

Rapport Pirstec

Perception spatiale, cognition motrice et adaptation sociale des organismes naturels et artificiels.

Atelier 13

Rapport écrit par Yann Coello & Richard Palluel et visé par les personnes présentes. Ce compte rendu fait suite à deux réunions successives :

- une réunion d'atelier Pirstec (N°13): 4 mai 2009, Maison de la Recherche, 28 rue Serpente, Paris 6^e.

Une réunion du groupe thématique « relation perception » du GDR Psychologie Ergonomique et Ergonomie Cognitive: 28 mars 2009, Nantes.

Personnes présentes à l'atelier PIRSTEC:

Richard Palluel (richard.palluel@upmf-grenoble.fr)

Alan Chauvin (Alan.C Chauvin@upmf-grenoble.fr)

Laurent Madelain (laurent.madelain@univ-lille3.fr)

Yvonne.Delevoye (yvonne.delevoye@univ-lille3.fr)

Julien Diard (julien.diard@upmf-grenoble.fr)

Philippe Gaussier (gaussier@ensea.fr)

Christophe Bourdin (christophe.bourdin@univmed.fr)

Kevin O'Regan (jkevin.oregan@gmail.com)

Thierry Pozzo (thierry.pozzo@u-bourgogne.fr)

Isabelle Milleville (millevil@ircsyn.ec-nantes.fr)

Stephane Vieilledent (stephane.vieilledent@univ-brest.fr)

Yann Coello (yann.coello@univ-lille3.fr)

En introduction, nous avons effectué un rappel de l'enjeu des ateliers de prospective PIRSTEC. Nous avons souligné la possibilité d'utiliser les rapports des ateliers thématiques pour de futurs Appels à Projets de l'ANR, mais aussi comme un moyen de recenser les populations de chercheurs travaillant sur une thématique commune ou pouvant collaborer de manière pluridisciplinaire.

Introduction et discussion sur le positionnement théorique de l'atelier:

La question essentielle porte sur les déterminants moteurs de la perception et de la cognition ainsi que sur les déterminants perceptifs et cognitifs de la motricité. Il est reconnu que les organismes s'adaptent aux contraintes environnementales par une mise en relation des fonctions perceptives, cognitives et motrices. Cette mise en relation permet d'appréhender les caractéristiques physiques des objets environnants en fonction des finalités comportementales. L'enjeu majeur au niveau scientifique porte sur la modélisation de ces relations en environnement naturel et artificiel et l'intégration des modèles développés dans plusieurs secteurs appliqués (robotique, réalité virtuelle, éducation, santé...). Dans ce contexte, la compréhension des comportements adaptés nécessite que l'on s'intéresse non pas uniquement aux propriétés des objets de l'environnement appréhendées par les systèmes sensoriels, mais également à l'impact de la finalité comportementale sur la perception des propriétés physique. L'action est ainsi au centre des processus perceptifs, des modalités d'interaction avec l'environnement et de la communication sociale. La composante motrice de la perception est inhérente à la fonction perceptive dans le sens où les capteurs sensoriels

doivent être mobilisés pour explorer l'environnement. Ainsi, la connaissance que l'on a des objets est tout autant sensorielle que motrice (perspective des contingences sensorimotrices). D'autre part, l'interaction avec le monde environnant nécessite la spécification d'un ensemble de seuils perceptifs mettant en relation la structure de l'environnement avec les capacités d'action de l'organisme. Ces seuils perceptifs se construisent à partir des capacités d'anticipation de l'organisme acquise au cours des apprentissages antérieurs et permettant à tout instant de prédire les conséquences des possibilités d'action dans un contexte donné. Cette fonction prédictive représente ainsi le mécanisme sous-jacent aux décisions comportementales. Selon cette perspective théorique, la motricité est considérée comme constitutive des connaissances que l'on a sur les objets (cognition motrice) et sur l'environnement (cognition spatiale). Par ailleurs, les mécanismes prédictifs permettent en situation de communication de fournir un cadre de référence permettant de décoder les productions motrices produites par autrui (cognition sociale) ainsi que certaines composantes du langage oral ou écrit (verbes d'action). Cette mise en relation des fonctions perceptives, cognitives et motrices s'appuie sur des réseaux neurophysiologiques mettant en relation des structures de traitement sensoriel avec des structures motrices (théorie de la simulation motrice) comprenant des neurones impliqués à la fois dans la perception et l'action (neurones miroirs).

Différents points ont été soulevés au cours des discussions. Ces points sont présentés ci-dessous. Ils représentent les centres d'intérêts scientifiques ainsi que les verrous théoriques ou technologiques qu'il reste à lever. La communauté présente reconnaît la nécessité d'aborder ces points sous l'angle de la recherche pluridisciplinaire, en alliant le fondamental au technologique et aux applications possibles.

Les défis scientifiques sur le plan fondamental :

1. Emergence des lois motrices dans les relations organismes-environnement et dans les interactions entre organismes. Il est nécessaire de s'interroger sur :

- L'émergence des lois de contrôle des actions
- Les relations entre structures morphologiques et contrôle dynamique
- L'acquisition de nouveaux comportements et le rôle de l'imitation
- L'ontogenèse du contrôle des actions et le rôle des conséquences sur les formes comportementales.
- Le rôle des interactions motrices et des séquences gestuelles dans les interactions sociales et la communication non verbale

2. Concepts d'attention spatiale et de prédiction sensorimotrice.

Le dialogue entre l'organisme et l'environnement suppose des capacités de sélection des informations pertinentes et de prédictions des conséquences des comportements possibles. Il s'agit ici de préciser :

- Les concepts d'attention, de prédiction et d'embodiment dans les relations perception-action.
- Les modèles computationnels de l'attention spatiale et de la prédiction sensorimotrice et la nature des modèles permettant de rendre compte des différentes formes de prédiction.
- Le rôle des composantes efférentes et afférentes dans la prédiction motrice.
- La nature des paramètres moteurs impliqués dans les anticipations perceptives.
- La question de la calibration versus intégration perceptivo-motrice.
- Le rôle de la conscience sensorimotrice et de l'agentivité.

3. La notion de couplage multisensoriel et de décision motrice.

Il s'agit ici de définir comment l'on doit envisager :

- l'intégration multidimensionnelle au sein d'une modalité sensorielle et l'intégration multisensorielle entre plusieurs modalités?
- La notion de perception active.
- Les relations entre motricité et intégration multidimensionnelle.
- Les mécanismes de la décision motrice.
- La sélection des informations pour l'action.
- L'influence perceptive du répertoire des productions motrices possibles.
- La modélisation de la variabilité et de la stabilité comportementale dans les relations perception-action
- La modélisation et l'implémentation neuromimétique du bruit comportemental, définir sa fonction.
- La notion de recyclage des capacités initiales, comment innover au niveau comportemental à partir des acquis antérieurs ?

4. La perception comme un objet mathématique.

Il s'agit de mieux comprendre :

- L'émergence de la stabilité comportementale, de la régularité motrice et sensorimotrice ?
- L'apprentissage des règles de production motrice et des invariants sensorimoteur, rôle de l'imitation ?
- La relation stabilité-réactivité ?
- Le rôle des structures minimales pré-existantes ?
- La notion d'architectures intégrées et sa formalisation mathématique ?

Les défis scientifiques dans l'univers de la réalité virtuelle:

1. Il s'agit de comprendre les caractéristiques d'une bonne interface ou simulateur :

- Quel design pour quel comportement ?
- Nécessité d'un rendu graphique de qualité ?
- Environnement réel versus réaliste ?
- Calibration des environnements virtuels en fonction des réponses comportementales ?
- Comment obtenir la sensation de présence et d'immersion.

2. Il s'agit d'optimiser les interfaces :

- Comment diminuer le temps de calcul (problème des latences) ?
- Comment éviter les sensations d'inconfort et de motion sickness ?
- Comment améliorer le concept de plate-forme technologique ?
- Comment prendre en compte des couplages perception-action et comment les optimiser ?
- Quel retour sensoriel pour quel comportement ?
- Quels invariants perceptifs : unimodaux, intermodaux ou amodaux ?
- Quel environnement : virtuel versus immersion versus réalité augmentée ?
- Quel point de vue : 1^{ère} personne, 3^{ème} personne ?
- Quels critères pour une validité écologique ?
- Comment garantir le transfert des acquis en environnement artificiel vers les environnements naturels

3. Il s'agit de comprendre les principes de la cognition visuelle et spatiale :

- Importance de la nature des informations sensorielles disponibles et problèmes posés par l'accommodation sur un seul plan et par la restriction du champ visuel.
- Quelle géométrie pour quelle interface ?

- Quel rôle accorder à l'exploration active sensorielle et corporelle en environnement virtuel ?
4. Il s'agit de comprendre les contraintes du contrôle sensorimoteur à distance:
- Contraintes spatiales et mécaniques inhérentes à la téléopération ?
 - Impact des réductions sensorielles et motrices, de la réduction des degrés de liberté ?
 - Nature des référentiels spatiaux ?
 - Capacité d'apprentissage de nouvelles habiletés?
5. Il s'agit de comprendre les principes de la cognition sociale:
- Gestion de l'usage collectif de l'espace ?
 - Ajustement inter-distances ?
 - Coopération et collaboration ?
 - Comment concevoir les interactions entre 2 individus et entre un individu et un avatar.
6. Il s'agit de mieux définir les secteurs d'application :
- Aide au diagnostique dans le secteur de la santé.
 - Aide à la réhabilitation sensorielle, cognitive et motrice.
 - Aide à la transmission des savoirs dans les secteurs professionnels et de l'éducation.

Les défis scientifiques dans l'implémentation des relations perception-action pour la cognition artificielle et la robotique.

Se pose la question :

- Du développement de robots humanoïdes bio-inspirés.
- De l'implémentation des règles de production motrice et de système perceptif intégrant les compétences motrices de l'organisme.
- Du développement de systèmes perceptifs sensibles au mouvement biologique et capables d'imitation.
- Du développement de capacités d'apprentissage des systèmes artificiels dans le contexte des interactions avec d'autres organismes naturels ou artificiels.
- Des possibilités de communication non verbale entre systèmes artificiels et systèmes naturels.
- Des possibilités de coopération et de collaborations entre robots ou entre robots et humains.

Les défis scientifiques dans l'univers de l'assistance technologique et de la santé :

- Encourager les relations avec les acteurs de la recherche médicale et de la santé (études non invasives du fonctionnement cérébral, approche théorique des pathologies cérébrale et mentale ...)
- Quel feedback sensoriel pour quelle pathologie et comment rééduquer avec l'image ou les retours sensoriels (bio-feedback)?
- Quelle couplage perception-action pour quelle rééducation ?
- Quel cadre de référence pour envisager les systèmes palliatifs et les prothèses physiques ou cognitives ?
- Quel rôle de l'imitation dans la réhabilitation?

Compte rendu de la réunion du GDR Psychologie Ergonomique et Ergonomie Cognitive

Les membres du GT5 (groupe thématique « relation perception ») du GDR Psychologie ergonomique et Ergonomie cognitive, ont organisé une réunion le 28 mars 2009 afin de définir des thématiques de recherche prioritaires. Deux axes dominant ont émergé:

- (1) L'étude des relations perception/action dans des situations à forte contrainte spatio-temporelle.

Les problématiques soulevées concernent les questions de l'assistance à la conduite automobile et de l'aide au pilotage de véhicules aéronautiques. Les futures générations d'assistance à la conduite automobile sont développées pour intervenir le plus en amont possible des situations critiques. Anticiper l'accident implique d'agir sur le comportement du conducteur sans générer d'interférence négative (contre-réaction, surcompensation, sentiment d'intrusivité). Cet objectif ne peut pas être atteint sans intégrer dans la démarche de conception un modèle du conducteur permettant d'effectuer des prédictions valides sur le comportement de celui-ci. Le modèle doit être défini de sorte à rendre compte du traitement de l'information fait par le conducteur dans un environnement dynamique complexe, depuis le contrôle sensori-moteur de la trajectoire et de la vitesse jusqu'aux prises de décisions de plus haut niveau. Concernant le pilotage d'engins volants, des problématiques similaires ont été soulevées. Une question majeure concerne la régulation que doit effectuer un pilote en situation de vol à très basse altitude, parfois dans des conditions de visibilité dégradée, pour contrôler le déplacement de son appareil. Cette question est un problème de longue date pour les opérations militaires et civiles, et génère aujourd'hui un foisonnement de recherches en conception de système visuel d'aide au pilotage. Toutefois, la question de l'adéquation des aides proposées et de leur évolution vis à vis du fonctionnement de l'opérateur humain reste encore largement à explorer dans sa dimension cognitive. Ceci requiert la compréhension du fonctionnement du système homme-machine et non plus chacune de ses composantes, prise isolément. Les retombées théoriques dans ce domaine doivent permettre un enrichissement mutuel des sciences du comportement et de l'ingénierie des nouvelles technologies.

Par ailleurs, l'étude des relations perception/action semble primordiale pour mieux comprendre les contraintes des situations dynamiques artificielles et les conséquences informationnelles de ces situations du fait d'un format inhabituel des informations disponibles. Ainsi, le prélèvement d'information ou le guidage d'un objet sur un écran de contrôle (téléopération, environnement virtuel...) requiert l'intégration des transformations de plan et d'échelle entre l'espace physique et l'espace perçu. Dans ces situations, la concordance existant généralement entre les différents systèmes sensoriels impliqués dans l'action (systèmes proprioceptif-tactilo-kinesthésique, auditif, vestibulaire et visuel) est souvent réduite. Ceci implique la restructuration des systèmes de référence et des modes contrôles nécessaire à l'action. Ici, Le GDR a ainsi permis de regrouper des chercheurs travaillant plus précisément sur le téléguidage et la téléopération, des situations dans lesquelles sont soulevées des questions relatives au contrôle du comportement sur la base d'informations ayant subi une transformation géométrique. C'est le cas en téléopération lorsqu'un système proximal (robot « maître ») permet de contrôler un système distal (robot « esclave ») par l'intermédiaire d'un écran de contrôle. On peut ainsi étendre à un site éloigné, inaccessible ou dangereux, les capacités de manipulation et de perception d'un opérateur humain. Ici, un des verrous à lever concerne les paramètres spatio-temporels associés à la téléopération d'un engin mobile dans le cadre de la définition d'une interface homme-machine. Un autre verrou concerne l'optimisation des systèmes de téléopération en réfléchissant sur le type d'information sensorielle à fournir à l'apprenant afin d'optimiser l'adaptation motrice (au niveau spatial et/ou temporel). Par exemple, des données pilotes ainsi que des modèles d'intégration sensoriels laisseraient supposer qu'une dégradation légère et temporaire de l'information visuelle pourrait permettre à l'apprenant de s'adapter plus rapidement à une situation dans laquelle les informations visuelles et proprioceptives sont décorréliées.

- (2) L'évaluation de l'apport réciproque et cumulée des informations visuelles et haptique.

Dans la continuité de ces travaux, de nouvelles interfaces doivent être développés en proposant un lien plus étroit entre la modalité visuelle et la modalité haptique. Pour cela un des enjeux, est de mettre l'accent sur le développement d'une communication plus étroite entre ces modalités sensorielles via l'utilisation de systèmes robotisés à retour d'effort. Plus précisément nous pensons également que l'objectif premier est de définir quelles informations sont pertinentes pour l'apprentissage. Ainsi l'apport des environnements virtuels dans ce contexte est double : dans un premier temps ils peuvent constituer une aide à l'acquisition de connaissances (manipulation des retours sensoriels, variabilité et répétitivité des situations, etc.). Dans un second temps ils pourront également être conçus et améliorés en intégrant ces connaissances et permettre ainsi de développer des environnements d'apprentissage stables et complets capables de s'adapter aux besoins de l'apprenant et des diverses situations d'application. Ces axes de recherches sont bien évidemment valorisables dans les domaines de l'intelligence artificielle (robotique, système expert) et de la santé publique (handicap, téléchirurgie, rééducation, assistance palliative). Par exemple, dans le cadre de la conduite automobile, l'intervention d'un dispositif d'assistance peut se faire au travers du volant, qui est à la fois l'interface transmettant les commandes motrice du conducteur au véhicule et une source d'information en retour sur les conséquences de ces actions. Une insertion efficace de l'action d'une assistance dans le contrôle effectué par le conducteur (amorçage du geste, contrôle partagé) passe par une meilleure compréhension du rôle des retours de force dans le contrôle de la direction du véhicule et de leur articulation avec le contrôle visuel.

Les recherches concernant la modalité haptique sont importantes pour la suppléance perceptive i.e., l'atteinte d'un même but à travers une prise d'information(s) ou un contrôle d'action(s) par une modalité perceptive différentes de celle initialement optimale ou évaluée comme telle. Ici un des verrous majeurs concerne les processus qui sont aux fondements de l'optimisation des interfaces dans la prise d'information, la décision, l'action et la collaboration. Une autre question concerne l'optimisation des percepts et stratégies de leur(s) utilisation(s) dans le cadre d'expérimentation volontairement unimodale (quelles sont les propriétés de la modalité haptique et les stratégies d'utilisation qui la rendent optimale dans les performances de prise d'information, de contrôle d'action(s) et de collaboration(s) humain-humain et humain-interface ? Quelles sont les caractéristique d'optimisation de support virtuel ou non, statique ou dynamique, qui permettent l'optimisation de performances, que ce soit dans l'assimilation d'une information, la discrimination entre plusieurs informations, le contrôle des actions ou la (dé)solidarité entre co-opérateur ? Ces questions sont centrales à la fois pour l'aspect théorique et pour les retombées applicatives, notamment pour les personnes présentant un handicap (e.g. déficience visuelle).

Sur le plan méthodologique, les enjeux concernent la création d'outils d'analyse de la coopération non verbale et l'extraction de stratégies de coopération dans l'action, tout particulièrement en ce qui concerne les gestes, la marche et la communication. Les enjeux concernent la conception et la réalisation d'outils et/ou de logiciels d'application (logiciels d'immersion haptique par bras à retour d'efforts; systèmes de transcription automatisé objets visuel/objets haptique; logiciels de transcription automatisée parole-animation facio-labiale et gestuelle intégrant émotion et intention de communication; logiciels d'apprentissage et de jeux par immersion à IHM préservant la pertinence pédagogique ou ludique (maintien des activités attentionnelle, mnésiques, adaptatives, interactionnelle, ...) pour des publics ayant une déficience sensorielle).