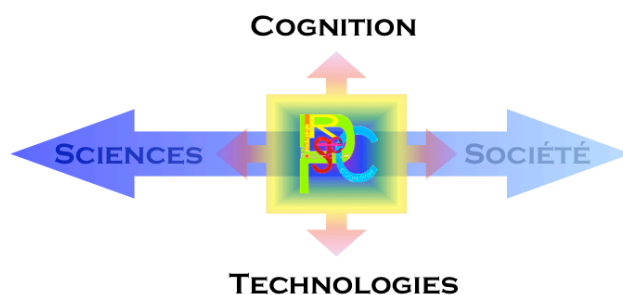




Atelier de réflexion prospective « Sciences et Technologies Cognitives »

Rapport de synthèse de l'atelier PIRSTEC



Janvier 2010

Table des matières

Préambule	3
I. Un cadre pour une prospective	5
<i>Société, Technologies et Cognition : Contexte Général</i>	5
<i>Grille de lecture opérationnelle : Éléments génériques de « Prospective en sciences et technologies cognitives »</i>	8
II. Prospective en sciences et technologies cognitives	12
<i>A. Émotions, Incarnations, Situations : nouveaux cadres pour les sciences cognitives</i>	12
<i>B. Thématiques & Défis en sciences et technologies cognitives</i>	14
1. Fonctions perceptives, cognitives et exécutives	15
2. De la cognition individuelle à la cognition sociale	18
3. Substrats : Neurosciences, Modélisation et Technologies	20
4. Usages, médiations techniques et ingénierie cognitive	22
5. Santé et handicaps : technologies pour l'évaluation, le diagnostic, le pronostic et la remédiation	23
6. Apprentissages, éducation et technologies	25
III. Préconisations de PIRSTEC	27
IV. Grands défis scientifiques identifiés par PIRSTEC	28
V. Enjeux structurels, Interfaces, Ingénierie	29
1. <i>Analyse des relations entre partenaires académiques et partenaires d'interface</i>	30
1.1. Cognition, Santé et Éducation	30
1.2. Entreprises, recherche et formations	31
2. <i>Propositions</i>	33
2.1. Formation, information, métiers	33
2.2. Infrastructures, Plateformes, Corpus	34
VI. Présentation des annexes	37
1. <i>Contributions reçues dans le cadre de la réflexion prospective engagée par PIRSTEC : rapports de synthèse de réunions de travail et contributions spontanées</i>	37
2. <i>Analyse bibliométrique des Sciences et Technologies Cognitives</i>	40
3. <i>Actualité et Prospective en Sciences et Technologies Cognitives dans le monde</i>	42
3.1. Présentation de la démarche	42
3.2. Structuration des données	43
3.3. Résultats	44
4. <i>Éléments relatifs au fonctionnement de PIRSTEC : méthodologie, gestion, bilan</i>	45

Préambule

L'atelier de réflexion prospective PIRSTEC « Prospective Interdisciplinaire en Réseau pour les Sciences et Technologies Cognitives », sélectionné et financé par l'ANR (Départements STIC, Biologie-Santé et SHS), s'est déroulé du 1^{er} Octobre 2008 au 31 Décembre 2009. Au cours de cette période, et suite à un appel à propositions lancé par PIRSTEC fin novembre 2008, un ensemble d'ateliers et réunions prospectives, financés ou co-financés par PIRSTEC, ont été organisés partout en France sur des thématiques très diverses. Ces réunions (environ 40) ont eu des formats variés - réunions « fermées » avec des participants invités, réunions sous forme de colloques ou de séminaires, réunions de travail ouvertes à tous. Chacune de ces réunions a fait l'objet d'un rapport écrit, mis en ligne et libre d'accès sur le site Internet réalisé par PIRSTEC (<http://pirstec.risc.cnrs.fr>) ; une synthèse de ces documents a été rédigée par les responsables d'ateliers, dits *pilotes*, choisis par le comité de pilotage de PIRSTEC en fonction de la pertinence thématique et de l'envergure des ateliers. Outre ces rapports, un ensemble de contributions libres ont été communiquées à PIRSTEC ; d'autres ont fait l'objet d'une « commande » lorsque les thématiques concernées n'avaient pas été abordées dans les réunions prospectives et que le sujet semblait important. Enfin, des réunions ont été organisées ou suscitées afin d'informer et mobiliser des acteurs de la recherche ou du monde industriel qui n'avaient pas été immédiatement identifiés, et pour discuter et définir des moyens de fluidifier le dialogue avec ces partenaires. Cette réflexion prospective a fait l'objet d'un colloque de restitution qui s'est tenu les 22 et 23 Octobre 2009 à Paris.

Le document de synthèse de la prospective conduite par PIRSTEC présenté ci-après commence par rappeler le *double contexte* dans lequel s'organise cette prospective : celui d'une véritable révolution technologique et sociétale plaçant, de fait, la cognition humaine au cœur des transformations en cours ; et celui d'évolutions méthodologiques et conceptuelles majeures en sciences cognitives qui prennent la recherche fondamentale sur la cognition dans le faisceau convergent de leurs possibilités nouvelles.

Cette introduction est suivie de la présentation d'une « *grille de lecture opérationnelle* », constituée d'éléments génériques, qui nous semblent constitutifs des grands enjeux de ce que pourraient être les appels d'offres dans le domaine pour les années à venir, et qui traversent et organisent les six thématiques qui ont émergé de la réflexion prospective.

Ces thématiques seront alors présentées dans le premier temps de cette synthèse autour de *défis scientifiques majeurs*, qui constituent pour nous une possible épine dorsale de la prospective PIRSTEC.

Enfin, un ensemble de *préconisations* sont proposées, constituant un résumé programmatique des actions qu'il est souhaitable d'entreprendre pour répondre aux enjeux sociétaux et scientifiques à la charnière entre Cognition et Technologies, ainsi qu'une liste de *Défis* qui synthétise les enjeux scientifiques majeurs.

Une seconde partie de ce rapport présente les enjeux structurels qui sous-tendent les enjeux scientifiques et qui doivent être pris en compte pour la mise en œuvre d'une politique scientifique relative à la Cognition dans ses rapports avec les technologies.

Les annexes qui accompagnent ce rapport sont ensuite brièvement présentées :

- Contributions reçues dans le cadre de la réflexion prospective engagée par PIRSTEC : rapports de synthèse de réunions de travail et contributions spontanées.
- Analyse bibliométrique du domaine Cognition et Technologies.
- Présentation d'un corpus regroupant des documents publics d'organismes de divers pays couvrant le domaine, accessible en ligne.
- Des éléments relatifs au fonctionnement de PIRSTEC : méthodologie, gestion, bilan.

Ce document a été élaboré par un comité de rédaction composé de :

Frédéric Alexandre, Yann Coello, Michel Denis, Catherine Garbay, Stéphanie Girault, Nicolas Larrousse, Benoit Le Blanc, Jean Lorenceau, Christophe Parisse, Jean-Luc Schwartz, Pierre Tchounikine, Nadine Vigouroux.

Il a été soumis à la relecture et à l'approbation du conseil scientifique et du comité de pilotage de PIRSTEC, composé de :

Frédéric Alexandre, Daniel Andler, Nicolas Balacheff, Daniel Bennequin, Alain Berthoz, Philippe Blache, Paul Bourguin, Danièle Bourcier, Jean-Pierre Coquerez, Yann Coello, Henri Coulaud, Jean-François Démonet, Michel Denis, Bruno Dubois, Jacques Durand, Luis Farinas, Catherine Fuchs, Jean-Gabriel Ganascia, Catherine Garbay, Philippe Gaussier, Jean-Michel Hoc, Marc Jeannerod, Olivier Koenig, Benoît Le Blanc, Jean Lorenceau, Christian Lorenzi, Pascal Mamassian, Guillaume Masson, Bernard Mazoyer, Jean Mariani, Jean-Pierre Nadal, Elisabeth Pacherie, Hélène Paugam-Moisy, Jean Petitot, Jean-Baptiste Poline, Bruno Poucet, Viviane Pouthas, Olivier Koenig, Jean-Luc Schwartz, Nadine Vigouroux.

I. Un cadre pour une prospective

Société, Technologies et Cognition : Contexte Général

La cognition au cœur des révolutions technologiques et sociétales

Les développements fulgurants des technologies de l'information et de la communication (TICs), dans un contexte de changements démographiques majeurs et d'une mondialisation rapide, entraînent des modifications massives de comportements qui engagent l'ensemble des fonctions cognitives des individus – perception, langage, mémoire, raisonnement, attention, émotions, actions, fonctions exécutives, etc. – et modifient en profondeur l'organisation de la société.

Loisirs et travail sont touchés par ces transformations qui affectent différemment jeunes, adultes et personnes âgées. La maîtrise et l'appropriation de ces dispositifs techniques entraînent des différences pour l'accès aux connaissances et aux services qu'ils rendent disponibles et sont un facteur important d'inégalités au sein de la société. Le couplage Technologies-Cognition est au cœur de problématiques nouvelles dans lesquelles les facteurs humains occupent une place prépondérante : comprendre la cognition est alors un enjeu de première importance, que ce soit pour développer des technologies nouvelles qui prennent en considération les capacités cognitives des individus ou pour comprendre les transformations de la cognition induites par les usages de ces technologies.

Les évolutions rapides des TICs suscitent des attentes particulièrement fortes dans les secteurs de la santé et de l'éducation et ont des impacts majeurs sur l'organisation du travail et de l'économie (e-commerce, etc.). Dans le domaine de la santé, les attentes ne sont cependant pas limitées à la maladie et à la prise en charge thérapeutique et palliative, et s'étendent aux situations de stress, de dépression, aux notions de bien-être, de confort et de qualité de vie. La notion de handicap s'élargit aux situations dans lesquelles le sujet ne peut plus s'adapter aux situations rencontrées.

Dans le domaine de la formation et de l'éducation, les apprentissages dépassent le cadre de l'enseignement scolaire et universitaire et débordent le secteur de l'enseignement numérique et des TICE, pour s'étendre à l'Internet et à la téléphonie. L'accès au savoir et aux connaissances est devenu mobile et délocalisé et concerne des individus de tous âges et de conditions économiques sociales et culturelles variées. Cette situation nouvelle modifie en profondeur les façons d'apprendre et le rapport à la connaissance. Par contrecoup, la diffusion et le renouvellement des technologies demandent des apprentissages nouveaux et une flexibilité cognitive, nécessaires pour en maîtriser la complexité et le fonctionnement.

Dans le monde du travail, les technologies modifient les processus de décision, de collaboration, de conception ; elles entraînent un remaniement profond de l'activité professionnelle qui devient délocalisée et parallèle, et mettent en question la césure entre travail et vie personnelle.

Dans le domaine de l'économie, l'accès à un marché numérique requiert une réorganisation des modes d'accès aux produits de première nécessité comme aux autres produits. Cette nouvelle forme d'accès aux biens de consommation implique de plus en plus l'accès à des services numériques (e-commerce, achat en ligne, visite de magasins virtuels...) nécessitant l'utilisation de systèmes technologiques de plus en plus sophistiqués (sites internet, environnements

virtuels...). De ce fait, de nouvelles formes de comportements et de processus cognitifs se mettent en place dans ce contexte technologique sans cesse innovant.

Enfin, le fait que les technologies deviennent les partenaires de très nombreuses activités humaines pose des questions nouvelles dans les domaines du droit et de l'éthique : les notions de responsabilité et de libre arbitre sont deux exemples parmi d'autres où les technologies introduisent des modifications profondes.

Les attentes sociales rejoignent les attentes économiques : la mondialisation entraîne une répartition nouvelle des secteurs industriels conduisant à privilégier les services et les secteurs à forte valeur ajoutée pour lesquels le renforcement des liens entre recherche et entreprises innovantes devient indispensable. Ceci est particulièrement vrai dans le domaine des technologies « cognitives », où l'on doit s'attendre à des progrès majeurs liés à une prise en considération croissante des dimensions cognitives dans la conception et les usages de ces technologies. Un changement fondamental et attendu est le passage de technologies froides, figées, dépersonnalisées et complexes, à des technologies chaudes, intuitives, adaptatives et personnalisées, ne faisant plus appel à l'assimilation, coûteuse pour les usagers, de modes d'emploi complexes, mais directement conçues pour faciliter une appropriation rapide, en prise sur les compétences cognitives et spécificités de chacun. Il ne s'agit plus nécessairement de multiplier les services et les possibilités offertes par des dispositifs toujours plus miniaturisés, mobiles et autonomes, mais d'introduire une intelligence cognitive dans ces technologies, liées à la production dynamique de sens dans leur contexte d'utilisation, intégrant et interprétant les activités des usagers de façon à transformer l'utilisation de fonctions préprogrammées en une coopération active et adaptative. Trois concepts, sur lesquels on reviendra, placent l'utilisateur au cœur des développements des technologies cognitives et permettent de caractériser cette attente : **Émotions, Incarnations, Situations**.

La cognition dans un faisceau d'évolutions conceptuelles et méthodologiques majeures

Dans le contexte d'une révolution technologique et sociétale profonde et, fondamentalement, « cognitivement impliquante¹», il est frappant d'observer à quel point se sont développés dans les vingt dernières années les concepts et les outils permettant de pénétrer les mécanismes de la cognition humaine dans une perspective fondamentale extrêmement ambitieuse.

Les concepts portent sur tous les aspects de la cognition humaine, et sont envisagés sous l'angle de leur « naturalisation » dans des cadres théoriques resituant la cognition dans son environnement biologique, physique et social, prenant en compte les transformations épistémologiques associées à l'avènement des théories motrices de la cognition, du paradigme de l'énaction, des relations entre perception, action et langage, entre raison et émotions, ou entre cognition individuelle et cognition sociale, cognition incarnée (*embodied*) et située (*situated*). Le défi est aujourd'hui d'assembler les pièces d'un « puzzle cognitif », pièces qui ont été progressivement identifiées et mieux comprises grâce à des recherches intensives articulant neurosciences, psychologie et modélisation : les fonctions perceptives – vision, audition, toucher, etc. – étudiées indépendamment et pour elles-mêmes dans les décennies passées constituent une interface intégrée dont il faut comprendre les complémentarités, les interdépendances et les spécificités ; les fonctions de « haut niveau », – attention, mémoire, émotion, décision, volition, etc. – apparaissent de la même façon interdépendantes et multiplexées, sans que l'on sache aujourd'hui modéliser la complexité de leurs interactions. Les

¹ On utilisera dans ce qui suit l'expression « technologies cognitives » pour désigner les technologies dont l'utilisation implique fortement les fonctions cognitives.

fonctions motrices, et leur simulation mentale, entrent désormais et à part entière dans la dynamique d'émergence d'une cognition « effective », plongée dans son environnement. L'approche « modulariste » qui a dominé un temps les théories cognitives où l'idée directrice était celle de fonctions cognitives relativement indépendantes, a été battue en brèche. La vision optimiste et naïve : « comprenons les parties, nous comprendrons le tout », est remplacée par la prise en compte de l'extraordinaire complexité et diversité des systèmes cognitifs. Le développement d'approches nouvelles, associant plus étroitement encore les disciplines des sciences cognitives autour de paradigmes innovants, devient plus que jamais indispensable.

Ces développements théoriques et conceptuels sont soutenus par l'apparition d'outils qui ont révolutionné le champ : ces outils proviennent en premier lieu des sciences du vivant, et portent sur l'expérimentation et l'observation « *in vivo* » liées aux développements spectaculaires des méthodes d'étude non invasive du fonctionnement cérébral (IRMf, TMS, MEG, EEG...), associée aux nouveaux paradigmes de la psychologie cognitive et clinique, avec en perspective proche les évolutions de la génétique. Ils proviennent également des sciences humaines et sociales, avec le développement d'études « *in situ* » de cognition de terrain, en situation, jusqu'aux sciences du langage, aux ouvertures vers l'anthropologie et l'éthologie, mais aussi vers la sociologie et l'économie. Ils proviennent enfin du troisième fondement des sciences cognitives, celui des sciences de l'information et de la modélisation, mathématiques, physique, informatique, fournissant à la fois des techniques d'investigation, et des modèles ou des algorithmes, visant à simuler pour mieux comprendre. Restent, malgré ces avancées, de nombreux défis liés aux « trous noirs » de l'expérimentation, à l'inaccessibilité de certaines échelles d'observation et à l'intégration de données de natures diverses. Ces défis concernent la nature et le fonctionnement des substrats (neurosciences, robotique) aussi bien que les comportements (psychologie, sociologie) et la modélisation.

Autant de questions, détaillées ci-après, qui seront à l'ordre du jour des recherches en sciences et technologies cognitives dans la décennie à venir.

Grille de lecture opérationnelle : Éléments génériques de « Prospective en sciences et technologies cognitives »

Une « grille de lecture opérationnelle » qui structure selon nous les recherches à développer en priorité, à la fois dans leurs contenus et dans leurs pratiques, a été dégagée de la réflexion prospective conduite en 2008-2009. Ces principes génériques constituent des prérequis, en ce sens qu'ils définissent des modalités d'investigation communes aux différents domaines identifiés. Ces éléments devront être pris en compte lorsque l'on décrira les thématiques et « défis majeurs » et pourraient servir de critères d'évaluation des demandes de financement.

Pluridisciplinarité et méthodologies plurielles

La pluridisciplinarité est et reste un élément central des recherches sur la Cognition et les Technologies Cognitives. Les compétences croisées et complémentaires de disciplines telles que les neurosciences, la psychologie, la modélisation et la robotique, l'informatique, les mathématiques ou la philosophie, etc., s'avèrent indispensables pour étudier et comprendre des phénomènes complexes qui impliquent l'ensemble des niveaux d'organisation d'organismes naturels ou artificiels. Aux disciplines engagées de longue date dans le champ des sciences cognitives viennent s'ajouter de nouvelles disciplines d'interface en développement rapide, telles que la génétique, la sociologie et l'économie cognitive.

Cette pluridisciplinarité est complétée aujourd'hui par des études qui impliquent des méthodologies différentes, qui peuvent, ou non, recouvrir les champs disciplinaires : d'une part, approches comportementales, imagerie cérébrale, mesures d'indices physiologiques ou d'activité, enregistrements vidéos, études de traces, analyses génétiques, et de l'autre, modélisations, simulations, mathématiques, informatique, robotique, électronique et mécanique. L'objectif est de recueillir des données à plusieurs échelles d'organisation dont l'analyse croisée doit permettre de dresser un paysage exhaustif des phénomènes que l'on cherche à observer et dont la complexité exige que soient développés des théories et modèles prédictifs permettant de simuler les effets de variations paramétriques. La conjonction de ces compétences et de ces méthodologies dépend pour une part des questions posées ; elle implique de plus en plus d'importantes masses de données dont l'analyse requiert des méthodes et outils statistiques et informatiques performants et fiables, dont le développement est en soi un enjeu clé.

A cet égard, il faut noter que les évolutions technologiques des outils d'investigation scientifique sont un enjeu central pour l'innovation et les transferts recherche/industrie : les avancées scientifiques sont aujourd'hui intimement liées à la maîtrise des développements techniques et informatiques. Deux secteurs sont plus particulièrement concernés : d'une part les technologies de pointe – dispositifs d'imagerie du cerveau et d'analyse en temps réel du fonctionnement cérébral, capteurs miniaturisés, réalité virtuelle, etc., – secteur qu'il faudrait soutenir en France², et d'autre part la constitution, la gestion et l'exploitation informatique de grand corpus

² A l'exception de l'industrie pharmaceutique, il est remarquable que le secteur de l'industrie des technologies pour la recherche est peu développé en France. Il suffit de consulter la liste des fournisseurs des laboratoires – ou des services hospitaliers – pour constater qu'imageurs, stimulateurs, enregistreurs, etc. sont, dans leur immense majorité, fabriqués hors de France. Les conséquences, économiques et scientifiques, de cette absence sont désastreuses car les innovations techniques sont souvent le résultat d'interactions entre des chercheurs qui expriment des besoins nouveaux et d'industriels qui, répondant à ces besoins, améliorent ces technologies et brevètent les

de données, qui découlent naturellement des progrès technologiques d'investigation scientifique. Ces corpus peuvent regrouper des productions cognitives liées aux dynamiques des usages (corpus de textes, de paroles, banques de sons, de films, d'images, de mouvements, etc.), des productions scientifiques (données expérimentales et d'imagerie, tests, génomes, corpus de stimuli multimédia, modèles, logiciels, médicaments, etc.), permettant des analyses croisées, ou encore des corpus de publications scientifiques et de supports de formation. Cette tendance lourde est justifiée par une volonté et un besoin croissant de prendre en considération tous les niveaux d'organisation des mécanismes cognitifs, de mieux caractériser les différences inter et intra individuelles relatives aux compétences cognitives des individus, ce qui requiert des évaluations transversales et longitudinales sur des cohortes importantes. Le développement de ces infrastructures a aussi un rôle majeur pour la mutualisation des données issues de la recherche, et permettrait des méta-analyses des fonctions cognitives qui font défaut à l'heure actuelle. Considérant l'importance des enjeux et des besoins, la constitution de ces corpus, le recueil, la gestion et la maintenance de ces grandes masses de données requièrent une coopération étroite entre les acteurs – chercheurs, ingénieurs, entreprises, formations – concernés.

En résumé, les recherches sur les technologies cognitives doivent impliquer plusieurs disciplines et/ou plusieurs méthodologies, visant à caractériser et expliquer les phénomènes étudiés à différents niveaux d'organisation et différentes échelles.

Cognition dynamique

La cognition est dynamique et se déploie sur plusieurs échelles de temps. Les dynamiques lentes que constituent les mécanismes de développement ou d'évolution phylogénétique constituent évidemment des dimensions intrinsèques de l'étude de la cognition humaine. L'allongement de la durée de vie, qui accentue la différenciation des compétences cognitives au cours de la vie, a des effets importants dans un contexte de diffusion rapide de technologies complexes. Les compétences cognitives varient aussi avec le cycle circadien : attention et vigilance, capacités d'apprentissage et de mémorisation présentent des variations au cours de la journée qui peuvent être importantes. Ces facteurs, rarement pris en compte dans les études sur la cognition, sont une source potentiellement importante de variations, et parfois de dysfonctionnements cognitifs. Caractériser les dynamiques perceptives, attentionnelles, émotionnelles, motrices, d'apprentissage ou de mémoire est essentiel pour comprendre comment ces fonctions produisent *in fine* un comportement et des interactions adaptés du sujet avec un environnement, aujourd'hui peuplé de dispositifs techniques qui entraînent une activité multi-tâches dans un espace-temps nouveau. Enfin, les dynamiques cérébrales et la plasticité qui sous-tendent les fonctions cognitives sont un enjeu majeur des recherches en neurosciences : de leur identification et de leur analyse dépendent la compréhension des activités cérébrales pertinentes, la détection de troubles neurologiques, la caractérisation d'états modifiés de conscience ou encore les développements d'interfaces cerveau/machine.

innovations qui résultent de cette interaction. Ces avancées techniques donnent une longueur d'avance aux scientifiques qui les exploitent et ouvrent le champ d'applications commerciales nouvelles aux industriels.

Caractériser les dynamiques cognitives et comprendre l'organisation temporelle des comportements est un enjeu primordial pour la recherche fondamentale et a des conséquences directes sur la conception et les usages des technologies cognitives.

De l'objet au sujet

Les activités cognitives et leurs substrats biologiques constituent un champ scientifique où l'on cherche à identifier les universaux qui sous-tendent les comportements cognitifs, leur développement et leurs origines. Ces universaux définissent un objet cognitif générique, mais sont insuffisants pour expliquer la cognition individuelle d'un sujet plongé dans un contexte particulier. Les études de laboratoire restreintes à des populations ciblées – jeunes adultes d'un bon niveau socio-culturel – ne sont pas nécessairement généralisables à la population entière, limitant ainsi la portée et la transférabilité des conclusions issues de ces recherches.

Cette cognition du sujet, cognition à la première personne, est pourtant celle qui agit et interagit en situation. L'étude des compétences cognitives du sujet plongé dans son environnement exige des paradigmes et des outils nouveaux visant à préciser la diversité des compétences cognitives, que ce soit lors d'interactions avec autrui ou avec des dispositifs techniques. Comprendre cette diversité, ses origines, sa structure et ses modalités d'expression – compensations, complémentarités multimodales, stratégies cognitives, fonctions exécutives, etc. – est un enjeu théorique pour les sciences de la cognition et un enjeu pratique pour la conception de technologies cognitives et l'anticipation de leurs usages.

La prise en compte du sujet est particulièrement nécessaire pour comprendre les pathologies de la cognition et concevoir des dispositifs thérapeutiques, impliquant souvent des technologies spécifiques (thérapies cognitives, stimulation transcrânienne, réalité virtuelle par exemple). Les études comparées des fonctions cognitives du sujet normal et pathologique visent un double objectif : évaluer la nature, les causes et l'ampleur des déficits liés à une pathologie pour mettre en œuvre les remédiations nécessaires, et utiliser les connaissances sur les origines et les causes des pathologies pour mieux comprendre le fonctionnement cognitif normal. La dichotomie entre sujet dit *normal* et sujet présentant une pathologie est tempérée par l'observation que les déficits cognitifs et les situations de handicap qu'ils engendrent ne sont pas toujours le fait de pathologies avérées. Ils sont manifestes chez le sujet dit *normal* dans toute situation où l'information disponible est bruitée ou manquante (faible éclairage, bruit, mais aussi myopie, hyperacousie, etc.) ou lorsque les états internes du sujet sont perturbés (fatigue, stress, anxiété, prise de psychotropes, etc.). La prise en compte de ces facteurs est importante pour évaluer la « robustesse » des fonctions cognitives soumises à ces perturbations et/ou les réorganisations et adaptations qui en résultent.

Les facteurs génétiques et les interactions gènes-environnement sont également impliqués dans le développement d'aptitudes cognitives et constituent une source mal connue de différences interindividuelles, de déficits ou de dysfonctionnements cognitifs. Des avancées récentes sur les relations entre cognition et génétique (sur la dyslexie, la schizophrénie ou l'autisme par exemple) et les progrès rapides des techniques d'analyse du génome, laissent augurer des développements importants à l'avenir, en particulier en épigénétique. La notion d'endophénotype, collection de traits élémentaires caractérisant un individu, paraît une voie intéressante pour évaluer et prédire les risques de dysfonctionnements cognitifs et leurs liens avec des pathologies du comportement (addictions, anorexie ...), ou des pathologies neurologiques et psychiatriques (Alzheimer, démence, dépression ...).

Ces différences intra et interindividuelles, mal comprises et peu étudiées, constituent un enjeu majeur. Comme pour les recherches comparatives du sujet normal et pathologique, leur étude est une source potentiellement riche pour comprendre les mécanismes et processus fondamentaux de la cognition.

Comprendre la diversité des « compétences cognitives », ses origines, sa structure et ses modalités d'expression est un enjeu théorique central pour les sciences de la cognition et un enjeu pratique pour la conception de technologies cognitives et l'anticipation de leurs usages.

En résumé, les recherches sur la Cognition humaine et sur les couplages Cognition-Technologies doivent être pluridisciplinaires et s'appuyer sur des méthodologies complémentaires. Ces recherches doivent, autant que possible, concerner des populations nombreuses et diversifiées permettant d'identifier les sources et la structure des différences interindividuelles. Ces recherches devraient étudier la cognition et ses couplages avec la technologie dans leurs dimensions dynamiques, contextuelles et/ou pathologiques. Dans cette perspective, ces recherches devraient être en partie conduites « en situation » et viser une opérationnalisation « écologique » des hypothèses testées, pouvant conduire à des modélisations fines et réalistes de phénomènes complexes.

II. Prospective en sciences et technologies cognitives

A. Émotions, Incarnations, Situations : nouveaux cadres pour les sciences cognitives

Les remarquables progrès scientifiques de ces dernières décennies, tant théoriques qu'expérimentaux, conduisent à un renouvellement du questionnement sur la cognition, particulièrement pertinent pour les technologies cognitives. La découverte progressive de l'interdépendance des fonctions cognitives, dont chacune fait aujourd'hui l'objet de descriptions fines à plusieurs niveaux d'organisation, implique que des méthodologies et des paradigmes novateurs soient développés. La réflexion prospective conduite par PIRSTEC a permis de dégager de nouvelles lignes de forces qui structurent ces évolutions. En particulier, les concepts **d'émotion, d'incarnation et de situation** mentionnés plus haut, constituent un cadre nouveau pour l'étude de la cognition, autant qu'un défi pour les technologies cognitives. Émotions, incarnations et situations organisent et modulent l'expression des compétences cognitives à chaque instant, mais les mécanismes par lesquels elles influencent et co-instantient les fonctions – perceptives, attentionnelles, décisionnelles, mémorielles, métacognitives, motrices, etc. – restent difficiles à étudier et peu compris.

Le terme **émotion**, dont l'étymologie renvoie directement au mouvement et à l'animalité, bien que sujet à discussion, recouvre un large ensemble d'états internes et de manifestations externalisées des individus. Il ne peut être question de faire ici un état de l'art ou d'ouvrir un débat sur ce sujet où les termes d'humeurs, d'affects, de sentiments ont leur place. Notons simplement que malgré le rôle central des émotions dans la génération de sens, dans les interactions sociales, dans l'expression des compétences cognitives – dans le domaine de l'éducation, de la santé, du travail par exemple –, aucune technologie n'est aujourd'hui capable d'une « interprétation » ou d'une analyse des états émotionnels d'un sujet dans le cadre d'un couplage homme/technologie, ni *a fortiori*, capable de s'adapter à ces états. Ceci s'explique en partie par le fait que les théories et modèles actuels des émotions, sentiments, affects et humeurs dépassent difficilement le niveau de catalogages contestables et, de fait, largement débattus. Les études expérimentales des émotions se heurtent de plus à des difficultés méthodologiques, pratiques et éthiques importantes. Les travaux sur les expressions faciales des émotions, leur interprétation et leur influence – sur la cognition sociale en particulier : attention conjointe, imitation – sont les plus nombreuses, mais restent souvent descriptives. L'identification des réseaux neuronaux qui sous-tendent la perception des émotions a progressé mais peu de travaux s'intéressent aux modulations émotionnelles des performances dans des tâches perceptives, langagières, de raisonnement ou de réalisation d'actions. En neuroéconomie, les études sur la prise de décision sous risque ou dans l'incertitude, ou les études sur la métacognition par exemple, ouvrent la voie mais beaucoup reste à faire dans ce domaine. Le dialogue homme/ordinateur mis en scène dans le film de Stanley Kubrick « 2001 Odyssée de l'espace », est encore une fiction en 2009, mais une fiction qui devient un enjeu scientifique réel, sinon un objectif immédiatement réalisable, dont les termes peuvent être clairement posés et faire l'objet de recherches.

Les émotions et les humeurs sont aujourd'hui induites ou régulées par des psychotropes variés³, la douleur est maintenant sous contrôle, comme le sont les états de conscience. Il reste qu'humeurs et émotions modifient en permanence nos possibilités de réaliser des tâches diverses, nos capacités à gérer nos interactions sociales ou à travailler. L'opposition qui a prévalu entre une cognition rationnelle et les émotions n'est plus pertinente dans ce contexte.

Les émotions sont incarnées. La place de la corporéité est ici centrale : véhicule des émotions le corps est le média de leur expression et permet leur perception et interprétation par autrui.

Plus largement, le terme « d'émotion » doit être pris ici dans un sens étendu, celui d'un concept intégrant la notion de « cognition chaude », c'est-à-dire située dans son environnement global : en *couplage avec les propriétés dynamiques du corps* agissant et percevant, et plus globalement avec les substrats biologiques sous-jacents qui contraignent et façonnent les propriétés des systèmes fonctionnels ; en *interaction avec les systèmes* cognitifs ou technologiques environnants ; en *situation dans son contexte* local, dynamique, individuel. Les deux mots clés déclinés fortement dans la littérature actuelle sont ceux d'incarnation (*embodied cognition*) et de situation (*situated cognition*).

Ainsi, au-delà des « émotions » en tant que telles, l'idée que toute cognition est **incarnée**, et le renouveau du questionnement scientifique qui l'accompagne, ont connu des développements spectaculaires. De la prise en compte du corps dans la recherche cognitive découle un vaste ensemble de questions nouvelles – quelle incarnation sur la base de quelle motricité ? et, partant, quels sont les ingrédients conceptuels et les mises en évidence expérimentales d'une « cognition motrice » ? – et des besoins de reformulations théoriques de questions anciennes relatives aux relations entre corps et esprit.

A titre d'exemple, mentionnons les relations entre perception et action autour des « théories motrices » et de leurs multiples avatars historiques, largement renouvelés par les données de neurophysiologie et de neuroimagerie ; entre motricité et langage autour du concept de « linguistique incarnée » ; entre modalités sensorielles avec le développement important des recherches sur les interactions multisensorielles et la multimodalité ; entre motricité et apprentissage ou modalité et mémoire ; et bien sûr, les percées souvent spectaculaires de la robotique cognitive et/ou anthropomorphique et/ou sociale, riche de questionnements théoriques et d'implications sociétales.

Enfin, le corps est immergé dans des **situations** qui définissent des contextes d'interactions et de couplages spécifiques et variables. La diffusion des technologies cognitives et l'usage des fonctions cognitives et exécutives que celles-ci imposent, entraîne de nouveaux défis et questions autant qu'elle rend possible leur étude. Le contexte spatial et temporel d'une activité cognitive contraint les actions, prédictions et anticipations du sujet, tout comme le contexte social et technologique ; la même tâche est ainsi réalisée différemment et avec un succès variable dans différentes situations. Par exemple dans le langage, le contexte d'énonciation restreint la polysémie et permet la levée d'ambiguïtés. Reste à définir et comprendre ce que sont une situation et un contexte – quel empan spatio-temporel ? –, ce qu'ils apportent à la cognition, ce qu'ils introduisent comme perturbations ou « bruit ». La question posée est aussi simple qu'il est difficile d'y répondre : comment concevoir et réaliser des technologies cognitives

³ Notons que la France est le pays du monde où la consommation de psychotropes est la plus répandue. Si ceci peut en partie être expliqué par les particularités du système de santé français, la tendance mondiale est bien celle d'une consommation en augmentation constante de médicaments et produits psychotropes, dont les effets sur la cognition sont rarement évalués avec des méthodes expérimentales rigoureuses et quantitatives – sur la mémoire, les temps de traitement de l'information, les fonctions exécutives, etc.

qui prennent en compte les émotions, les incarnations cognitives et les situations où elles sont plongées ?

Les chapitres qui suivent précisent les éléments de prospective qui s'articulent autour de ces concepts fédérateurs et d'une question centrale qui peut être formulée comme suit :

Quelles compétences cognitives et quelles technologies pour quelles incarnations dans quelles situations ?

B. Thématiques & Défis en sciences et technologies cognitives

Les thématiques issues de la réflexion prospective, bien que constituant un maillage dense qui se prête mal à une synthèse linéaire, peuvent être organisées en six domaines complémentaires formant un ensemble cohérent. Malgré, et peut être à cause de cette structuration arbitraire, il est difficile de privilégier une thématique au détriment des autres. Le choix de priorités devrait se fonder sur une appréciation de la transversalité des projets, en s'appuyant sur les grands principes décrits auparavant, sans privilégier une ou des thématiques spécifiques.

On peut, en première lecture, distinguer :

1. Un ensemble de questions relatives aux *fonctions cognitives fondamentales* et à leurs interactions et intégration, ainsi qu'aux technologies cognitives qui utilisent ou alimentent directement ces fonctions.
2. Des questions liées à la *cognition sociale*, à la communication, aux impacts des technologies, médiatrices des interactions interindividuelles, sur les fonctions cognitives, le langage, et par extension aux interactions homme-machine.
3. Des enjeux de *formalisation et de modélisation* de fonctions cognitives complexes indispensables pour comprendre et simuler ces fonctions et développer des dispositifs artificiels fonctionnels -robotique, domotique, transports, etc.- inspirés d'organismes vivants et capables d'interagir avec eux⁴.
4. Des enjeux liés aux *usages*, à l'émergence et au renouvellement continu de nouvelles *médiations techniques* entraînant des besoins nouveaux d'ingénierie cognitive
5. Des enjeux liés à la *santé*, aux handicaps et aux technologies pour l'évaluation des déficits cognitifs et moteurs, le diagnostic, le pronostic et la remédiation, ainsi que l'évaluation de leur efficacité.
6. Des enjeux relatifs à *l'éducation*, aux apprentissages explicites et implicites, à la diffusion et à l'accès aux connaissances (TICE, Internet et extensions).

⁴ Les enjeux méthodologiques et d'ingénierie concernant l'intégration et l'analyse de données expérimentales nombreuses, diverses et complexes, émergeant des avancées scientifiques et méthodologiques dans des domaines et disciplines auparavant séparés sont décrits dans la section « Enjeux structurels & Interfaces ».

Plutôt que considérer que les trois premières thématiques relèvent de la recherche « fondamentale » et que les suivantes concernent la recherche « appliquée », il faut noter que ces thématiques forment un continuum où les contraintes méthodologiques et les enjeux sociétaux de la recherche occupent des parts variables : les recherches pour lesquelles les conditions d'expérimentation sont déterminées par le chercheur doivent en effet être articulées, *et c'est un défi structurel pour les sciences cognitives*, avec des recherches *in situ* dans lesquelles le recueil de données expérimentales est fortement contraint, et où les recherches sont plus directement liées à des enjeux sociétaux bien identifiés.

Il faut insister ici sur un aspect essentiel de ce programme : son caractère **global**. Tel ou tel des items décrits au sein de ce programme en 6 thématiques, et détaillé ci-après, peut correspondre plus ou moins directement à un appel à projets déjà en cours, ou en vue, dans la programmation de l'ANR. L'important ici est la cohérence du programme d'ensemble, tant il semble clair que chaque thème renvoie intimement et de multiples façons à tous les autres, comme on pourrait en faire la démonstration sur de nombreux exemples.

Les sections qui suivent présentent ces domaines plus en détail et dégagent des « Défis » spécifiques à chacun. A chaque fois, on présentera le contexte global de ces recherches et de ces défis, et il apparaîtra qu'ils font intervenir, pour tout ou partie, des enjeux de cette « cognition chaude », en émotions, en incarnation, en situation, mise en avant ci-dessus – sans minimiser le besoin continu de recherches incrémentales sur des segments cognitifs autonomes, cognition « froide », éventuellement « modulariste », dont les avancées restent indispensables au projet cognitif d'ensemble.

1. Fonctions perceptives, cognitives et exécutives

(Ateliers 4, 5, 7, 12, 13, 14 et 15)

Les fonctions perceptives – et notamment les plus directement concernées par les technologies cognitives multimédia : vision, audition et toucher, ne fonctionnent pas indépendamment les unes des autres, et forment une perception multimodale réalisée dans des contextes attentionnel, motivationnel, décisionnel, mémoriel et émotionnel qui la guident et la modulent. Cette perception multimodale contextuelle est couplée à des systèmes moteurs - œil, tête et corps, impliquant action, motricité, posture, eux-mêmes susceptibles d'être suppléés et augmentés par des outils techniques – qui modifient en permanence les entrées sensorielles et les possibilités d'action.

Le langage, faculté cognitive majeure, est lui-même au carrefour de mécanismes de perceptions, d'actions et d'interactions qui règlent en partie son fonctionnement et aident à en délimiter les spécificités. Cette faculté est aussi régie et modulée par des contextes émotionnels, attentionnels, motivationnels dont on découvre à quel point ils participent à la génération de sens.

Ces constats entraînent des reformulations du questionnement sur ces fonctions cognitives autour de « Défis scientifiques » pour lesquels de nouvelles théories, de nouveaux paradigmes, de nouveaux modèles qualitatifs mais surtout quantitatifs sont nécessaires, particulièrement dans un contexte d'interfaces Cognition-Technologies.

Défi n°1 – Quels sont les mécanismes d'analyse et de segmentation des scènes perceptives, et les principes de contrôle des systèmes moteurs ?

Segmentation des scènes naturelles et perception 3D

L'organisation des scènes visuelles ou sonores implique des processus de segmentation, de sélection, d'identification des éléments de l'environnement permettant la structuration de la perception dans un monde tri-dimensionnel. Un travail de recherche fondamentale est nécessaire pour comprendre les mécanismes d'extraction et d'identification des informations visuelles et sonores. Cette question doit être étudiée au regard de l'intentionnalité, c'est-à-dire de l'interaction entre des informations endogènes consécutives aux expériences mémorisées par l'individu et des informations exogènes issues de l'interaction avec l'environnement. Une des difficultés sous-jacentes à l'étude des processus perceptifs est la décomposition des caractéristiques élémentaires des objets en unités perceptives nécessitant des mécanismes d'intégration multidimensionnelle et multisensorielle. Il s'agit ainsi de comprendre l'influence de la finalité comportementale et des mécanismes attentionnels, ainsi que le rôle de la mémoire et des contingences sensorimotrices dans la constitution de l'expérience perceptive. Des mécanismes plus élaborés, qui restent à élucider, permettent à partir de données stéréoscopiques ou binaurales l'intégration des éléments de l'environnement au sein de scènes perceptives tri-dimensionnelles. Ces espaces peuvent donner lieu à des représentations qui peuvent être réactualisées et utilisées pour la navigation à distance et la description des environnements. Les mécanismes cognitifs permettant la constitution et l'utilisation de ces cartes cognitives doivent faire l'objet d'investigations spécifiques, en particulier dans le contexte des technologies innovantes (simulateurs, réalité virtuelle...)

Les applications dans ce domaine concernent les dispositifs artificiels (rétines artificielles, implants auditifs), les interfaces bio-inspirées et les simulateurs. Dans le domaine des environnements virtuels, les défis concernent la constitution d'environnements visuels et sonores améliorant la sensation de présence et d'immersion, les images de synthèse comportant un design et un rendu graphique satisfaisants, les outils de visualisation et de navigation 3D. Pour une utilisation appropriée de ces systèmes, il est nécessaire d'évaluer l'impact des latences technologiques sur le comportement, le point de vue à privilégier, les conditions permettant les sensations de confort et de validité écologique ainsi que l'optimisation des couplages perception-action. Se pose également la question du transfert des acquis vers les environnements naturels. Dans le domaine de l'intervention thérapeutique se pose la question de la substitution et suppléance sensorielle et de l'utilisation de bio-feedback.

Nature et émergence des invariants moteurs

Malgré une meilleure compréhension des actes moteurs intentionnels, il reste à identifier les lois de contrôle sensori-moteur mises en œuvre dans divers contextes à partir des propriétés cinématiques et cinétiques des productions motrices. Se posent en outre les questions de l'émergence de la stabilité comportementale, de l'ontogenèse des lois de contrôle et des invariants sensorimoteurs et du rôle des conséquences sur les formes comportementales. Il est ainsi nécessaire de développer de nouveaux formalismes des relations perception-action s'appuyant sur les notions d'architectures intégrées prenant en compte à la fois les notions d'invariants sensorimoteurs et de bruit comportemental. Des structures minimales pré-existantes et des relations stabilité-réactivité deviennent des éléments essentiels de cette réflexion, tout comme les notions de recyclage des compétences et d'innovation comportementale. A cela s'ajoute la question du rôle des contraintes biomécaniques, physiologiques et situationnelles dans la mise en œuvre des lois de contrôle. Un autre volet concerne l'apprentissage et en particulier le rôle de l'imitation et de l'imagerie motrice dans l'acquisition de nouveaux comportements.

Défi n°2 – Comment se construisent les relations entre un organisme et son environnement ? Comment sont sélectionnées et contrôlées les interactions perceptuo-motrices dans la boucle intégration-décision-prédiction ? Comment sont-elles modulées par le contexte émotionnel, situationnel, motivationnel ? Comment sont-elles investies par les mécanismes d'interaction sociale ?

Les applications possibles concernent les modèles experts, la robotique, les assistances pour l'éducation et la rééducation dans le domaine de la santé.

Intégration, prédiction et décision

Les composantes perceptives et motrices du comportement ne se suffisent pas à elles seules et des modèles intégratifs de ces deux composantes doivent être envisagés. Il s'agit en particulier de relier les prises de décision de l'organisme aux aspects intentionnels et aux possibilités d'action, modélisés à partir de théories sur l'incertitude. Il existe une véritable spécificité de la perception pour l'action qu'il convient de révéler, en identifiant les mécanismes de sélection des réponses comportementales et le rôle des prédictions sensorimotrices dans leurs composantes efférente et afférente. Dans cette perception active, les interactions entre processus endogène et exogène doivent être mieux compris, ainsi que les conséquences cognitives de l'embodiment et des capacités d'énaction. Une attention toute particulière doit être portée à l'importance des mécanismes prédictifs dans les processus de sélection et de décision motrices. Il s'agit ainsi de replacer la motricité au centre des actes perceptifs et cognitifs, en posant les bases d'une véritable cognition motrice. Cette approche doit permettre de mieux comprendre le fonctionnement de la conscience, mais également d'autres fonctions comme l'agentivité ou l'empathie.

Les applications concernent les systèmes autonomes, les systèmes experts...

Relations perception-action et cognition sociale

L'acte moteur doit être vu non pas uniquement du point de vue de l'acteur, mais également de celui de l'observateur qui cherche à relier geste et sémantique, gestes et communication en contexte social. Il s'agit ici de comprendre le rôle de la motricité dans la communication sociale, de s'intéresser aux formes possibles de coopération motrice ainsi qu'au rôle des séquences gestuelles dans la communication non verbale, d'étudier la spécificité et le rôle des gestes communicatifs, le rôle de l'imitation dans la mise en œuvre d'une relation sociale, ainsi que le rôle de la simulation motrice dans l'empathie.

Les applications concernent les systèmes multi-agents, les interactions avec des systèmes artificiels, la rééducation thérapeutique, la robotique humanoïde...

Défi n°3 – Quelles sont les bases génétiques, neurobiologiques, cognitives du langage humain ? Quelles sont les spécificités des mécanismes et des fonctions du langage ?

Génétique, neuro(bio)logie, cognition, développement

Véritable carrefour entre perception, motricité, mémoire, apprentissage et cognition sociale, le langage – pensé, exprimé ou écrit – occupe une place centrale et particulière dans la cognition, ouvrant sur de grandes questions fondamentales. Comment et sur quels substrats génétiques et quels mécanismes et circuits neuronaux sont implémentées les fonctions langagières, apparues tardivement au cours de l'évolution ? Peut-on dissocier ou non les composantes spécifiques du langage de composantes plus générales du système cognitif, dans la phylogenèse, dans le développement, dans la cognition adulte et mature, dans les dysfonctionnements et les pathologies ? Progresser sur ces questions permettra de faciliter l'apprentissage, le développement et la maîtrise des fonctions du langage, et de mieux diagnostiquer, soigner, compenser et rééduquer ses troubles et perturbations.

Prosodie, intonation, gestuelle, posture, mouvements et expressions faciales participent au sens exprimé par le locuteur en situation, dans une interaction multimodale, dynamique et complexe avec la syntaxe, le lexique et la grammaire, générés dans un contexte donné. Comprendre ces interactions est au cœur de problématiques nouvelles, rendues saillantes par l'introduction de technologies de l'oral et de l'écrit qui sont largement « aveugles » à cette complexité. Les fonctions langagières peuvent être étudiées dans toute la panoplie de l'environnement cognitif, de l'expérimentation « *in vivo* » avec les outils classiques et nouveaux de la (neuro)(psycho)linguistique, à l'élaboration de nouvelles théories et de nouveaux outils de simulation et de modélisation, exploitant les nouvelles technologies pour en élaborer de nouvelles, mieux adaptées au traitement automatique du langage naturel.

Relations entre langage et cognition en contexte naturel

Ces relations doivent également être étudiées « *in situ* », faire l'objet de nouveaux paradigmes, être immergées dans les situations réelles et spontanées d'usages du langage hors du laboratoire : linguistique de terrain, pragmatique, permettant de constituer et étudier des corpus recueillis en situation, riches du contexte d'interaction (corporalité, motricité, mémoire, raisonnement / contexte pragmatique et émotionnel / *situated linguistics*) dans lequel s'énonce le discours.

Défi n°4 – Comment utilisons-nous nos capacités cognitives et langagières pour communiquer et interagir, et construire des systèmes interactifs adaptés ?

Utiliser les nouvelles technologies de l'information et de la communication pour les développer

Depuis plus d'un siècle, les technologies (radio, téléphone, télévision, Internet, web marchand, téléphone mobile, ordinateurs portables, GPS) modifient en profondeur les communications interpersonnelles. Améliorer les systèmes de dialogue, homme-machine et homme-machine-homme implique que les technologies comprennent le sens et les intentions des locuteurs. Doter les technologies des capacités humaines de traitement de la langue –raisonner et s'émouvoir, utiliser les non-dits, les présupposés communicatifs, les aspects pragmatiques et sémantiques implicites dans le discours– et des moyens d'une restitution de leur production (synthèse multimodale, agents conversationnels, systèmes de dialogue), qui soit intuitive pour l'utilisateur, est un défi théorique, conceptuel, logiciel et technologique considérable. Relever ce défi requiert, là encore, un effort coordonné de disciplines diverses, le partage de concepts et d'une langue (!) commune et comprise par chacun, ainsi que des efforts structurels d'équipements lourds permettant un travail collaboratif à distance sur des corpus partagés. Mettre les technologies cognitives au service de la recherche sur ces mêmes technologies paraît indispensable, et demande un engagement fort pour la recherche.

2. De la cognition individuelle à la cognition sociale

(Ateliers 6, 9 et 31)

La cognition contextuelle et énaïve d'un individu est immergée dans un champ d'interactions sociales qui la façonnent. Étudier et comprendre les processus à l'œuvre est devenu un enjeu d'autant plus fondamental que la diffusion et l'usage croissant des technologies « cognitives » en font des technologies « socio-cognitives » induisant des comportements techno-sociaux nouveaux. Internet et téléphonie mobile tissent un réseau d'interactions où collaborations, coopérations, décisions, croyances et opinions se développent dans une spatio-temporalité nouvelle et où les effets d'échelle sont encore mal évalués et peu compris - entre autres par les acteurs eux-mêmes (cf. FaceBook).

L'expression des fonctions cognitives individuelles est modulée, formée ou induite par la présence et les actions d'autrui ; un ensemble de compétences cognitives « dédiées » à cette cognition sociale est acquis *grâce à* et *dans* cette interaction : identité, confiance, morale, empathie, langage, etc., comme l'attestent, en creux, les pathologies de la cognition sociale (l'autisme par exemple).

De façon remarquable, les interactions sociales incarnées – interactions en présence de l'autre – qui prévalaient avant la diffusion des technologies modernes sont *associées à*, et partiellement *remplacées par*, des interactions sociales désincarnées - interactions à distance, où le langage, écrit et parlé, occupe une place centrale. Au vu des développements scientifiques récents soulignant le rôle de la motricité et de la communication non-verbale dans les interactions interindividuelles, les technologies socio-cognitives introduisent des modifications profondes.

Les conséquences et les apports de ces transformations sur la cognition sociale ne sont pas aisément prédictibles et doivent faire l'objet de recherches extensives et intensives. Il faut à ce sujet remarquer que les technologies sociales sont dans une phase dynamique de diffusion et d'appropriation où coexistent des usages diversifiés induisant de larges différences interindividuelles qui, en retour, complexifient et affectent la cognition sociale.

De cette cognition émerge une cognition collective autonome, constituant des processus de décisions collectives, de coopération, de collaboration où les savoirs, objectifs et compétences sont distribués. Il ne fait pas de doute que les technologies « socio-cognitives » transforment en profondeur ces processus. Là encore, il paraît indispensable de comprendre les mécanismes fondamentaux en jeu dans la cognition sociale « naturelle », humaine ou animale, pour apprécier, par contraste, les effets d'une cognition techno-sociale, filtrée ou augmentée par des dispositifs techniques qui bouleversent l'espace-temps du sujet.

Avancer sur ces questions facilitera en retour le développement d'agents artificiels en interaction avec d'autres ou avec l'homme (robots sociaux par exemple).

Sur la base de ces constats, quelques défis majeurs émergent :

Défi n°5 – Peut-on faire dériver des capacités d'interactions sociales humaines de capacités cognitives individuelles ou de mécanismes d'interactions animales préexistants ? Peut-on définir les bases cognitives et génétiques des pathologies de la cognition sociale ?

Cognition animale individuelle et sociale / Construction des croyances, cognition morale, culturelle / Prérequis, précurseurs, systèmes noyau, endophénotypes / interrelations entre pathologies / Liens entre gènes et comportements / de la psychiatrie à la génétique / Pharmacologie, psychotropes et cognition, altération des fonctions cognitives / Evaluation des capacités cognitives, des thérapies cognitives, psychiatrie et neurosciences dégénératives / Le langage interrogé du point de vue de la cognition sociale / Comportement non verbal, paralinguistique, tacite dans la communication.

Défi n°6 – Comment intégrer mécanismes cognitifs individuels et mécanismes d'interaction collective au sein de principes d'interaction sociale réalistes et de systèmes socio-techniques efficaces ?

Morphogenèse des structures sociales, couplage cognition individuelle et sociale, co-formation de l'identité et de la structure / Actions collectives instrumentalisées, co-évolutions / Systèmes socio-

techniques (robots, web, etc.) / responsabilité, confiance, mutations et médiations cognitives / Construction des savoirs collectifs, remises en question par les technologies.

3. Substrats : Neurosciences, Modélisation et Technologies

(Ateliers 22 et 25, GDR Robotique et GDR Vision)

Lorsque l'on choisit la démarche d'observer ou de réaliser l'émergence de fonctions cognitives à partir d'un substrat, les contraintes que l'on rencontre alors posent un certain nombre de questions qui se révèlent fondamentales pour la compréhension de la cognition. Soulignons de plus que l'implantation sur un substrat permet plus facilement de rendre concrètes (d'opérationnaliser) ces fonctions cognitives.

Les substrats peuvent être physiologiques (neuronaux), électroniques (calculateurs, robots, circuits) ou simplement formels (cadres de modélisation, formalismes mathématiques). Les phénomènes pertinents peuvent être observés à partir de mesures diverses (imagerie, électrophysiologie, comportement).

Notons que, ici comme ailleurs, les développements théoriques et techniques ne sont pas l'apanage d'un seul domaine scientifique ; ils se construisent par des échanges équilibrés entre domaines qui proposent également des voies et des outils pour y répondre. Pour mentionner un exemple concret, la compréhension des processus de décision est un domaine suffisamment mûr, dont les enjeux sont suffisamment clairs aujourd'hui pour organiser des projets où électrophysiologie, neuroscience intégrative, robotique, modélisation, économie, psychologie sociale et cognitive contribuent de façon pertinente.

Il s'agit ainsi, et dans ce secteur plus particulièrement, d'associer des domaines « aux frontières de la cognition » (physique, systèmes complexes, théorie de l'information, biologie moléculaire, génétique, étude de processus organisés non cognitifs) et d'être prêts à bousculer les dogmes : le choix de certains formalismes mathématiques peut permettre d'aborder certains problèmes cognitifs sans y inclure *a priori* les connaissances actuelles des sciences du vivant ou de l'homme. Les redécouvrir ou les relativiser par le développement mathématique ou la simulation ne peut qu'apporter de nouveaux souffles dans ces domaines et poser de nouvelles questions.

Défi n°7 – Comment réaliser un système artificiel qui, à partir de compétences initiales simples, développe des capacités cognitives complexes en interagissant avec son environnement ?

Ceci pose la question de l'analyse émotionnelle et motivationnelle de l'environnement

Comment, à partir de comportements réflexes prédéfinis (visant à rechercher certains signaux, dits *de récompense*, à définir les buts généraux du système et à préserver son intégrité physique), en déduire l'organisation temporelle du comportement (la sélection de l'action) en donnant des valeurs émotionnelles ou motivationnelles aux objets et aux événements de son environnement ?

Ceci pose la question de la corporéité (embodiment)

Comment utiliser son corps pour découvrir les invariants du monde en se construisant des boucles sensorimotrices ? Comment construire des comportements complexes sur la base de boucles plus simples ? Comment anticiper des actions et des comportements adaptés à la situation présente ?

Ceci pose plus généralement la question de l'autonomie

Dans un cadre réaliste où le concepteur n'intervient que pour définir l'état initial du système et où les seules interventions ultérieures autorisées sont celles de l'environnement (qui peut-être dynamique, voire social), comment gérer le flux continu des perceptions (segmenter, étiqueter), comment construire l'architecture adaptée au problème posé ? Comment se servir de son architecture interne et de l'environnement pour acquérir graduellement des compétences plus complexes sans perdre l'apport des compétences préalables ? En quoi les notions de corporéité et de motivation peuvent aider pour dérouler un tel programme développemental ?

Défi n°8 – Le système nerveux étant un exemple réussi de substrat physique support de fonctions cognitives, comprendre ses constituants peut-il permettre de mieux comprendre les fondements de la cognition ou de développer d'autres systèmes physiques dont le fonctionnement soit compatible avec le substrat physiologique et sa cognition émergente ?

Progresser dans l'acquisition et l'interprétation des mesures de fonctionnement du système nerveux

L'imagerie et l'électrophysiologie ont encore une grande marge de progression, à la fois dans le domaine technique et fondamental. D'un point de vue technique, les différentes approches doivent continuer d'améliorer leurs résolutions spatiales et temporelles, voire associer leurs mesures complémentaires à travers une approche multi-modale. Conjointement, une approche fondamentale doit accompagner ces développements afin de mieux modéliser les signaux complexes riches mais partiels que fournissent ces différentes techniques. Ainsi, pour une meilleure compréhension de ces données, les modèles actuels doivent s'attacher à incorporer plusieurs modalités (fusion), prendre en compte les aspects dynamiques et non-linéaires des activités cérébrales en réseau (modèles de connectivité), comprendre la nature de la variabilité intra puis inter-individuelle, étayer les liens entre les différentes échelles spatiales et temporelles (activité neuronale, effet BOLD...). Ces avancées sont cruciales pour une meilleure compréhension de la cognition humaine mais également pour le développement d'interfaces cerveau-machine, autrement dit pour développer une cognition artificielle efficace et compatible avec la cognition humaine.

Développer des interfaces cerveau-machine plus intelligentes, plus performantes et mieux adaptées à la physiologie et aux caractéristiques du vivant

S'appuyant sur nos connaissances en neurosciences cognitives, le domaine en plein essor des interfaces cerveau-machine doit maintenant se tourner vers une approche pluri-disciplinaire, moins centrée sur les seuls problèmes d'ingénierie. Il doit considérer cette interaction du point de vue de l'homme comme de la machine. Ainsi il devra doter la machine d'une capacité d'apprentissage et de prise de décision adaptative. Cette adaptation pourra venir d'éléments physiologiques (choix de la position des électrodes, recherche de marqueurs comme l'attention, stimulation éventuelle, retour sensoriel) ou plus comportementaux (temps de traitement adapté au comportement, co-adaptation de la prothèse, intégration du retour sensoriel, ergonomie de l'interface). En retour, les interfaces cerveau-machine devraient apporter de nouveaux types de paradigmes expérimentaux permettant une recherche nouvelle sur la cognition humaine. Enfin, cette recherche plus appliquée, à visée clinique ou sociétale, se nourrira toujours de notre meilleure connaissance du lien entre substrat physiologique et processus computationnels sous-jacents.

Proposer de nouvelles architectures de calcul

La compréhension du calcul neuronal peut suggérer des solutions pour maîtriser de nouveaux modes de calcul sur un support réellement distribué (problèmes du calcul asynchrone, du routage de l'information, de la robustesse, de la modularité, de la gestion des entrées/sorties, de la mémoire, des horloges) qui serait un support électronique à l'émergence de fonctions cognitives.

4. Usages, médiations techniques et ingénierie cognitive

(Ateliers 18, 19 et 20, GDR Psycho-ergo et contribution de l'ARCO)

La présence démultipliée des dispositifs techniques dans tous les champs de l'activité humaine crée de nouveaux contextes sollicitant les fonctions cognitives et impliquant l'ajustement de celles-ci à de nouvelles contraintes. Le besoin de connaissances portant sur les activités cognitives sollicitées par les interfaces homme-machine ne peut que s'amplifier. Ces connaissances doivent être un reflet de l'activité mentale de l'utilisateur et nécessitent de régulières mises à jour, surtout dans le contexte créé par le passage de la notion d'*interaction* à celle de *coopération* homme-machine. L'approche scientifique des usages doit permettre de dégager des marqueurs qui offrent une certaine pertinence pour l'amélioration des conditions d'exercice des activités cognitives complexes. Dans les environnements impliquant un haut niveau de médiation technique, il est essentiel que les chercheurs en sciences et technologies cognitives dépassent une vision qui serait exclusivement technocentrée, au bénéfice d'une approche focalisée sur l'interactivité entre l'homme et l'artefact, le plus souvent dans une boucle en temps réel.

Des avancées technologiques d'une signification particulière pour les sciences cognitives se sont manifestées dans les périodes récentes et sont appelées à prendre une place de plus en plus grande dans l'étude de la cognition humaine. Il s'agit notamment des technologies de réalité virtuelle, des technologies liées au recueil de traces numériques, des technologies liées aux réseaux, ou encore des technologies pervasives. Le plongement des situations expérimentales classiques dans ce bain technologique a rapidement démontré le bénéfice apporté à l'étude du comportement et de la cognition humaine. Le gain de connaissance acquis par le chercheur en environnement virtuel est souvent implicitement supposé transférable à l'environnement naturel, mais c'est là une question qui a encore largement besoin d'être validée. D'autre part, ces nouveaux types d'environnements – présents dans les secteurs de l'industrie, de la formation, de la remédiation, des loisirs – créent de nouvelles formes d'expériences cognitives qui demandent à être analysées pour elles-mêmes, afin de mieux comprendre les processus cognitifs responsables d'une interactivité efficiente et d'une immersion réaliste. L'immersion peut concerner une situation ou même une relation entre un malade et son thérapeute, ou bien entre un apprenant et l'enseignant, relation où il s'agit de s'accorder sur une représentation commune et une compréhension mutuelle.

Les technologies évoluent beaucoup plus vite que leur appropriation et que notre compréhension des phénomènes qu'elles engendrent. Dans ce domaine, un enjeu supplémentaire est la mutation des environnements virtuels vers des environnements augmentés, combinant des données physiques et numériques et introduisant ainsi de nouveaux contextes de mise en œuvre des activités cognitives. Mais le développement de tels environnements nécessite d'adapter les modes de conception. Jusqu'à peu, chaque technologie développée était testée auprès de potentiels usagers avant d'être introduite sur le marché. Actuellement, les usages doivent être intégrés dans les phases de conception : partant de technologies existantes, l'utilisateur est plongé dans des situations où ses détournements d'usage, les manques affichés ou les complémentarités observées fournissent les bases de nouvelles fonctionnalités à développer. L'observation, le comportement et l'appropriation jouent ici un rôle de premier ordre.

Défi n°9 – Comment les technologies éclairent-elles et comment transforment-elles la cognition humaine ? Comment fonctionnent les co-adaptations entre cognition et technologies ?

Ce défi pose la question des mutations cognitives occasionnées par l'entrée des technologies dans la vie quotidienne des individus. Peut-on aller jusqu'à envisager que nous soyons en présence d'une véritable mutation des compétences cognitives humaines ?

Il est aussi nécessaire de circonscrire des phénomènes plus subtils, comme le processus de sélection "darwinienne" que subiraient les technologies par l'usage effectif que les individus en font dans leur vie quotidienne.

Que peut-on dire des mécanismes cognitifs responsables des réponses (adaptées et inadaptées) de l'homme à l'égard des environnements technologiques complexes ?

Enfin, comment la démarche scientifique est-elle affectée par les technologies mises au service de l'étude du comportement ? En particulier, dans les travaux empiriques utilisant la réalité virtuelle, peut-on rendre compatible deux exigences souvent perçues comme contradictoires, à savoir le contrôle expérimental des situations et la validité écologique de celles-ci ?

Défi n°10 – Comment développer une démarche bien fondée en ingénierie pour des IHM complexes, adaptée aux architectures cognitives humaines, dans ses principes ou dans ses usages ? Comment mieux cerner les voies que les technologies nous ont véritablement ouvertes ?

Ce défi conduit à identifier les frontières (mais aussi les possibilités de collaboration) entre les technologies mises au service de l'investigation scientifique de la cognition et les technologies qui pénètrent nos environnements et accompagnent de fait nos activités cognitives ordinaires.

Ces questions débouchent sur le monde des applications et celui du soutien apporté par les technologies à la formation et à la gestion des compétences, par exemple en matière d'éducation ou d'environnement industriel.

Dans des domaines très spécifiques, mais de large application sociétale, la question se pose de la contribution des technologies cognitives à l'"intelligence ambiante". Il en va de même pour le développement des processus créatifs dans les environnements virtuels.

En environnement bureautique ou domotique, il y a lieu d'affiner notre connaissance de la communication et de l'interaction des utilisateurs avec des agents virtuels simulés.

Technologies et cognition humaine forment un système. La conception de technologies est donc une conception de systèmes homme-machine. La cognition humaine devrait être davantage prise en compte dans la conception d'automates autonomes qui interfèrent dans l'espace de travail d'opérateurs humains. L'enjeu est alors de concevoir des machines qui ont un savoir-faire, mais surtout des machines qui ont un savoir-coopérer.

5. Santé et handicaps : technologies pour l'évaluation, le diagnostic, le pronostic et la remédiation

(Ateliers 11, 26 et GDR GRAEC)

Si la définition du terme « handicap » ne pose guère de problèmes dans le champ de la pathologie innée, développementale ou acquise, il est proposé d'en étendre le périmètre à toute situation complexe et/ou inhabituelle susceptible d'être rencontrée par des sujets non pathologiques. Dans les deux cas, place devrait être faite tant à la caractérisation fine des handicaps – aux plans descriptif et interprétatif – qu'à la prise en compte des stratégies

palliatives – spontanées ou « médiées » de différentes manières (y compris technologiques) – qui sont déployées dans le but de les contourner. Place devrait être également ménagée à des tentatives de modélisation de telle ou telle situation de handicap.

Si les dysfonctionnements d'origine centrale – dans des termes empruntés aux modèles (neuro)psychologiques – et conduisant à une situation de handicap trouvent tout naturellement leur place dans l'entreprise prospective envisagée, il semble tout aussi important d'inclure dans cette dernière les perturbations habituellement qualifiées de « périphériques » ou de « bas niveau », et ce surtout à partir du moment où est prise en compte l'intervention de stratégies compensatoires, lesquelles ne peuvent être mises en œuvre sans le recours à des processus de (plus) haut niveau. En particulier, s'il est clair que les Technologies de l'Information et de la Communication ne peuvent intervenir sur les mécanismes causaux des carences périphériques ou centrales, sensorielles, motrices ou cognitives, elles peuvent être utilisées pour pallier ces dernières, y compris à l'échelon de l'interface cerveau/ordinateur (« brain/computer interface »), allant jusqu'à la forme de « neuroprothèses » et ce sans oublier, dans certains cas, la Robotique. Ainsi, et dans un tel contexte, peuvent être énumérées, de manière non-exhaustive, des situations de handicap – dans un contexte pathologique ou non – affectant, isolément ou de manière coordonnée, des facultés impliquant des fonctions comme la perception, le langage (oral et/ou écrit), la mémoire, l'attention, la motricité intentionnelle, les gnosies, le calcul, le raisonnement et, plus généralement, ces fonctions cognitives et exécutives considérées ensemble.

Compte tenu de la définition du « handicap » retenue, les populations visées couvrent des terrains aussi vastes que les pathologies cérébrales traumatiques (trauma-crâniens, accident vasculaire cérébral), infectieuses (encéphalopathies) et dégénératives (démences), les pathologies développementales (autisme, dyslexie) et les pathologies mentales (schizophrénie), etc., mais aussi les apprenants (ou néophytes), sujets en situation de stress, sujets âgés face au monde numérique, les sujets normaux en situation complexe, inhabituelle et/ou de « double tâche »...

Défi n°11 – Comment développer de nouveaux outils technologiques pour assister, réparer, augmenter le fonctionnement du corps et du cerveau ?

Il s'agit d'une part de mieux comprendre les interactions multimodales pour développer la transmodalité et les dispositifs de suppléance, d'élaborer des outils de communication augmentée, d'intelligence ambiante, des systèmes intelligents avec capteurs, effecteurs et moteurs de raisonnement médical permettant de s'insérer dans des environnements intelligents pour les personnes âgées ou handicapées.

L'autre versant concerne le développement de nouveaux systèmes et protocoles d'assistance neuro-cognitive, autour de questions et concepts en plein développement tels que : interfaces cerveau-ordinateur, neuroprothèses, en relation avec l'étude des bases neurales des signaux observés, le développement de modèles des substrats neuronaux, l'étude de la coadaptation [en relation avec les approches pharmacologiques et comportementales], mais aussi des questions techniques sur les systèmes temps réel, les mode de couplage et les compatibilités biologiques et électroniques, le caractère plus ou moins invasif et réversible, les problèmes d'apprentissage/adaptabilité ; sans ignorer évidemment, ici comme ailleurs mais sans doute plus encore qu'ailleurs, les questions d'éthique et en l'occurrence de bio-éthique.

Les ingrédients du passage à une médecine translationnelle et à une prise en charge à large spectre du handicap cognitif (et notamment d'un des enjeux clés qui est celui du vieillissement et de ses conséquences cognitives à large spectre) s'articulent essentiellement en deux grands secteurs.

Défi n°12 – Comment définir des outils, des systèmes, des modèles pour accompagner les handicaps cognitifs, du pronostic au diagnostic, de la remédiation (rééducation) à l'évaluation.

Le premier secteur concerne l'ensemble des processus d'évaluation préalable, d'analyse et de diagnostic, autour de questions et de pistes telles que : Analyse du comportement, des fonctions communicatives et des fonctions exécutives / Évaluation de l'autonomie / Analyse des situations de handicap / Etude des différences inter-individuelles / Etude du langage des aînés pour mieux « comprendre » le vieillissement normal et pathologique / Analyse de la sémiologie de la motricité oculaire appliquée à des maladies neurodégénératives, neuroophtalmologiques, pédiatriques, psychiatriques, etc.

Le second secteur recouvre les stratégies de remédiation et de rééducation (plasticité neuronale et comportementale / thérapies cognitives / transferts de compétence, d'apprentissage ou de réapprentissage d'une modalité à une autre ou d'une fonction à une autre / etc.). Dans ce chapitre une question centrale doit être posée et travaillée de façon beaucoup plus systématique qu'elle ne l'est actuellement : c'est la question de l'évaluation des méthodes, qui implique à la fois une réflexion en amont sur les processus d'évaluation (que faut-il évaluer, avec quelles méthodes, pour quels objectifs), et probablement la mise en œuvre de protocoles d'évaluation quantitative systématisés.

6. Apprentissages, éducation et technologies

(Ateliers 1, 3 et 17)

La demande de technologies pour l'éducation, la formation, et plus largement l'apprentissage humain a subi de nombreuses évolutions liées à la fois à (1) l'évolution très rapide des technologies (hypertextes, systèmes à base de connaissances, technologies collaboratives, réalité virtuelle et augmentée, informatique mobile et ambiante, technologies haptiques, télévision interactive, etc.), (2) l'évolution – tout particulièrement dans la période actuelle – des usages (banalisation de l'accès aux ordinateurs, émergence d'internet, émergence du Web 2.0, etc.) et (3) l'évolution des théories ou cadres conceptuels (théories de la cognition, de l'apprentissage, de l'activité). Il ne concerne plus uniquement des domaines scolaires bien formalisés (cf. par exemple l'émergence de ses usages en formation professionnelle, qui amène à prendre en compte de nouveaux types de connaissances gestuelles ou perceptuelles). L'évolution des technologies et des usages amène à un renouvellement des situations d'interactions humain-machine, apprenant-connaissance et humain-humain (évolution de la nature du contexte avec les technologies mobiles, etc.). Elle amène également à des situations d'apprentissages ayant des caractéristiques spécifiques (situations d'apprentissage informelles, situations où se développent des apprentissages inattendus ou encore implicites).

Défi n°13 – Comment définir des outils, des systèmes, des modèles pour apprendre autrement, pour apprendre mieux ?

Quels sont les théories et modèles qui permettent de comprendre les nouvelles formes d'interaction qui émergent de l'utilisation des évolutions technologiques et de leurs usages, et comment s'en servir comme fondement pour la conception de logiciels pour l'enseignement et l'apprentissage ?

Comment identifier, modéliser et opérationnaliser les connaissances en jeu, les modalités d'accès à ces connaissances et leurs interactions ?

Quels sont les théories, modèles, méthodes permettant d'étudier les questions d'ergonomie posées par la conception de dispositifs centré-apprentissage, par l'analyse de l'activité des apprenants et l'évaluation des apprentissages ?

Comment articuler la compréhension des phénomènes cognitifs et les phénomènes liés aux transformations des métiers et structures institutionnelles de l'enseignement ?

III. Préconisations de PIRSTEC

Préconisation 1 – Un programme de recherche en sciences cognitives devrait être lancé conjointement par les secteurs STIC, Biologie-Santé et SHS, car c’est au sein de ce partenariat que l’essentiel des recherches sont menées, que l’essentiel des applications sont développées, et que la communauté française dans le domaine en a déjà une pratique avérée.

Préconisation 2 – Ce programme devrait s’accompagner de la mise en place d’un comité intersectoriel si possible pérenne, capable d’évaluer des recherches interdisciplinaires qui soient à la fois installées sur des excellences disciplinaires, et sur des collaborations interdisciplinaires fortes.

Préconisation 3 – Les appels à projets issus de ce programme devraient encourager les recherches développant à la fois des collaborations interdisciplinaires claires et actives (par exemple sur la base de l’existence d’au moins deux équipes de deux disciplines différentes) et des méthodologies multiples (i.e. neuroimagerie et modélisation, comportement et simulation, corpus et évaluation, etc.).

Préconisation 4 – C’est dans le contexte d’une cognition resituée dans ses mécanismes sensori-moteurs (« incarnée »/ « embodied »), dans ses dynamiques temporelles, dans ses variétés interindividuelles, dans son environnement, dans son contexte émotionnel, dans ses interactions sociales, qu’il faut soutenir prioritairement des recherches.

Préconisation 5 – Les thématiques fondamentales au cœur du programme pourraient s’articuler dans trois directions :

- fonctions cognitives et exécutives (perception, motricité, langage dans leur(s) environnement(s) d’exécution, attention, charge, planification, conscience, émotions, créativité)
- cognition sociale (bases neurales, développement, comportements sociaux, systèmes socio-techniques)
- substrats (neuronaux, formalismes mathématiques, hardware)

Préconisation 6 – Des recherches, étroitement couplées avec les thématiques fondamentales précédentes, pourraient être soutenues dans trois grands secteurs d’interface :

- Santé et handicap (prothèses et neuro-prothèses, diagnostic et remédiation, environnements et interfaces)
- Éducation et apprentissage (étude des dynamiques d’apprentissage, des couplages avec les fonctions cognitives générales, développement de systèmes informatiques, recherches sur l’évaluation des systèmes, expérimentations de terrain)
- Médiations et technologies (systèmes socio-techniques, impacts cognitifs des médiations techniques, ergonomie cognitive, technologies cognitives)

Préconisation 7 – Les projets de recherche pourraient être orientés autour de logiques de « grands défis » pour les STIC, les SDV, les SHS. Une liste indicative de grands défis est ainsi proposée dans le rapport de synthèse.

IV. Grands défis scientifiques identifiés par PIRSTEC

- Défi n°1 Quels sont les mécanismes d'analyse et de segmentation des scènes perceptives, et les principes de contrôle des systèmes moteurs ?
- Défi n°2 Comment se construisent les relations entre un organisme et son environnement ? Comment sont sélectionnées et contrôlées les interactions perceptuo-motrices dans la boucle intégration-décision-prédiction ? Comment sont-elles modulées par le contexte émotionnel, situationnel, motivationnel ? Comment sont-elles investies par les mécanismes d'interaction sociale ?
- Défi n°3 Quelles sont les bases génétiques, neurobiologiques, cognitives du langage humain ? Quelles sont les spécificités des mécanismes et des fonctions du langage ?
- Défi n°4 Comment utilisons-nous nos capacités cognitives et langagières pour communiquer et interagir et construire des systèmes interactifs adaptés ?
- Défi n°5 Peut-on faire dériver des capacités d'interactions sociales humaines de capacités cognitives individuelles ou de mécanismes d'interactions animales préexistants ? Peut-on définir les bases cognitives et génétiques des pathologies de la cognition sociale ?
- Défi n°6 Comment intégrer mécanismes cognitifs individuels et mécanismes d'interaction collective au sein de principes d'interaction sociale réalistes et de systèmes socio-techniques efficaces ?
- Défi n°7 Comment réaliser un système artificiel qui, à partir de compétences initiales simples, développe des capacités cognitives complexes en interagissant avec son environnement ?
- Défi n°8 Le système nerveux étant un exemple réussi de substrat physique support de fonctions cognitives, comprendre ses constituants peut-il permettre de mieux comprendre les fondements de la cognition ou de développer d'autres systèmes physiques dont le fonctionnement soit compatible avec le substrat physiologique et sa cognition émergente ?
- Défi n°9 Comment les technologies transforment-elles la cognition humaine ? Comment nous permettent-elles de pénétrer à l'intérieur de la cognition pour mieux la comprendre ? Comment fonctionnent les co-adaptations entre cognition et technologies ?
- Défi n°10 Comment développer une démarche bien fondée en ingénierie pour des IHM complexes, adaptée aux architectures cognitives humaines, dans ses principes ou dans ses usages ?
- Défi n°11 Comment développer de nouveaux outils technologiques pour assister, réparer, augmenter le fonctionnement du corps et du cerveau ?
- Défi n°12 Comment définir des outils, des systèmes, des modèles pour accompagner les handicaps cognitifs, du pronostic au diagnostic, de la remédiation (rééducation) à l'évaluation ?
- Défi n°13 Comment définir des outils, des systèmes, des modèles pour apprendre autrement, pour apprendre mieux ?

V. Enjeux structurels, Interfaces, Ingénierie

Nous présentons ici des enjeux de prospective liés à la structuration du champ de recherche dont nous avons décliné les thématiques spécifiques dans les sections précédentes. Ces enjeux sont apparus à plusieurs reprises dans les rapports de synthèse issus des réunions de prospective. Il est intéressant de constater que l'importance de ces enjeux structurels fait l'objet d'un large consensus, malgré la diversité et l'étendue des thématiques abordées. Prendre en compte ces enjeux, proposer et mettre en œuvre des solutions concrètes pour relever ces défis structurels est d'une importance majeure pour développer les recherches et atteindre les objectifs fixés. Une prise en compte réaliste et effective des besoins exprimés est indispensable pour développer les grandes orientations qui ont été identifiées, dont on a vu l'importance pour la recherche fondamentale et la société. Bien que ces enjeux relèvent des organismes de recherche et non de l'ANR, il semble néanmoins utile d'en faire état dans ce rapport.

Une réflexion approfondie sur ces enjeux et la mise en œuvre de solutions fonctionnelles et souples au niveau du territoire français et européen dynamisera aussi bien la recherche que la pluridisciplinarité indispensable à son développement. Des solutions qui transcendent les cloisonnements disciplinaires, institutionnels et géographiques et qui tirent avantage des spécificités de la recherche en France et en Europe doivent être trouvées, solutions qui ne sont pas nécessairement adaptées aux structures de recherches des États-Unis ou de la Chine, par exemple.

Deux aspects peuvent être distingués :

- des enjeux structurels liés aux relations et partenariats entre secteurs concernés par les développements des sciences et technologies cognitives ;
- des infrastructures de recherche proprement dites, qui peuvent favoriser l'interdisciplinarité et la mise en œuvre de partenariats entre les différents acteurs du domaine.

Les défis scientifiques identifiés par PIRSTEC concernant les enjeux sociétaux liés à la santé et à l'éducation ont également des conséquences pour le transfert des innovations de la recherche vers le public, impliquant les entreprises et le monde économique autant que les formations universitaires et professionnelles. En retour, formations et entreprises sont impliquées dans les transferts de l'industrie vers la recherche, dans des secteurs de hautes technologies, liés par exemple aux mesures d'un ensemble d'indices physiologiques, comportementaux ou sociaux, ayant des retombées potentielles dans les secteurs de la santé et de l'éducation.

La mise en œuvre de collaborations entre médecins et enseignants, et les acteurs de la recherche – chercheurs, enseignants-chercheurs, ingénieurs des secteurs publics et privés – se heurte à des difficultés particulières. Nous tentons ci-après de cerner les raisons de ces difficultés et de dégager des solutions pour les dépasser.

1. Analyse des relations entre partenaires académiques et partenaires d'interface

1.1. Cognition, Santé et Éducation

Les structures et les personnels de santé ou d'éducation constituent des lieux et des interlocuteurs privilégiés, dont l'implication est cruciale pour le développement des recherches en sciences et technologies cognitives.

Bien que PIRSTEC ait eu conscience de l'importance de contacter et impliquer ces partenaires privilégiés, il n'a pas toujours été en mesure de mettre en œuvre un dialogue approfondi pour des raisons diverses : difficultés d'identifier les personnes concernées ou intéressées, faible disponibilité de ces interlocuteurs, déficit d'une information claire sur les objectifs et les raisons d'engager un dialogue et des collaborations. L'existence de multiples initiatives, de programmes spécifiques, de travaux en prise directe sur des thématiques diverses – maladies neurodégénératives, enseignements utilisant les TICE, par exemple – entraînent que les relations entre les sciences cognitives et les recherches sur ces thèmes ne paraissent ni évidentes, ni nécessairement prioritaires à certains.

Il faut cependant souligner que chacun des ateliers soutenus par PIRSTEC a le plus souvent associé aux débats et discussions de prospective des représentants de ces domaines.

Secteur de la santé et structures hospitalières :

Le système hospitalier français est caractérisé par une organisation dans laquelle les chefs de service occupent une place centrale. Ce sont eux qui choisissent d'investir des forces dans la recherche, qui possèdent la formation scientifique nécessaire et qui sont les interlocuteurs privilégiés des scientifiques.

Dans ce contexte, les possibilités de développer des programmes pour évaluer les fonctions cognitives et tester des protocoles novateurs visant à remédier à certains troubles ou déficits cognitifs dépendent de leur engagement. Sans cet engagement, les chercheurs non-médecins rencontrent des difficultés pour mettre en œuvre des recherches cliniques, accéder aux patients, tester des protocoles innovants.

Lorsqu'elles existent, les collaborations n'impliquent pas toujours l'ensemble du personnel hospitalier – infirmier(e)s, aide-soignant(e)s, etc. – qui pourrait contribuer aux avancées de la recherche clinique et/ou bénéficier de formations, en particulier aux sciences cognitives. Sur un plan pratique, les expérimentations se déroulent souvent dans des conditions précaires, en l'absence de locaux dédiés à la recherche, dans les créneaux disponibles.

Il faut cependant souligner l'existence de centres d'investigation clinique (CIC) dont les objectifs correspondent pleinement aux besoins et attentes des chercheurs :

« Les principaux objectifs d'un CIC sont d'apporter un soutien logistique et technique pour la conception et la réalisation de protocoles, la mise à disposition de lits d'investigation clinique dans un environnement adapté aux contraintes particulières de la recherche clinique, la formation des médecins, pharmaciens et des professions paramédicales à la recherche clinique. Ces structures sont donc entièrement dédiées à l'organisation, la coordination et la réalisation d'essais cliniques, ainsi qu'à la réalisation de recherche translationnelle. Le CIC est un dispositif ouvert aux investigateurs de toute origine institutionnelle et aux industriels souhaitant

réaliser des recherches portant sur l'homme sain ou malade. » (Document repris du site de la DIRC Ile-de-France ; http://www.drirc.aphp.fr/cic/accueil_cic.php).

Notons que les thématiques de ces CIC (7 en région Île-de-France, plus d'une trentaine en France) concernent tous les secteurs de la santé ; ceux dédiés aux neurosciences restent peu nombreux, couvrent un vaste champ et concernent souvent des tests de médicaments ; les sciences cognitives y sont peu représentées.

Enfin, soulignons que, dans les domaines de la psychiatrie, de la neurologie et des pathologies impliquant les fonctions cognitives, la mise en œuvre de tests novateurs issus de la recherche fondamentale se heurte à des difficultés techniques et administratives importantes.

Secteur de l'Éducation et structures d'enseignement :

Les enjeux scientifiques pour les sciences et technologies cognitives dans le domaine de l'éducation et la formation sont immenses. Comme pour la santé, la mise en œuvre de recherches dans ce secteur souffre de difficultés structurelles importantes. Réaliser une étude dans un cadre scolaire ou dans des crèches pose des difficultés pratiques nombreuses que seul un chercheur très motivé réussit à surmonter. Dans ce contexte, ces études sont morcelées et concernent souvent une question spécifique dont les résultats ne peuvent être croisés avec d'autres, limitant alors la portée et la généralité des conclusions.

Dans le domaine plus spécifique des TICE, de multiples initiatives existent, impliquant des enseignants volontaires et des entreprises spécialisées. Cependant, la prise en compte des résultats scientifiques de la recherche cognitive fondamentale est rare (sur l'attention, l'émotion, la motivation, par exemple). Un aspect complémentaire concerne l'évaluation de l'utilisation des TICE dans l'éducation et la formation : à notre connaissance, il existe aujourd'hui peu de programmes d'évaluation des apports réels des TICE pour l'apprentissage. Un facteur de confusion sur l'intérêt manifesté par les apprenants pour les TICE est lié à la nouveauté même des technologies pour l'éducation : ces dispositifs, souvent « en expérimentation » dans des secteurs spécifiques, bénéficient d'un intérêt lié aux technologies et aux changements qu'elles introduisent dans la vie scolaire dont la part dans la motivation des apprenants doit être distinguée des apports effectifs des TICE pour l'apprentissage.

1.2. Entreprises, recherche et formations

Recherches pour l'innovation

Il est notoire que les relations recherche/entreprises sont peu dynamiques en France. Pour pallier ce fait, de nombreuses initiatives, au plan régional, national (pôles de compétitivité, pôles d'excellence, etc.) ou au sein des organismes (CNRS, INSERM, etc.) ont été développées ces dernières années pour améliorer la fluidité des transferts entre recherche et applications innovantes. Il n'est pas question de faire ici un état des lieux de ces initiatives ou d'en évaluer les résultats. Nous nous limiterons à des aspects liés plus spécifiquement aux sciences et technologies cognitives.

Les entreprises concernées par les technologies cognitives sont nombreuses mais d'envergure très différentes, allant de très grandes entreprises (EDF, Renault, Thalès, etc.) ayant les moyens de prospecter et d'exercer une veille scientifique qui permet d'identifier les laboratoires

ou chercheurs pertinents pour leur secteur d'activité, aux petites entreprises qui ne disposent pas de ces atouts, et qui ont souvent des objectifs à plus court terme. Les petites entreprises intéressées par les technologies cognitives sont nombreuses, ce qui est moins vrai du secteur du médicament par exemple. Identifier, contacter et mobiliser ces petites entreprises est difficile : elles n'ont ni le temps, ni l'argent pour investir dans la prospective scientifique. Pour ces raisons, ces entreprises sont peu ou mal informées des progrès de la recherche et ne sont donc pas en mesure d'établir des collaborations ou plus simplement d'intégrer les avancées scientifiques dans leur réflexion ou leurs produits.

Un second aspect est lié au fait que les concepteurs susceptibles d'innover dans le domaine des technologies cognitives au sein de ces entreprises peuvent penser qu'étant eux-mêmes doués de fonctions cognitives, une réflexion introspective permet de trouver la « bonne solution » au problème, sans qu'un recours à des chercheurs « spécialistes » soit nécessaire. Ce point est d'autant plus important que les services et produits proposés par les entreprises du secteur des technologies cognitives sont destinés à des populations différentes dont les compétences cognitives sont variables.

D'un autre côté, les aspects administratifs, comme la définition et la mise en œuvre de conventions précisant les droits des partenaires, peuvent être très lourds. Les chercheurs ne sont pas toujours enclins à consacrer du temps et des efforts à ces aspects administratifs. De fait, il faut souvent « changer de métier », dès lors que l'on veut simplement faire connaître une technique, une méthode ou un logiciel développé au laboratoire. La sélection d'innovations ayant potentiellement un fort impact, souvent financier, limite l'information sur les découvertes des chercheurs ou ingénieurs : l'innovation est conçue comme pouvant déboucher sur un produit commercialisable, avec si possible une forte plus-value. De ce fait, les développements liés à l'ingénierie de la recherche qui pourraient améliorer la qualité ou l'efficacité du travail, sans pour autant constituer un marché à forte rentabilité, ne peuvent être facilement portés à la connaissance des uns et des autres. La valorisation est ainsi perçue principalement sous l'angle industriel et financier et plus rarement sous celui de la diffusion des développements innovants qui sortent du cadre de la découverte scientifique publiable, mais qui pourraient, soit faciliter les recherches, soit déboucher à terme sur d'autres applications que celles initialement prévues.

La distinction entre « Recherches pour l'industrie » et « Industries pour la recherche » trouve ici son sens. Les efforts et les moyens sont aujourd'hui consacrés aux premières plutôt qu'aux secondes.

Innovations pour la recherche

L'évolution rapide des techniques matérielles et logicielles utilisées pour la recherche en neurosciences cognitives a profondément modifié la nature des métiers associés à ces recherches, tant pour les chercheurs que pour les ingénieurs et techniciens. La qualité et la rapidité des développements en ingénierie pour les sciences cognitives sont devenues un enjeu majeur qui détermine pour une bonne part la compétitivité des équipes au plan international. Cette compétitivité ne peut plus être assurée aujourd'hui par un ingénieur isolé au sein d'un laboratoire mais doit reposer sur l'expertise globale d'une large communauté. De ce point de vue, la France, dotée d'organismes de recherche puissants et disposants d'une imposante communauté de personnels qualifiés, est particulièrement bien placée pour relever le défi des développements informatiques et technologiques. A l'heure actuelle, les ingénieurs et les techniciens en sciences cognitives sont, du fait des évolutions techniques et informatiques, de plus en plus associés aux recherches en cours et donc informés précisément des problématiques scientifiques et des protocoles utilisés.

Des efforts importants ont récemment été consentis par les organismes de recherche pour mettre en œuvre des plateformes techniques de haut niveau, que ce soit dans le domaine de l'imagerie cérébrale (IRMf, MEEG), de l'électrophysiologie (imagerie optique) ou pour l'étude du comportement humain ou animal (réalité virtuelle, suivi et analyse de mouvement, etc.). L'accroissement des demandes en personnel qualifié qui en résulte n'a pas toujours été accompagné d'une réflexion relative à la nature des métiers d'ingénieurs et techniciens, ni à la coordination des agents impliqués. Il paraît souhaitable de favoriser la coordination des personnels directement concernés par les développements d'une ingénierie pour les sciences cognitives, entre autres dans le domaine des neurosciences, comme il ressort de l'atelier « Ingénierie » organisé par PIRSTEC. Notons que l'interdisciplinarité est là aussi indispensable : par exemple les chercheurs, ingénieurs et techniciens en sciences humaines et sociales ou les épidémiologistes ont développé une expertise forte dans la gestion de grandes masses de données et le « *data mining* » – en linguistique par exemple – qui serait d'une grande utilité pour la gestion de masses de données en neurosciences et en psychologie, ainsi que pour l'intégration de la génétique dans les recherches sur la cognition.

Il existe ainsi aujourd'hui un morcellement structurel des moyens en personnels techniques affectés aux laboratoires, qui assistent rarement à des manifestations scientifiques, ont peu d'occasions de rencontrer leurs collègues, d'échanger des informations et de coordonner leurs efforts. Vu le nombre, parfois très faible, des ingénieurs et techniciens au sein d'une même unité de recherche, ceux-ci sont isolés et ne bénéficient pas de l'expertise de la communauté. Il existe pourtant un fort potentiel en France – 11.700 chercheurs pour 14.400 ingénieurs, techniciens et administratifs pour le seul CNRS. Les ingénieurs et techniciens ne disposent pas toujours des infrastructures qui leur permettraient d'accroître leur efficacité, de valoriser et diffuser leurs réalisations, de partager savoirs et savoir-faire. S'il existe parfois une réflexion interne relative à l'organisation, à la formation et aux développements techniques et informatiques au sein de gros laboratoires bien dotés en personnel technique, ces initiatives locales sont peu ou pas connues ni valorisées (diffusion des supports de formation réalisés par ces équipes, par exemple).

2. Propositions

Globalement, la solution à ces problèmes d'interfaces, complexes, anciens et néanmoins, à notre sens, stratégiques, passe par deux grands ensembles d'outils et d'initiatives.

2.1. Formation, information, métiers

Formation – Information

Information et formation sont les premiers éléments indispensables, et ceci concerne évidemment tous les secteurs d'interface. Ainsi, un travail de formation en direction du personnel hospitalier permettrait d'informer ces personnels des avancées de la recherche ; réciproquement, des formations en direction des chercheurs et des étudiants au sein des master de sciences cognitives seraient utiles pour les informer des moyens et contraintes liés aux investigations cliniques. Un recensement des ressources existantes (supports issus des formations à la recherche clinique dispensées par diverses institutions) et la mise à disposition

de ces ressources au plan national pourrait appuyer cette démarche. Il en va de même dans le secteur de l'éducation.

En ce qui concerne les relations avec l'entreprise, la réunion « Recherche-Entreprises-Formation » organisée par PIRSTEC en mars 2009 a fait ressortir des intérêts communs pour des actions de formations croisées qui impliquent les entreprises et les formations universitaires. Il s'agit d'une part de proposer aux entrepreneurs des formations aux avancées des sciences cognitives, visant une meilleure compréhension des enjeux théoriques, conceptuels et méthodologiques des sciences et technologies cognitives, nécessaire à la mise en œuvre d'une veille scientifique éclairée par ces acteurs du domaine ; et d'autre part de formations en direction des chercheurs, ingénieurs et étudiants, visant à donner une vision plus fine des conditions de la recherche et des développements en entreprise. En effet, l'évolution des mentalités est contingente d'une meilleure connaissance des enjeux, caractéristiques, contraintes et spécificités des conditions de la recherche fondamentale et de leur transfert vers l'industrie.

A ce titre, il serait intéressant de recenser et mettre à disposition des corpus regroupant les offres et les supports des formations dispensées au sein des universités ou dans le cadre d'actions spécifiques (écoles thématiques, formations professionnelles). Des corpus de cette nature faciliteraient la mise en œuvre de formations et la diffusion de l'information, permettraient d'identifier les ressources et les moyens disponibles, leur amélioration, mise à jour et maintenance. Leur mutualisation éviterait les efforts redondants et limiterait les coûts.

Vers la professionnalisation d'un secteur de l'ingénierie et de l'innovation cognitives

Enfin, au-delà de l'information et de la formation, c'est vers la mise en avant d'une démarche « métier » autour de l'ingénierie et de l'innovation cognitive qu'il nous semble opportun de s'orienter. Les sciences cognitives, qui pratiquent en permanence des dialogues interdisciplinaires très larges, autour d'un triptyque expérimentation-simulation-évaluation, sont dans une situation optimale pour se situer en fer de lance d'une telle démarche.

2.2. Infrastructures, Plateformes, Corpus

L'autre grand champ d'action est celui des données, de leur recueil (plates-formes d'expérimentation) à leur diffusion organisée (bases de données, grand corpus), ce qui pose des problèmes d'infrastructures.

Cohortes, « épidémiologie cognitive » et plates-formes

La prospective dégagée par PIRSTEC a souligné l'importance d'intégrer dans la réflexion les concepts d'émotion, d'incarnation et de situation. Ces concepts renvoient directement aux différences intra et interindividuelles observées au laboratoire sur de petits effectifs de sujets ou de patients. Les études des rôles et de l'incidence des facteurs émotionnels, des incarnations particulières et des situations spécifiques dans lesquelles sont exprimées les fonctions cognitives, doivent s'appuyer sur des données recueillies sur des populations importantes. Ceci nécessite soit des infrastructures nouvelles (voir ci-dessous), soit l'utilisation – dans le cadre de

collaborations à développer – d’infrastructures existantes comme celles mises en œuvre dans le cadre d’études longitudinales liées à la santé (par exemple « Nutrition & Cancer », cohorte « Gazel », etc.). Notons là encore qu’en dépit de leur importance, les fonctions cognitives sont peu ou mal évaluées dans ces études.

La constitution de bases de données cliniques, bien que posant des problèmes éthiques difficiles, permettrait la mise à disposition de données (imagerie, génétique, comportement, signaux, etc.) pour les chercheurs, favorisant ainsi leur exploitation par des chercheurs et sur des thématiques qui n’avaient pas été nécessairement envisagées à l’origine. Si les études épidémiologiques disposent d’outils et de plates-formes de très grande envergure avec des moyens importants, la situation est bien différente dans le champ des sciences et technologies cognitives : les bases de données qui existent ont une visibilité faible et les moyens humains et matériels dont disposent leurs concepteurs sont parfois insuffisants. Là encore, le morcellement et la dispersion limite leur utilité. Un recensement de l’existant, la mise en ligne des ressources associées, la diffusion d’informations et une coordination des moyens au plan régional ou national permettraient d’améliorer cette situation.

Plateformes techniques mobiles multidisciplinaires : les Cognibus

Une proposition complémentaire est de mettre en œuvre des plates-formes techniques mobiles multidisciplinaires, constituant une infrastructure commune et un dispositif d’interface pour la recherche dans le domaine clinique, pour l’éducation et plus généralement pour faciliter l’étude de populations particulières (personnes âgées, bébés, etc.) et le recueil de corpus spécifiques. Installés pour une durée limitée – de quelques semaines à quelques mois – au voisinage de structures diverses (hôpitaux, maisons de retraite, écoles, crèches, etc.), ces plateaux techniques constitueraient des lieux d’échanges et de rencontres favorisant les collaborations et l’interdisciplinarité entre les différents acteurs du domaine. Ils apporteraient une solution concrète aux difficultés pratiques liées à la recherche de terrain – dispositifs à la fois extérieurs et non-invasifs, mais situés à proximité du personnel encadrant et des sujets d’études – constitueraient une interface « neutre » pour l’expérimentation autant que la formation, donneraient les conditions d’une expérimentation contrôlée, permettraient la centralisation de données de natures diverses issues d’études conduites par des équipes impliquées sur des thématiques spécifiques, variées et complémentaires. Expérimentation cognitive, électroencéphalographie (EEG) et oculomotricité, recueil de corpus linguistiques, évaluation de prototypes de technologies cognitives, observation des usages fournissent autant de points d’entrée possibles dans la palette d’outils dont pourraient être dotés les Cognibus. Notons qu’il existe des centres techniques d’investigation implantés sur sites (Lutin, UMS CNRS 2809, à la Villette, mais aussi à Rennes ou à Grenoble) ; ces plates-formes restent cependant souvent centrées sur des thématiques spécifiques et ne sont pas constituées en réseau d’échanges.

Bases de données, corpus pour l’expérimentation et la modélisation

Des laboratoires et/ou des réseaux de laboratoires constituent, souhaitent constituer ou détiennent des corpus divers (textes, lexiques, enregistrements de parole, mesures électrophysiologiques, etc.) rarement accessibles par l’ensemble de la communauté et manquant de visibilité. Les moyens d’acquisition de données, l’organisation de la conservation, de la diffusion de ces ressources et leur exploitation sont lourds et coûteux et conduisent parfois à une hétérogénéité contre-productive des solutions mises en œuvre. Une action

d'ensemble pourrait faciliter la diffusion et la gestion de ces corpus, pour lesquels les compétences ne sont pas toujours disponibles ou sont dispersées.

Ces corpus peuvent être de nature très diverse et sont à même de constituer des « bases de données » normalisées susceptibles d'être utilisées par tous les acteurs de la recherche :

- Corpus pour l'expérimentation : images, films, sons, corpus oraux, etc. La constitution de ces corpus demande un effort coordonné et une visibilité qui favorise leur mutualisation. Ces corpus permettraient des études croisées dans différents contextes expérimentaux, un gain de temps et d'efforts et donneraient une visibilité à ces ressources.
- Corpus de données : les données expérimentales diverses – en neurosciences, en psychologie ou en linguistique par exemple – sont collectées et analysées avec un objectif spécifique lié aux objectifs des chercheurs. Ces analyses ne sont donc pas toujours exhaustives. Les données pourraient être exploitées par d'autres chercheurs, dans d'autres contextes scientifiques que ceux pour lequel elles ont été acquises, à condition d'être identifiées et disponibles. Des analyses croisées et comparatives ou des méta analyses deviendraient alors possibles.
- Corpus de modèles et logiciels : la modélisation occupe une place croissante dans tous les secteurs de la recherche. Des corpus regroupant des modèles permettraient d'une part une évaluation comparative des atouts et limites de différents modèles, qui pourraient être testés dans des conditions comparables ; ils seraient utiles pour diffuser ces modèles, et les codes associés, aux chercheurs ou ingénieurs qui n'ont pas nécessairement les compétences et le temps de réaliser eux-mêmes ces développements.
- Signaux : acquisition, traitements, analyses : le recueil en continu de signaux de toute nature est devenu une composante centrale de la recherche en sciences cognitives. La chaîne conduisant du signal analogique « naturel » à sa numérisation, à son traitement et à son analyse avant une exploitation scientifique est dans le même temps devenue complexe et technique. Les dispositifs matériels et logiciels d'acquisition, de filtrage, etc. constituent en eux-mêmes des objets de recherches et d'innovations. La maîtrise de cette chaîne est un garant de la qualité scientifique des découvertes en neurosciences cognitives. Là encore, le partage de connaissances de savoirs et savoir-faire est un facteur indispensable pour le développement des recherches.
- Corpus Formation, veille scientifique et technique : nous avons mentionné ci-dessus les besoins en formation. Là encore, il serait intéressant de disposer de corpus regroupant les offres et les supports des formations dispensées au sein des universités ou dans le cadre d'actions spécifiques (écoles thématiques, formations professionnelles). Des corpus de cette nature faciliteraient la mise en œuvre de formations, permettraient d'identifier les ressources et les moyens disponibles, leur amélioration, mise à jour et maintenance. Une mutualisation de ces ressources éviterait les efforts redondants et limiterait les coûts.

VI. Présentation des annexes

1. Contributions reçues dans le cadre de la réflexion prospective engagée par PIRSTEC : rapports de synthèse de réunions de travail et contributions spontanées

Le document récapitulatif des ces contributions est accessible à cette adresse

<http://pirstec.risc.cnrs.fr/ressources/accesfichier/115>

A. Fondements et mécanismes : comprendre et simuler

I. Fonctions communicatives et fonctions exécutives

Langage et Cognition par Christophe Parisse (atelier 4)

<http://pirstec.risc.cnrs.fr/ressources/accesfichier/99>

L'acquisition de l'orthographe par Séverine Casalis (atelier 5)

<http://pirstec.risc.cnrs.fr/ressources/accesfichier/137>

Plurilinguisme : des substrats neuronaux aux pratiques sociales par Christian Tremblay (atelier 7)

<http://pirstec.risc.cnrs.fr/ressources/accesfichier/138>

Manuscrits, linguistique, cognition par Claire Doquet-Lacoste (atelier 12)

<http://pirstec.risc.cnrs.fr/ressources/accesfichier/120>

Perception spatiale, cognition motrice et adaptation sociale des organismes naturels et artificiels par Yann Coello & Richard Palluel (atelier 13)

<http://pirstec.risc.cnrs.fr/ressources/accesfichier/134>

La cognition motrice et ses applications biomédicales par Thierry Pozzo (atelier 14)

<http://pirstec.risc.cnrs.fr/ressources/accesfichier/103>

Oculomotricité par Zoï Kapoula (atelier 15)

<http://pirstec.risc.cnrs.fr/ressources/accesfichier/130>

La mémoire : fonctionnement et dysfonctionnements par Serge Laroche et Bruno Poucet

<http://pirstec.risc.cnrs.fr/ressources/accesfichier/153>

Spécificités du langage : des questions à approfondir par Bernard Victorri

<http://pirstec.risc.cnrs.fr/ressources/accesfichier/144>

Parole et cognition par l'Association Francophone de la Communication Parlée

<http://pirstec.risc.cnrs.fr/ressources/accesfichier/143>

Processus cognitifs de la Perception chimique par Jean-Pierre Royet

<http://pirstec.risc.cnrs.fr/ressources/accesfichier/142>

Perception Auditive par Barbara Tillmann

<http://pirstec.risc.cnrs.fr/ressources/accesfichier/141>

II. Interaction : de l'individu au réseau

Atelier de prospective sur la Cognition Sociale par Catherine Garbay, Philippe Gaussier, Elisabeth Pacherie et Jean-Luc Schwartz (atelier 6)

<http://pirstec.risc.cnrs.fr/ressources/accesfichier/100>

Fondements cognitifs des processus de conception collaborative à distance - Applications à la pédagogie de la conception architecturale par Jean-Pierre Goulette (atelier 9)

<http://pirstec.risc.cnrs.fr/ressources/accesfichier/101>

Neuroéconomie et émergence des comportements économiques par Sacha Bourgeois-Gironde (atelier 31)

<http://pirstec.risc.cnrs.fr/ressources/accesfichier/110>

III. Substrats : Neurosciences et modélisation

Les interfaces cerveau-machine Par Olivier Bertrand (atelier 16)

<http://pirstec.risc.cnrs.fr/ressources/accesfichier/155>

Sciences et technologies de la cognition par la modélisation neuronale par Frédéric Alexandre (atelier 22)

<http://pirstec.risc.cnrs.fr/ressources/accesfichier/107>

Imageries cérébrales pour les sciences cognitives : bilans et enjeux par Sylvain Takerkart

<http://pirstec.risc.cnrs.fr/ressources/accesfichier/140>

The Biology of Decision Making par Thomas Boraud (atelier 25)

<http://pirstec.risc.cnrs.fr/ressources/accesfichier/108>

Robotique Cognitive en 2009 par Benoît Girard (rapport du GDR Robotique)

<http://pirstec.risc.cnrs.fr/ressources/accesfichier/113>

Compte-rendu de la réunion GDR-vision / PIRSTEC 102 Pascal Mamassian

<http://pirstec.risc.cnrs.fr/ressources/accesfichier/114>

B. Interfaces et secteurs d'application : les sciences cognitives dans la société

IV. Technologies et usages, ingénierie

Cognition, éthique et société par Colin Schmidt (atelier 18)

<http://pirstec.risc.cnrs.fr/ressources/accesfichier/139>

Interactions homme/système-artificiel par Frédéric Dehais (atelier 19)

<http://pirstec.risc.cnrs.fr/ressources/accesfichier/105>

Sciences cognitives, réalité virtuelle et arts par Pierre de Loor, Stéphane Vieilledent (atelier 20)

<http://pirstec.risc.cnrs.fr/ressources/accesfichier/106>

Contribution du GDR psycho-ergo à PIRSTEC par Jean-Michel Hoc

<http://pirstec.risc.cnrs.fr/ressources/accesfichier/112>

Couplage technique, couplage cognitif ? par Benoît Le Blanc

<http://pirstec.risc.cnrs.fr/ressources/accesfichier/129>

Les nouvelles technologies de l'information et de la communication et la psychiatrie par Roland Jouvent

<http://pirstec.risc.cnrs.fr/ressources/accesfichier/145>

V. Apprentissage et éducation

Résultats de l'atelier de réflexion prospective sur les EIAH par Pierre Tchounikine (atelier 1)

<http://pirstec.risc.cnrs.fr/ressources/accesfichier/97>

Dynamiques de la construction des connaissances par Jean-Michel Dusseau (atelier 3)

<http://pirstec.risc.cnrs.fr/ressources/accesfichier/98>

Rehaussement cognitif: neurosciences, pédagogie, remédiation par Joëlle Proust (atelier 17)

<http://pirstec.risc.cnrs.fr/ressources/accesfichier/104>

Quelles évaluations pour les applications des sciences et technologies cognitives ? par Frank Ramus

<http://pirstec.risc.cnrs.fr/ressources/accesfichier/154>

V. Santé et handicaps

Handicap et cognition par Jean-Luc Nespoulous (atelier 10)

<http://pirstec.risc.cnrs.fr/ressources/accesfichier/156>

Langage et Démence par Laurent Lefebvre (atelier 11)

<http://pirstec.risc.cnrs.fr/ressources/accesfichier/102>

Recherche Transdisciplinaire sur les Hallucinations et Autres Etats Modifiés de Conscience par Guillaume Dumas, Juan González et Alexandre Lehmann (atelier 26)

<http://pirstec.risc.cnrs.fr/ressources/accesfichier/109>

Rapport du GDR CNRS 296 GRAEC par Christian Lorenzi

<http://pirstec.risc.cnrs.fr/ressources/accesfichier/111>

C. Structures et Infrastructures

Atelier Cognisud par Philippe Blache

<http://pirstec.risc.cnrs.fr/ressources/accesfichier/116>

Réunion de Prospective en Sciences et Technologies Cognitives : Lyon-Dijon-Besançon 300 par Barbara Tillmann (atelier 28)

<http://pirstec.risc.cnrs.fr/ressources/accesfichier/117>

CJCSC'09 : Un regard jeune sur les problématiques d'avenir par Sébastien Crouzet

<http://pirstec.risc.cnrs.fr/ressources/accesfichier/135>

D. Axes transversaux et contributions libres

Explicitation de l'expérience cognitive par Michel Bitbol et Claire Petitmengin (atelier 30)

<http://pirstec.risc.cnrs.fr/ressources/accesfichier/118>

Les contributions libres peuvent être consultées à l'adresse <http://pirstec.risc.cnrs.fr/ressources>

2. Analyse bibliométrique des Sciences et Technologies Cognitives

Comment la production scientifique internationale a-t-elle évolué dans le domaine des Technologies Cognitives ? Quels sont les points forts de cette dynamique ? Pour répondre à ces questions PIRSTEC a engagé une recherche bibliographique avec Julia Soyez et Bruno Gaume. Un corpus couvrant le champ concerné a d'abord été créé à partir de la métabase de données Ovid qui permet d'interroger simultanément les bases de données préselectionnées Francis, Pascal et NTIS. Ce premier corpus a été constitué en s'appuyant sur les thématiques dégagées par PIRSTEC : apprentissage et cognition, langage et cognition, cognition sociale, handicap et cognition, cognition motrice, cognition, éthique et société.

Les contributions des différents ateliers PIRSTEC ont été utilisées pour définir les requêtes et la base Ovid a été interrogée pour créer les corpus thématiques correspondants. Ces corpus ont été rassemblés au sein d'un métacorpus « Sciences et Technologies Cognitives » représentant 24.936 notices de publications scientifiques. La base de données brevets « Questel » a été utilisée pour les thèmes cognition et technologies, modélisation, ingénierie et un corpus de 1.216 brevets a été constitué.

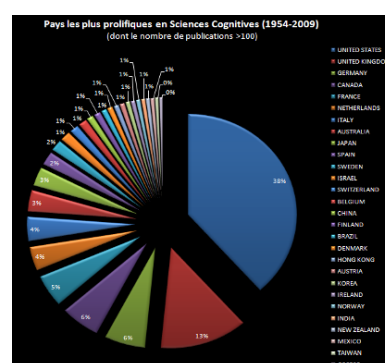
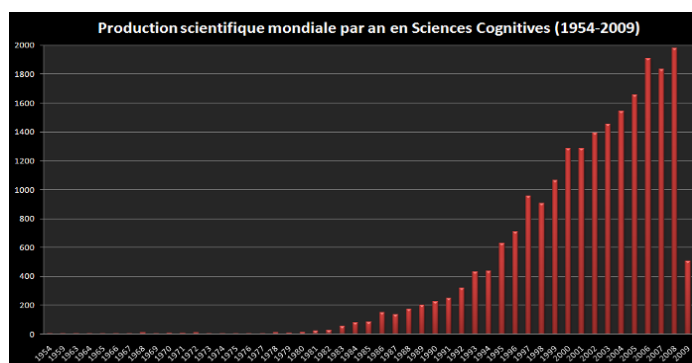
Les corpus ont été nettoyés, normalisés et importés dans l'outil « Intellixir », développé par le CEA, et 21.762 notices ont été analysées. Malgré un important travail d'élimination, on estime entre 5 à 7% les doublons restant dans le corpus.

Résultats

Les résultats sont accessibles en ligne sur le site Internet de PIRSTEC à l'adresse

<http://pirstec.risc.cnrs.fr/projets/bibliometrie>

A l'exception de 3 années (1987, 1999 et 2007), la production mondiale augmente de manière constante et quasi ininterrompue depuis 1978. Le corpus ayant été créé en mai 2009 les données 2009 sont partielles et ne prennent pas en compte les publications postérieures à mai 2009.



L'examen de la répartition de la production mondiale indique que les Etats-Unis, la Grande-Bretagne, l'Allemagne, le Canada, la France, l'Italie, les Pays-Bas, l'Australie, le Japon,

représentent à eux seuls 76% de la production mondiale en sciences cognitives pour la période 1954 à 2009.

L'évolution de la production depuis 1984 (avant cette date, seulement une publication par an était indexée dans les bases) jusqu'en 2008 indique une augmentation rapide et continue aux Etats-Unis suivis de loin par le Royaume-Uni, l'Allemagne, le Canada et la France. Six universités - Harvard (USA), UCLA (USA), University College London (UK), Université de Chicago (USA), du Texas (USA) et l'université de Cambridge (UK) - sont en position de leader, suivies de l'université de Californie à San Diego (USA), l'université d'Amsterdam (Pays-Bas), l'université de Pennsylvanie (USA) et l'université de Toronto (Canada). Ce noyau possède un réseau de collaborations relativement dense au sein duquel on retrouve de nombreux acteurs cités ci-dessus.

Les mots-clés issus du corpus, extraits des titres et résumés des publications, concernent aussi bien des thèmes, des théories, des concepts que des techniques. Les thématiques principales sont les suivantes:

- les fonctions cognitives : langage, mémoire, raisonnement, perception, conscience, intelligence, calcul. On voit apparaître la vision et la motricité.
- le corps humain : le cerveau, la motricité, les techniques d'imagerie (EEG, fMRI, MEG), les tests cognitifs ayant trait à la perception, la conscience, la mémoire, la vision, la psychomotricité et l'apprentissage.
- les maladies neurodégénératives, les troubles psychologiques et psychopathologiques : Alzheimer, Parkinson, l'autisme, l'amnésie, la dépression, le stress, la schizophrénie, les troubles bipolaires, (etc.) étudiées avec des approches psychologiques et d'imagerie cérébrale.
- les pathologies du langage : la dyslexie, la dysgraphie, l'aphasie.
- les addictions à l'alcool, aux drogues, au tabac ainsi que les effets sur la santé et en cas d'arrêt.
- les populations étudiées : animale (rat, souris, singe) et humaine (adulte ou enfant) ainsi que les caractéristiques des échantillons étudiés ou cohortes : âge, sexe, origines, sain ou pathogène.
- le diagnostic et les traitements médicamenteux (effets des molécules et macromolécules sur les maladies) et fonctions cognitives telles que la mémoire, la vision, la perception. Ces traitements concernent principalement les maladies psychopathologiques et les démences.
- des algorithmes (modèles stochastiques, réseau de Bayes, réseau neuronal, les agents intelligents, la fouille de données, la prise de décision, le web sémantique,...).
- des interfaces homme-machine, la neuroimagerie et l'exploitation des données produites, l'ergonomie et la relation outils et utilisateurs, la visualisation de l'information, la réalité virtuelle.
- l'éducation : l'apprentissage (petite enfance et université), l'apprentissage des langues en particulier d'une deuxième langue, l'apprentissage à distance (l'e-Learning).

En résumé, et au-delà des difficultés de traitement d'un vaste corpus, cette étude indique que les sciences cognitives connaissent un essor important. La communauté française est impliquée dans des domaines divers (sciences cognitives, sciences du langage, sciences de l'information et de la communication, sciences sociales – psychologie, psychologie sociale –, sciences de la médecine) mais reste cependant encore très morcelée. Une analyse plus complète de ce corpus est disponible en ligne sur le site PIRSTEC.

3. Actualité et Prospective en Sciences et Technologies Cognitives dans le monde

L'objectif principal de cette étude est de compléter les documents produits par l'atelier PIRSTEC, centrés sur la situation française, et l'étude bibliométrique présentée ci-dessus par une recherche des projets et financements relatifs aux « sciences et technologies cognitives » dans le monde. Le résultat de cette étude, bien que partiel, permet de donner un éclairage sur les tendances générales et les priorités scientifiques dans le domaine.

3.1. Présentation de la démarche

Après des tests de diverses approches méthodologiques, il a été décidé de concentrer les recherches sur les principales institutions qui financent les projets en sciences cognitives dans différents pays. Une limitation de cette approche est qu'elle ne donne des résultats pertinents que dans les pays où les institutions ont une taille critique, où les informations sont centralisées ... et lorsque ces institutions donnent accès à ces informations.

Pour les pays dépourvus d'institutions de financement suffisamment importantes pour être significatives, la recherche a été effectuée directement sur les sites des laboratoires.

La consultation directe des sites a été faite avec un ensemble de mots clés prédéfinis : «*cognition*», «*neuroscience*», «*animal cognition*», «*social cognition*», «*psychology*», «*linguistics + cognition*», «*technology + cognition*», «*robotics*», «*computation + cognition*» «*decision-making*», «*AI*».

Les résultats des recherches avec ces mots clés sont spécifiques pour chaque institution. Les documents, sauvegardés et triés en fonction de leur pertinence, comportent un résumé et les informations principales relatives à chaque projet.

Cette stratégie a ses limites : les grosses institutions nationales de recherche des pays autorisant un accès libre à ces bases de données sont mieux représentées que les pays plus conservateurs dans leur communication scientifique (voir figures et tableau 1). Pour des raisons liées aux langages et aux politiques de confidentialité de la Russie et de la Chine il n'a pas été possible de collecter des documents dans ces deux pays.

Au final, 608 documents ont été retenus. Chaque document ne correspond pas à un projet unique ; certains comportent des informations sur les appels à projets ou les rapports de ces institutions sur tel ou tel aspect de la recherche. Enfin, certains documents présentant peu d'intérêt ou des informations peu fiables ont été écartés.

3.2. Structuration des données

Les fichiers ont été regroupés en grands domaines :

- Neurosciences
- Psychologie
- Philosophie
- Linguistique et communication
- Cognition animale
- Cognition sociale
- Neuro-économie, neuro-marketing
- Approches formelles et modélisation
- Technologie
- Robotique et Intelligence Artificielle
- Handicap

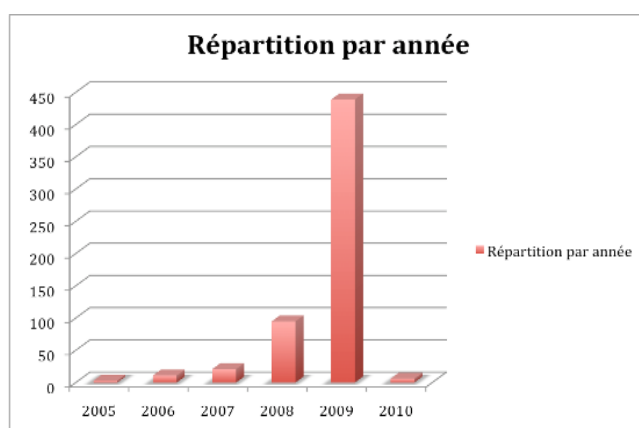
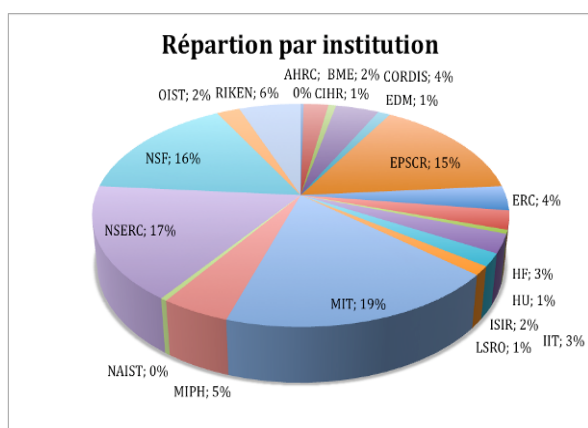
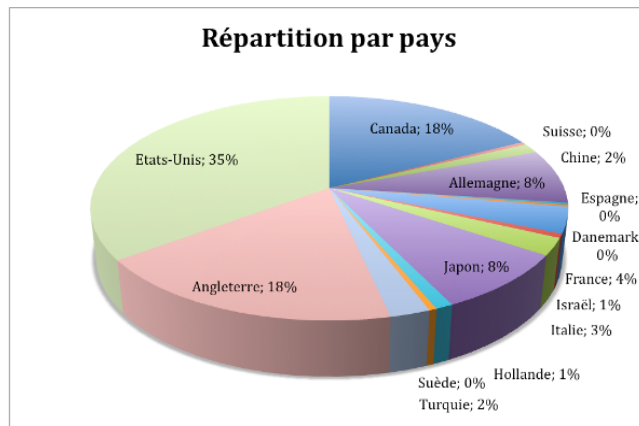
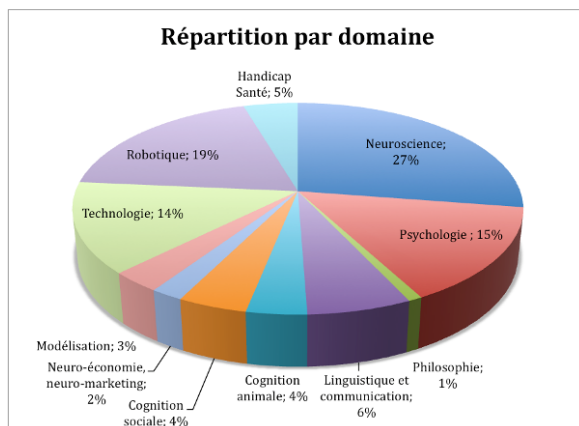
Les données sont identifiées et classées avec les champs suivants :

- Le titre du projet
- Les dates de début et de fin
- Le domaine couvert
- L'institution qui finance le projet
- Le pays
- Le directeur du projet
- Le budget
- L'URL du document

Ces informations n'ont pas toujours été toutes disponibles et le niveau de détail peut varier d'un document à l'autre. Certaines informations, comme la date des projets, ont été dérivées à partir de sources croisées. Une difficulté supplémentaire pour classer ces documents par thèmes tient à l'interdisciplinarité du domaine. Des choix ont du être faits, comme considérer par exemple que tout étude impliquant l'enregistrement de l'activité cérébrale relève du champ des neurosciences.

3.3. Résultats

Les résultats sont accessibles en ligne sur le site Internet de PIRSTEC et peuvent être consultés par l'intermédiaire d'une interface de recherche: <http://pirstec.risc.cnrs.fr/projets>



AHRC	Arts and Humanities Research Council
BME	Institut of Biomedical Engineering
CIHR	Canadian Institutes of Health Research
CORDIS-ITC	Information and Communication Technologies
EDM	Laboratoire de Recherche Efficience et Déficience Motrice
EPSRC	Engineering and Physical Sciences Research Council
HF	Hertie Foundation
HU	Humboldt Universitat
IIT	Instituto Italiano di Tecnologia
ISIR	Institut de systèmes intelligents et de robotique
LSRO	Laboratoire de Systèmes Robotiques
MIT	Massachussets Institute for Technology
MPIH	Max Planck Institut H
NAIST	Nara Institut of Science and Tecnology
NSERC	Natural Sciences and Engineering Research Council
NSF	National Sciences Foundation
OIST	Okinawa Institute of Science and Technology
RIKEN	Brain Science Center

4. Éléments relatifs au fonctionnement de PIRSTEC : méthodologie, gestion, bilan

Suite au choix de l'ANR de soutenir la proposition PIRSTEC faite en réponse à l'appel à projets d'ateliers de réflexion prospective, notifié en Octobre 2008, l'atelier PIRSTEC a rapidement réuni son conseil scientifique et son comité de pilotage (voir listes ci-après) pour décider des grandes orientations et activités de l'Atelier de Réflexion Prospective (ARP). Le choix d'une implication forte de tous les acteurs du domaine des sciences et technologies cognitives –chercheurs, médecins, entrepreneurs, etc. – et d'une grande transparence des activités de PIRSTEC a été fait. Les responsables des autres propositions d'ARP reçues par l'ANR ont été contactés et, pour ceux qui le souhaitaient, associés à PIRSTEC. Un site Internet a été rapidement développé et un appel à proposition de réunions prospective lancé dès Novembre 2008 : près de 40 propositions ont été reçues et le comité de pilotage a décidé d'apporter un soutien à la très grande majorité de ces propositions, sans chercher à limiter la redondance ni à opérer une sélection forte des thématiques, de façon à mobiliser le plus grand nombre et à donner une forte visibilité à cette initiative. De plus, les groupements de recherche constitués (GDR) et associations, qui ont par nature une vision large et prospective de sous domaines du champ concerné, ont été directement sollicités. Ces réunions de prospective se sont tenues de février à octobre 2009 dans toutes des régions de France. Ayant constaté que certaines thématiques étaient peu ou pas abordées (Cognition, mémoire et technologies, par exemple) PIRSTEC a contacté directement des chercheurs au fait de ces questions et a sollicité de leur part des contributions écrites sur ces thèmes. Enfin, d'autres réunions, visant à faire connaître plus largement cette initiative ont été organisées, comme la réunion PIRSTEC-Entreprises qui s'est tenue à Paris en mars 2009 dans le cadre du Forum annuel de Sciences Cognitives.

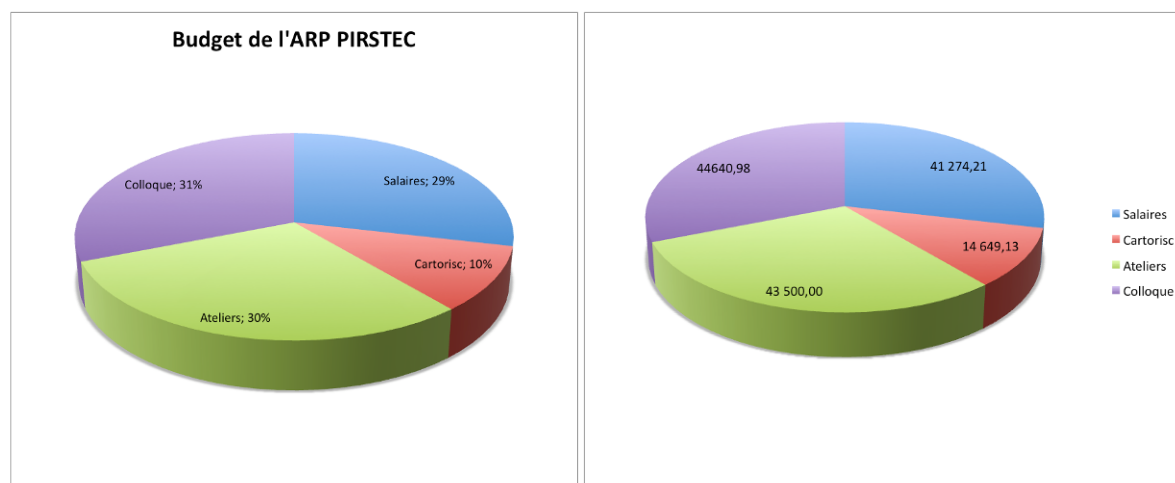
Pour chacun des ateliers et chacune des réunions soutenus par PIRSTEC, un rapport écrit a été sollicité. Ces rapports ont été mis en ligne en accès libre, de façon à offrir un très large panorama et une granularité fine des thématiques relatives aux sciences et technologies cognitives. Ces documents ont constitué et constituent encore une ressource commune pour toutes les personnes, structures et entreprises concernées, visant à faciliter l'identification des acteurs, les prises de contacts et les collaborations ; cette ressource constitue ainsi une veille scientifique et technique pour les petites structures – entreprises, associations, etc. – n'ayant ni le temps ni les moyens de cette veille ; elle donne une vision panoramique aux chercheurs et entrepreneurs des thématiques en développement rapide. En parallèle, un recensement des entreprises et de différents partenaires travaillant aux interfaces avec la Santé et l'Éducation a été entrepris ; ces données faciliteront l'identification de partenaires potentiels, lors de futurs appels à projets dans ce domaine.

Enfin, une fouille de données relatives, d'une part à la bibliométrie, et d'autre part, aux grandes orientations scientifiques dans d'autres pays a été mise en œuvre. Ces données sont accessibles en ligne sur le site de PIRSTEC.

Des synthèses de tous les documents reçus, regroupés par sous thématiques, ont été rédigées par des responsables d'ateliers, choisis par le comité de pilotage sur la base de la pertinence et de l'envergure de l'atelier qu'ils avaient eux-mêmes organisé. Ce comité a été mobilisé pour contribuer au colloque de synthèse qui s'est tenu les 22 et 23 octobre 2009 à Paris (voir les vidéos des conférences en ligne <http://pirstec.risc.cnrs.fr>), et a par la suite constitué le comité de rédaction qui est à l'origine de ce document.

Le site Internet de PIRSTEC a eu un succès certain, puisque plus de mille connexions par jour ont été enregistrées lors des moments forts de l'activité de PIRSTEC. Au total plus de 150 orateurs et près de 1200 participants ont été impliqués dans PIRSTEC.

Au plan financier, l'essentiel de la dotation reçue de l'ANR (171 k€) a été ventilée entre salaires, soutien aux ateliers et colloque, comme l'indique la figure ci-dessous :



La coordination scientifique et technique de PIRSTEC a été assurée par Stéphanie Girault et l'équipe de l'UMS 2551 RISC du CNRS, constituée de Nicolas Larrousse, Luc Heintze, Naïma Ghaffari et Claire Carpentier qui ont apporté un soutien permanent et essentiel pour la conduite et la réalisation de cette initiative.

Le comité de pilotage et le conseil scientifique, présentés ci-après, ont décidé des grandes orientations et ont assuré le suivi de PIRSTEC.

Comité de pilotage

Alexandre Frédéric	INRIA, LORIA
Benoît Le Blanc	ARCo Univ. Bordeaux
Blache Philippe	CNRS
Démonet Jean-François	INSERM
Denis Michel	LIMSI, CNRS
Farinas Luis	CNRS
Garbay Catherine	CNRS
Gaussier Philippe	Univ. Cergy-Pontoise
Koenig Olivier	Univ. Lyon2
Lorenceanu Jean	RISC, CNRS
Masson Guillaume	INCM, CNRS
Pacherie Elisabeth	IJN, CNRS
Schwartz Jean-Luc	CNRS

Conseil scientifique

Andler Daniel	Balacheff Nicolas
Bennequin Daniel	Berthoz Alain
Bourgine Paul	Bourcier Danièle
Cocquerez Jean-Pierre	Coello Yann
Coulaud Henri	Dubois Bruno
Durand Jacques	Fuchs Catherine
Ganascia Jean-Gabriel	Hoc Jean-Michel
Jeannerod Marc	Jouvent Roland
Lorenzi Christian	Mamassian Pascal
Mazoyer Bernard	Mariani Jean
Nadal Jean-Pierre	Paugam-Moisy Helene
Petitot Jean	Poline Jean-Baptiste
Poucet Bruno	Pouthas Viviane
Vigouroux Nadine	