arrête au moment où la main entre en contact avec l'objet ; (c) pourcentage moyen de bonnes réponses en fonction du stimulus (SCC, SVC ou SVA) ; (d) condition SVA : pourcentage moyen de bonnes réponses en fonction de l'âge. Seuls les stimuli « saisie pour jeter » et « saisie pour déplacer » étaient présentés.

Les résultats obtenus chez l'enfant montrent que ces capacités d'anticipation motrice ne sont pas indépendantes du niveau de compétence motrice. Des enfants âgés de sept, neuf et onze ans et un groupe contrôle d'adultes devaient prédire si la saisie présentée sur l'écran précédait l'action de jeter ou celle de poser. Chez les enfants de sept ans, le pourcentage moyen de réponses correctes (54%) n'est pas différent du hasard. Pour les deux autres classes d'âges (neuf et onze ans), on observe une augmentation très significative du pourcentage de bonnes réponses (respectivement 82% et 84%), atteignant les performances observées chez

l'adulte (85%). Le développement des capacités d'anticipation perceptive semble donc suivre la même évolution que la planification et le contrôle du mouvement. Les performances deviennent significatives à partir de neuf ans, c'est-à-dire au moment où la planification et le contrôle du mouvement prennent une forme proche de celle observée chez l'adulte (Hay, 1984).

L'examen récent d'un patient handicapé moteur (Orliaguet, Louis-Dam et Laloua, 2000) est venu confirmer plus directement les liens pouvant exister entre les compétences motrices et la perception des mouvements humains. Il s'agissait

d'un sujet cérébrolésé présentant une hémiplégie droite et des difficultés de coordination motrice à gauche. Les performances aux épreuves d'anticipation perceptive mettent en évidence des différences intéressantes selon la nature des stimuli visuels présentés. Lorsqu'il doit prédire l'action (jeter, boire, déplacer) succédant à la saisie du verre, les résultats ne sont pas différents du hasard. Cette tâche lui apparaît très difficile. Interrogé sur les raisons de cette difficulté, il signale « qu'il ne peut pas donner la bonne réponse car il ne sait plus réaliser les mouvements qu'on lui montre ». En revanche, lorsque le mouvement perçu sur l'écran correspond à la saisie du cylindre, il est capable de prédire sans difficulté la taille de la cible sur laquelle va être déplacé l'objet. Il trouve la tâche très facile et se justifie en comparant les différences de vitesse des saisies aux ralentissements auxquels est soumis une voiture avant d'emprunter un passage plus ou moins étroit. On voit donc à partir de cet exemple clinique que dans les situations motrices familières, la perte des capacités motrices a un effet direct sur les capacités d'anticipation perceptive.

Mouvements d'écriture

Comme pour les séquences motrices impliquant des mouvements de saisie, les productions de séquences de lettres en écriture cursive font également apparaître des phénomènes d'anticipation motrice (Orliaguet, Kandel et Boë, 1997). Par exemple, l'écriture cursive d'une première lettre (l) est modifiée en fonction des contraintes spatiales de la lettre suivante (ll, le, ln). Ceci se traduit notamment par des changements de forme touchant l'inclinaison et la largeur de la boucle du « l » et par des modifications cinématiques affectant l'allure du profil de vitesse et la durée des différentes phases du mouvement.

L'expérience d'anticipation perceptive (Orliaguet *et al.*, 1997) a consisté à présenter sur un écran d'ordinateur trois « l » appartenant aux couples de lettres « ll », « le » ou « ln » (figure 2, a et b). Les stimuli reproduisaient les modifications spatiales et/ou temporelles liées aux effets de contexte inter-lettres. Les « l » étaient présentés dans trois conditions différentes d'information perceptive : le stimulus contenait des informations uniquement sur la forme du « l » (différences d'inclinaison et de la taille de la boucle) ou uniquement sur le mouvement du « l » (différences cinématiques mais la forme restait identique), ou des informations à la fois sur la forme et le mouvement du « l ».

Les sujets devaient prédire à quel couple de lettres (« ll », « le » ou « ln ») appartenait chaque « l ».

Lorsque les sujets disposent d'informations concernant les modifications de forme du « l », le pourcentage de bonnes réponses n'est pas différent du hasard (figure 2c). Les informations spatiales contenues dans le « l » sont consciemment perçues par les sujets, mais ne permettent pas la prédiction de l'identité de la lettre suivante. En revanche, la présence d'informations cinématiques permet d'augmenter très significativement le pourcentage de bonnes réponses : celui-ci est de 68% dans la condition « mouvement » et de 78% dans la condition « forme + mouvement ». Ce taux de prédiction n'est pas le résultat d'un apprentissage réalisé en cours d'expérience : il apparaît dès les premiers essais. Il faut noter également que les sujets, contrairement à ce que l'on observait pour les informations de forme, ne perçoivent pas consciemment les différences cinématiques et affirment répondre au hasard.

Plusieurs autres expériences (Kandel, Orliaguet et Viviani, 2000) montrent que cette anticipation perceptive ne s'appuie pas uniquement sur les différences de durée mais plutôt sur l'organisation générale du profil de vitesse. En effet, lorsqu'on normalise les durées du « l », on n'observe pas de chute importante du pourcentage de bonnes réponses. En revanche, les performances se détériorent progressivement lorsqu'on modifie le profil de vitesse de manière à ce qu'il s'éloigne de la règle de covariation courbure-vitesse. L'organisation générale du mouvement, et en particulier la régulation temporelle des phases d'accélération et de décélération, semble donc jouer un rôle décisif dans l'anticipation perceptive du mouvement.

Comme pour les mouvements de saisie, les expériences ont été également réalisées auprès d'enfants âgés de sept, neuf et onze ans. On leur présentait les deux « l » appartenant aux séquences « ll » et « ln », ceci uniquement dans la condition « forme + mouvement ». Les enfants, en regardant la trace dynamique du « l », devaient alors prédire l'identité de la deuxième lettre (« l » ou « n »). Les pourcentages moyens de bonnes réponses (figure 2d) ne sont pas différents du hasard chez les enfants de sept ans (44%) et de neuf ans (45%). À onze ans, on observe une augmentation significative des performances (69%), celles-ci restant toutefois inférieures à celles produites par le groupe d'adultes (82%). Pour les mouvements d'écriture, les capacités d'anticipation perceptive se mettent en place plus tardivement

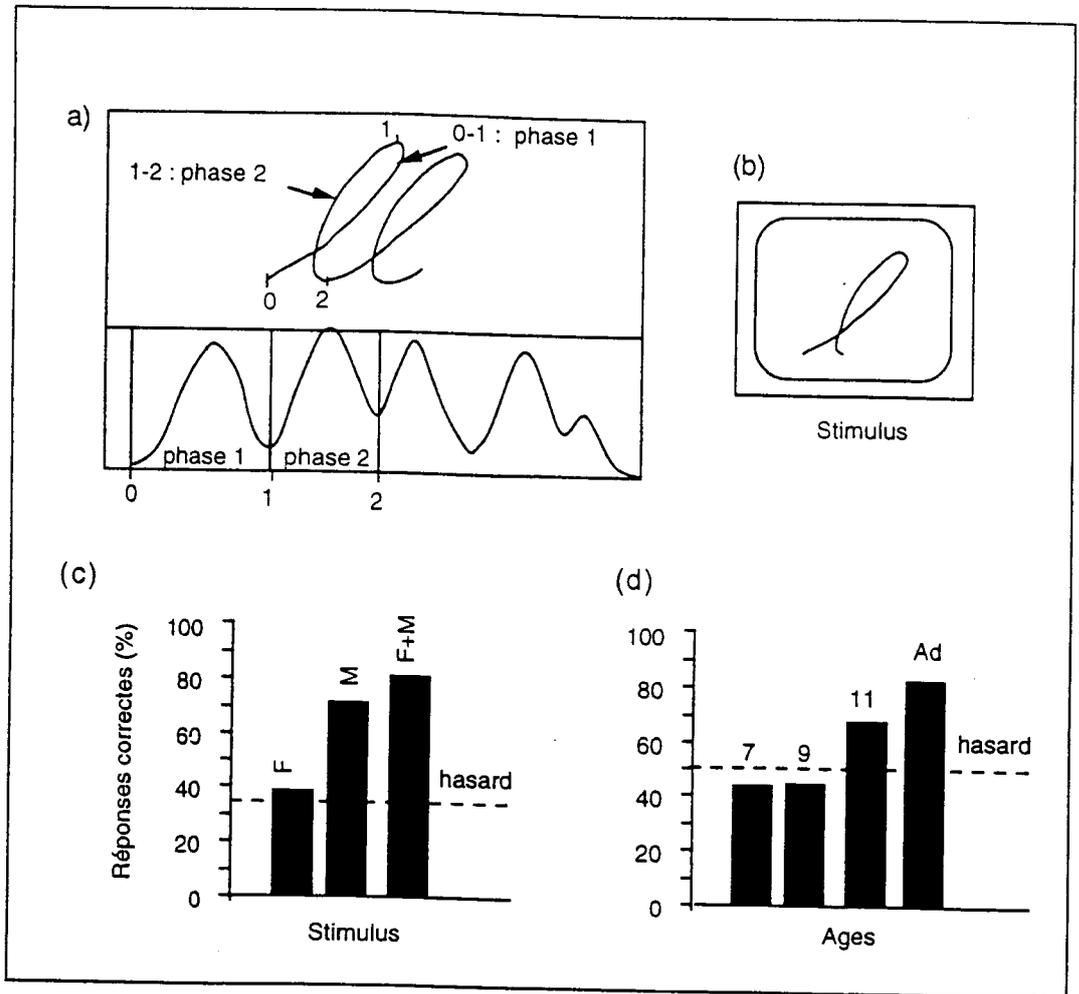


Figure 2 - Perception des mouvements d'écriture : (a) enregistrement des séquences motrices (ll, le et ln). L'exemple de « ll » : trace graphique et profil de vitesse ; (b) présentation du stimulus : le « l » est coupé à l'endroit où la courbure de la 2ème phase est maximale et la vitesse minimale. Le stimulus contient des informations sur la forme (F), sur le mouvement (M) ou sur la forme et le mouvement (F+M) ; (c) pourcentages moyens de bonnes réponses en fonction du stimulus (F, M ou M+F) ; (d) pourcentage moyen de bonnes réponses en fonction de l'âge. Seuls les « l » de « ll » et de « ln » étaient présentés.

(onze ans) que pour les mouvements de saisie, ceci sans atteindre celles obtenues par l'adulte. Toutefois, les progrès les plus significatifs apparaissent quand, sur le plan moteur, les coordinations graphiques commencent à ressembler à celles de l'adulte (Meulenbroek et Van Galen, 1988 ; Zesiger, 1995).

Il est intéressant de noter que des résultats similaires ont été observés en lecture et en parole.

La dyslexie est très souvent associée à l'existence de troubles moteurs (Felmington et Jakobson, 1995). Par ailleurs, une expérience récente (Desjardins, Rogers et Werker, 1997) montre que la perception de la parole est influencée par le niveau articulaire. Les enfants ayant des difficultés d'articulation (*i.e.* confusion d/b) ont une lecture labiale plus difficile que les enfants ne présentant pas de trouble articulaire.

Conclusion

L'ensemble des données montre que le système visuel est capable d'accéder aux règles de production des mouvements humains avec une très grande efficacité. Dans les domaines présentés, les informations temporelles, et plus particulièrement l'organisation cinématique du mouvement, semblent jouer un rôle décisif. Ces informations sont à l'origine de l'identification des mouvements mais également de la prédiction des gestes à venir.

Ces capacités ne relèvent pas uniquement de l'expérience visuelle mais dépendent, au moins en partie, des compétences motrices du sujet. La perception des mouvements humains pourrait donc nécessiter l'accompagnement d'une action motrice intériorisée similaire à l'action perçue (Jeannerod, 1999), l'équivalent de ce que Wallon (1973) appelait déjà une imprégnation perceptivo-motrice. Ceci pourrait impliquer l'existence d'un module fonctionnel commun à la perception et à l'action (Prinz, 1990).

Les données issues de la neurologie ont permis de mettre en évidence l'existence de structures nerveuses impliquées à la fois lors de la production et la perception du mouvement. Les expériences d'électrophysiologie effectuées chez le singe (Di Pellegrino *et al.*, 1992) montrent que certains neurones (appelés neurones miroirs), situés dans la partie inférieure du cortex prémoteur, sont actifs lorsque le singe saisit un objet mais également lorsqu'il regarde l'expérimentateur en train de saisir ce même objet. Des résultats similaires ont été obtenus chez l'homme en utilisant des techniques d'imagerie cérébrale. Rassemblant les données obtenues lors de plusieurs recherches, Jeannerod (1999) montre que les actions simulées mentalement, réalisées ou observées, font intervenir un réseau neuronal commun dans lequel on retrouve le pariétal inférieur, l'aire prémotrice ventrale et une partie de l'aire motrice supplémentaire. Ces structures nerveuses pourraient constituer la base neurologique des représentations nécessaires à la production, à la simulation et à la perception des actions motrices.

L'idée du couplage entre perception et action a trouvé une application récente dans le domaine de la reconnaissance automatique des formes graphiques, et en particulier dans celui de la reconnaissance de l'écriture cursive (Wada *et al.*, 1995). Celle-ci est confrontée à plusieurs problèmes majeurs. Le premier concerne la variabilité interindividuelle mais également intra-individuelle de la forme des lettres : chez un même

sujet, la forme d'une même lettre change en fonction de la place qu'elle occupe dans le mot (début, fin), de la lettre qui suit ou qui précède. Le second problème concerne la segmentation des lettres : la limite séparant deux lettres est souvent très difficile à établir. De ce fait, un système de reconnaissance automatique basée sur une définition géométrique point par point de la forme des lettres s'avère très coûteuse et dans l'ensemble peu performante. Une des solutions envisagée par Wada *et al.* (1995) a été de définir la forme des lettres en associant aux critères géométriques l'application de règles de production des trajectoires graphiques (loi du minimum jerk). La lettre est ainsi définie par seulement quelques points intermédiaires, la trajectoire étant recomposée à partir des règles de production des mouvements humains. Ce système a l'avantage de réduire considérablement le nombre de points définissant la forme des lettres et permet de résoudre en partie le problème de la segmentation des lettres. En intégrant aux paramètres spatiaux des éléments relevant des règles de production des mouvements, ce système de reconnaissance constitue une application directe du couplage entre perception et action. Ce dernier résultat, associé aux données issues de la psychologie expérimentale et de la neurologie, confirme tout l'intérêt heuristique des théories motrices de la perception.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Babcock, M.K. & Freyd, J.J. (1988). The perception of dynamic information in static hand-written forms. *American Journal of Psychology*, 101, 11-130.
- Beardworth, T. & Bukner, T. (1981). The ability to recognize oneself from a video recording of one's movement without one's body. *Bulletin of the Psychonomic Society*, 18, 19-22.
- Bertenthal, B.I. & Pinto, J. (1993). Complementary processes and production of human movements. In E. Thelen & L. Smith (Eds.), *Dynamical approaches to development*. Cambridge: Bradford Books.
- Bertenthal, B.I., Proffitt, B.R., Kramer, S.J. & Spetner, N.B. (1987). Infant's encoding of kinetic displays varying in relative coherence. *Developmental Psychology*, 23, 171-178.
- Cutting, J.E. & Proffitt, D. (1981). Gait perception as an example of how we may perceive events. In R. Walk & H. Pick (Eds.), *Intersensory perception and sensory integration*. New-York: Plenum Press.

- Cutting, J.E. & Kozlowski, L.T. (1977). Recognizing friends by their walk: Gait perception without familiarity cues. *Bulletin of the Psychonomic Society*, 9, 353-356.
- Decety, J., Grèzes, J., Costes, N., Perani, D., Jeannerod, M., Procyk, E., Grassi, F. & Fazio, F. (1997). Brain activity during observation of actions: Influence of action content and subject's strategy. *Brain*, 120, 1763-1777.
- Desjardins, R., Rogers, J. & Werker, J.F. (1997). An exploration of why preschoolers perform differently than do adults in audiovisual speech perception tasks. *Journal of Experimental Child Psychology*, 66, 85-110.
- Di Pellegrino, G., Fadiga, L., Fogassi, L., Gallese, V. & Rizzolatti, G. (1992). Understanding motor events: A neurophysiological study. *Experimental Brain Research*, 91, 176-180.
- Felmingham, K.L. & Jakobson, L.S. (1995). Visual and visuo-motor performance in dyslexic children. *Experimental Brain Research*, 106, 467-474.
- Freyd, J.J. (1993). Five hunches about perceptual processes and dynamic representations. In D. Meyer & S. Kornblum (Eds.), *Attention and performance XIV: Synergies in experimental psychology, artificial intelligence, and cognitive neuroscience. A silver jubilee*. Cambridge, MA: MIT Press.
- Florès d'Arcais, G. (1994). Order of strokes writing as a cue for retrieval in reading Chinese characters. *European Journal of Cognitive Psychology*, 6, 337-355.
- Huyghe, R. (1955). *Dialogue avec le visible*. Paris: Flammarion.
- Hay, L. (1984). Discontinuity in the development of motor control in children. In W. Prinz & A.F. Sanders (Eds.), *Cognition and motor processes*. Berlin: Springer-Verlag.
- Jeannerod, M. (1999). The 25th Barlett Lecture. To act or not to act: Perspectives on the representation of actions. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 52, 1-29.
- Johansson, G. (1950). *Event perception*. Uppsala: Almqvist & Wiksell.
- Johansson, G. (1973). Visual perception of biological motion and a model for its analysis. *Perception & Psychophysics*, 14, 202-211.
- Kandel, S., Orliaguet, J-P. & Viviani, P. (2000). Perceptual anticipation in handwriting: The role of implicit motor competence. *Perception and Psychophysics*, 62, 706-716.
- Kozlowski, L.T. & Cutting, J.E. (1978). Recognizing the sex of a walker from point-lights mounted on ankles: Some second thoughts. *Perception and Psychophysics*, 23, 459.
- Lacquaniti, F., Terzuolo, C. & Viviani, P. (1983). The law relating kinematic and figural aspects of drawing movements. *Acta Psychologica*, 54, 115-130.
- Louis-Dam, Orliaguet, J-P. & Coello, Y. (2000). Visual perception of grasping movement: motor and perceptual anticipation. Submitted.
- Meulenbroek, G.G.J. & Van Galen, G.P. (1988). The acquisition of skilled handwriting: Discontinuous trends in kinematic variables. In A.M. Cooley & J.R. Beech (Eds.), *Cognition and action in skilled behavior*. Amsterdam: North-Holland.
- Marteniuk, R. G., Mac Kenzie, C.L., Jeannerod, M., Athenes, S. & Dugas, C. (1987). Constraints on human arm movement trajectories. *Canadian Journal of Psychology*, 4, 365-378.
- Mather, G. & West, S. (1993). Recognition of animal locomotion from dynamic point-light display. *Perception*, 22, 201-206.
- Orliaguet, J.P., Kandel, S. & Boë, L.J. (1997). Visual perception of cursive handwriting: Influence of spatial and kinematic information on the anticipation of forthcoming letters. *Perception*, 26, 905-912.
- Orliaguet, J-P., Louis-Dam, A. & Laloua, A. (2000). The influence of motor impairments on the perception of human movements: a single case study. Submitted.
- Prinz, W. (1990). A common coding approach to perception and action. In O. Neumann & W. Prinz (Eds.), *Relationships between perception and action*. Berlin: Springer-Verlag.
- Rand, M.K., Alberts, J.L., Stelmach, G.E. & Bloedel, J.R. (1997). The influence of movement segment difficulty on movements with two-stroke sequence. *Experimental Brain Research*, 115, 137-146.
- Rothi, L.J.G., Ochipa, C., & Heilman, K.M. (1991). A cognitive neuropsychological model of limb praxis. *Cognitive Neuropsychology*, 8, 443-458.
- Runeson, S. & Frykholm, G. (1981). Visual perception of lifted weights. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 7, 733-740.
- Thomassen, A.J.W.M. & Schomaker L.R. (1986). Between-letter context effects in handwriting trajectories. In H.S. Kao, G.P. Van Galen & R. Hoosain (Eds.), *Graphonomics: Contemporary research in handwriting*. Amsterdam: Elsevier Science Publishers.

- Viviani, P. & Stucchi, N. (1992). Motor-perceptual interactions. In E.G. Stelmach & J. Requin (Eds.), *Tutorials in motor behavior*. Amsterdam: Elsevier Science Publishers.
- Viviani, P., Baud-Bovy, G. & Redolfi, M. (1997). Perceiving and tracking kinesthetic stimuli: Further evidence of motor-perceptual interaction. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 23, 1232-1252.
- Wada, Y., Koike, Y., Vatikiotis-Bateson, E. & Kawato, M. (1995). A computational theory for movement pattern recognition based on optimal movement pattern generation. *Biological Cybernetics*, 73, 15-25.
- Wallon, H. (1973). *De l'acte à la pensée*. Paris : Flammarion.
- Zesiger, P. (1995). *Écrire : approches cognitive, neuropsychologique et développementale*. Paris : PUF.

RÉSUMÉ

Une des particularités du système moteur est de pouvoir réaliser des séquences motrices de façon continue, sans que n'apparaissent de pauses entre les différentes composantes de la séquence. Le système moteur est donc capable d'anticiper pendant le mouvement la programmation des composantes suivantes. Cette anticipation motrice se traduit par des modifications spatio-temporelles affectant notamment la trajectoire et le temps de mouvement. Le but de cet article est de montrer que le système visuel peut utiliser ces informations spatio-temporelles pour prédire l'identité des mouvements à venir. Plusieurs recherches suggèrent que cette anticipation perceptive ne relève pas uniquement d'un apprentissage visuel mais dépend en partie des compétences motrices du sujet.