

# *Projet CORTEX*

*Intelligence neuromimétique*

*Lorraine*

THÈME 3A



*R*apport  
*d'Activité*

2001



## Table des matières

<b>1</b>	<b>Composition de l'équipe</b>	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>Présentation et objectifs généraux</b>	<b>3</b>
<b>3</b>	<b>Fondements scientifiques</b>	<b>5</b>
3.1	Le connexionnisme . . . . .	5
3.2	L'intégration neurosymbolique . . . . .	6
3.3	La modélisation biologique . . . . .	6
<b>4</b>	<b>Domaines d'applications</b>	<b>7</b>
4.1	Panorama . . . . .	7
4.2	Représentation de l'information . . . . .	8
4.3	Tâches cognitives . . . . .	8
4.4	Architectures dédiées . . . . .	8
<b>5</b>	<b>Logiciels</b>	<b>9</b>
5.1	Bibliothèque neuronale . . . . .	9
5.2	Interface avec le robot Koala . . . . .	9
5.3	Plates-formes de développement . . . . .	10
5.4	MicroNOMAD . . . . .	10
<b>6</b>	<b>Résultats nouveaux</b>	<b>11</b>
6.1	Modèles neuromimétiques comportementaux . . . . .	11
6.2	Modèles neuromimétiques élémentaires . . . . .	12
6.3	Intégration neurosymbolique . . . . .	12
6.4	Implantations matérielles . . . . .	14
<b>7</b>	<b>Actions régionales, nationales et internationales</b>	<b>15</b>
7.1	Actions régionales . . . . .	15
7.1.1	Collaboration avec l'INIST . . . . .	15
7.1.2	Action Téléopération et Assistants Mobiles du CPER . . . . .	16
7.1.3	Action du Centre Charles Hermite . . . . .	16
7.1.4	Réseau Grand-Est des Sciences de la Cognition . . . . .	17
7.2	Actions nationales . . . . .	17
7.2.1	Action de Recherche Coopérative NOSE . . . . .	17
7.2.2	Projet de l'Action Concertée Incitative Cognitive . . . . .	17
7.2.3	Convention avec le Musée de La Villette . . . . .	18
7.3	Actions européennes . . . . .	18
7.3.1	Réseau d'excellence NEUROCOLT II . . . . .	18
7.3.2	Contrôle de machines industrielles . . . . .	18
7.3.3	Projet IST Scholnet . . . . .	19
7.4	Actions internationales . . . . .	19
7.4.1	Projet STIC avec la Tunisie . . . . .	19

7.4.2	Action conjointe INRIA-NSC Taiwan . . . . .	19
<b>8</b>	<b>Diffusion de résultats</b>	<b>20</b>
8.1	Animation de la Communauté scientifique . . . . .	20
8.2	Enseignement . . . . .	20
<b>9</b>	<b>Bibliographie</b>	<b>20</b>

*CORTEX est un projet du LORIA (UMR 7503) commun au CNRS, à l'INRIA, à l'Université Henri POINCARÉ Nancy 1, à l'Université Nancy 2 et à l'Institut National Polytechnique de Lorraine.*

## 1 Composition de l'équipe

### Responsable scientifique

Frédéric Alexandre [Directeur de Recherche INRIA]

### Assistante de projet

Martine Kuhlmann [CNRS, à temps partiel dans l'équipe]

### Personnel CNRS

Dominique Martinez [Chargé de Recherche]

### Personnel Université

Yann Boniface [Maître de Conférences, U. Nancy 2 (à partir du 1/9/01)]

Laurent Bougrain [Maître de Conférences, UHP (à partir du 1/9/01)]

Bernard Girau [Maître de Conférences, U. Nancy 2]

Jean-Charles Lamirel [Maître de Conférences, U. Strasbourg (en délégation à l'INRIA à partir du 1/9/01)]

### Chercheurs doctorants

Claudio Castellanos Sanchez [CONACYT-SFERE (à partir du 1/9/01)]

Didier Fass [Doctorant en Biologie]

Vincent Martin [MENRT]

Olivier Rochel [UHP]

Bruno Scherrer [INRIA]

Georges Schutz [Luxembourg]

### Chercheur post-doctorant

Etienne Hugues [ARC NOSE (à partir du 1/9/01)]

### Spécialiste

Alistair Bray [Spécialiste INRIA (à partir du 1/9/01)]

### Ingénieur

Philippe Beylik [Ingénieur associé INRIA (à partir du 1/9/01)]

### Collaborateur extérieur

Hervé Frezza-Buet [Enseignant-Chercheur à Supélec]

## 2 Présentation et objectifs généraux

Le but de nos recherches est d'étudier les propriétés et les capacités d'un traitement automatique de l'information réalisé sur des bases distribuées, numériques et adaptatives. Plus précisément, nous cherchons à montrer qu'un tel type de traitement peut permettre la réalisation de systèmes "intelligents", c'est-à-dire capables d'extraire de la connaissance à partir de données et de manipuler cette connaissance pour résoudre des problèmes. L'ensemble de ces capacités est obtenu par la mise au point de modèles connexionnistes neuromimétiques (*cf.* § 3.1) développés selon deux sources d'inspiration, les neurosciences (*computational neurosciences*) et l'apprentissage automatique (*machine learning*).

Nous privilégions la voie neuromimétique pour plusieurs raisons. Elle possède intrinsèquement de fortes capacités adaptatives ainsi que des caractéristiques numériques et distribuées ; elle facilite le traitement des données perceptives ; elle peut facilement être rattachée à des données et des modèles dans les domaines des statistiques et des neurosciences qui étudient le traitement automatique de l'information selon cette même voie neuromimétique.

Ces deux domaines d'inspiration sont étudiés de front car ils posent les mêmes questions relatives aux capacités de représentation interne et de manipulation de la connaissance de ces modèles distribués et ils proposent des solutions complémentaires pouvant s'enrichir mutuellement.

Le domaine d'inspiration statistique nous fournit des modèles numériques de traitement de l'information permettant d'extraire des connaissances à partir de données. Ces modèles peuvent également être combinés avec d'autres techniques classiques de traitement automatique de l'information (*cf.* § 3.2).

Le domaine d'inspiration neurobiologique propose des modèles théoriques et des mécanismes élémentaires pour certaines fonctions de représentation et de traitement de l'information animales ou humaines facilitant son exploitation ultérieure pour des tâches sensorimotrices (*cf.* § 3.3). Il indique de plus que l'une des caractéristiques essentielles de l'intelligence est de permettre au sujet de donner des réponses satisfaisantes alors qu'il est confronté à des situations complexes, peu structurées et incluant de nombreux paramètres. Cette propriété, très recherchée dans le domaine du traitement automatique de l'information, oriente les applications de nos recherches.

En effet, de manière complémentaire à nos domaines d'inspirations pluridisciplinaires, nous finalisons nos recherches dans un but essentiellement technologique vers des domaines tels que l'interprétation de données et de signaux, les capteurs intelligents, la robotique, la conduite de processus industriels et l'aide à la décision. Plus généralement, c'est le pilotage de systèmes complexes, multimodaux, agissant sur leur environnement qui est visé à travers ces applications (*cf.* § 4.1).

Ces travaux informatiques sont implantés en premier lieu sur des ordinateurs classiques, mais nous explorons également d'autres voies que sont les architectures parallèles, les robots autonomes et plus généralement les circuits spécialisés pour systèmes embarqués, tous ces supports étant naturellement suggérés par les applications visées (*cf.* § 4.4).

Le défi majeur posé par nos recherches est celui de la maîtrise du phénomène d'émergence inhérent à cette approche ascendante et distribuée. En effet, nous élaborons des systèmes de grande taille par la programmation locale d'unités simples de traitement numérique munies de coefficients adaptatifs alors que la fonction attendue est obtenue par émergence, comme résultat de l'interaction de l'ensemble de ces unités distribuées.

Ce phénomène est observé dans les trois actions de recherche que nous menons actuellement. Premièrement, à un niveau global, nous développons des modèles neuromimétiques comportementaux (*cf.* § 6.1), pour permettre la navigation autonome d'un robot. Pour cela, nous implantons et interfaçons des modèles de cortex associatif (coordination sensorimotrice), cortex frontal (organisation temporelle du comportement) et hippocampe (localisation). Deuxièmement, à un niveau plus fin, nous étudions des modèles neuromimétiques élémentaires (*cf.* § 6.2), nous permettant de revenir au fonctionnement binaire du neurone (émission de potentiels d'action). Ce travail se ramène à l'étude de phénomènes temporels au sein d'assemblées de tels

neurones. Troisièmement, à un niveau intermédiaire, nous travaillons sur des modèles neuro-naux continus classiques et étudions leur adaptation à des problèmes d'exploration de bases de données, dans la perspective d'une intégration neurosymbolique (*cf.* § 6.3).

Soulignons enfin trois thèmes importants au centre de nos recherches.

(i) L'autonomie : nos systèmes doivent apprendre à réaliser leur tâche sans connaissance explicite *a priori* et sans aide extérieure. On conçoit l'intérêt de cette propriété pour, par exemple, faire face à des situations imprévues dans le cas de la navigation d'un robot ou encore pour compenser les dérives ou les changements de caractéristiques dans le cas d'un capteur intelligent.

(ii) L'apprentissage : l'exigence d'autonomie nous conduit à doter nos systèmes de capacités d'apprentissage très fortes en abordant les notions de mémoire à court et à long terme, d'apprentissage continu et incrémental, d'apprentissage procédural et déclaratif et de révision des connaissances.

(iii) Les tâches cognitives : les réseaux de neurones artificiels ont été longuement étudiés sous l'angle de leurs rapports avec les statistiques et le traitement de données. L'originalité de notre approche est de montrer d'une part que l'on peut étendre leurs domaines d'utilisation à des tâches plus cognitives, comme le raisonnement ou la planification, et d'autre part que l'on peut extraire ou incorporer des connaissances dans ces modèles numériques et distribués.

## 3 Fondements scientifiques

### 3.1 Le connexionnisme

**Mots clés** : connexionnisme, réseau neuromimétique, réseau de neurones artificiels, perceptron, perceptron multi-couches, carte auto-organisatrice, classification, statistique.

Le connexionnisme peut être défini comme l'étude de graphes d'unités simples interconnectées, effectuant des calculs numériques élémentaires à partir de leurs entrées et de paramètres internes. On connaît plus particulièrement le connexionnisme neuromimétique qui étudie les réseaux de neurones artificiels comme les modèles de perceptron ou les cartes auto-organisatrices. Ces modèles ont été largement étudiés sous l'angle de leurs capacités d'apprentissage et de leurs similitudes avec des classificateurs statistiques (c'est ainsi que l'on peut qualifier le perceptron multicouches "d'approximateur universel"). Par ailleurs, d'autres modèles tentent de revenir vers les fondements du connexionnisme et sont développés en s'inspirant de la biologie (*cf.* § 3.3), afin d'obtenir des modèles de neurones plus réalistes ou de viser des tâches relatives à la modélisation du comportement.

Une autre caractéristique remarquable des réseaux de neurones artificiels est qu'ils ont été appliqués avec succès à un grand nombre de tâches (mise en correspondance, prédiction, contrôle) dans des domaines très différents (traitement de signal et de données, procédés industriels, finance, médecine). Le point commun de ces problèmes est de pouvoir être posés de manière à utiliser les capacités associatives des réseaux de neurones artificiels, vus comme des classificateurs. En revanche, les modèles connexionnistes sont plus difficiles à mettre en œuvre pour des tâches de plus haut niveau cognitif, comme le raisonnement. L'intégration neurosymbolique (*cf.* § 3.2) propose des réponses à ces limitations.

### 3.2 L'intégration neurosymbolique

**Mots clés** : intégration neurosymbolique, modèle hybride, combinaison de classifieurs, extraction de connaissances.

L'intégration neurosymbolique consiste à élaborer des modèles de traitement de l'information alliant les avantages des approches neuronales (apprentissage, généralisation, résistance au bruit, traitement perceptif efficace) et symboliques (explication, structuration des connaissances, manipulation symbolique efficace). Cette intégration peut se réaliser selon deux voies.

L'hybridation neurosymbolique propose des méthodologies de couplage entre modèles classiques des deux approches et se pose donc des problèmes de combinaison et de coordination de modèles de nature différente, ainsi que de stratégies de sélection du meilleur modèle. Une telle démarche a fait ses preuves dans des problèmes complexes du monde réel où l'on dispose à la fois de données numériques et de connaissances symboliques dont l'exploitation commune se révèle plus fructueuse que le choix d'une seule source d'information.

L'unification neurosymbolique pour sa part postule que le formalisme connexionniste seul peut être un support pour le rapprochement des deux approches symboliques et neuronales. Il peut s'agir d'implanter des algorithmes classiques de l'intelligence artificielle sous un formalisme neuronal ou encore de montrer comment de la connaissance peut être extraite ou introduite dans un réseau de neurones artificiels classique (*cf.* § 6.3).

### 3.3 La modélisation biologique

**Mots clés** : neurosciences computationnelles, modèle cortical, assemblée neuronale, colonne corticale, neurones impulsionnels.

La modélisation biologique consiste pour nous à utiliser des données des neurosciences pour proposer de nouveaux modèles neuronaux pour le traitement automatique de l'information. Ces données peuvent concerner le fonctionnement élémentaire du neurone, aussi bien que l'identification des flux d'information engagés dans des tâches cognitives.

**Modèles neuromimétiques élémentaires** L'inspiration des neurosciences propose une alternative intéressante au codage en champ continu : le codage temporel par impulsion. En effet, les neurones ont une activité à temps continu mais en tout ou rien (envoi de *spikes* pouvant intervenir à n'importe quel instant) qui est généralement modélisée en continu par une mesure de leur fréquence. Conserver ce codage temporel par impulsion peut apporter une représentation plus riche de l'information (par exemple en exploitant les retards de décharge entre neurones) et plus robuste (plus grande résistance au bruit). De plus, ce fonctionnement se prête bien aux implantations matérielles que nous visons (*cf.* § 4.4).

**Modèles neuromimétiques comportementaux** Notre modèle cortical, dont les principes sont développés depuis plus de dix ans en collaboration avec d'autres chercheurs des neurosciences cognitives, est fondé sur la notion d'assemblées neuronales, les colonnes corticales, assurant des opérations élémentaires d'un niveau plus fonctionnel et plus intégré que le simple



neurone formel. Dans nos modèles, ces assemblées, vues comme unités de traitement, sont groupées au sein d'aires, typées par la nature des informations traitées.

Cet axe de recherche consiste à définir la logique de fonctionnement et d'apprentissage des unités et à en étudier les conséquences sur les capacités d'apprentissage et de représentation de l'information, dans des réseaux de telles unités.

Nous abordons tout d'abord le problème sous l'angle de l'apprentissage afin que notre unité neuronale complexe détecte des événements sensorimoteurs au sein d'aires corticales et que cette information puisse être représentée topologiquement, comme des batteries de filtres. Le second point concerne la logique d'activation des unités, chacune représentant un événement du monde extérieur ou un état interne du système en particulier. Les états d'activation des unités doivent pouvoir représenter des concepts aussi différents que la présence de l'événement, son inhibition, le souhait qu'il se produise ou la recherche des conséquences de son activation éventuelle. De plus, des transitions entre états d'activation doivent être permises par apprentissage, de manière à construire un graphe causal, typé par la sémantique des aires, représentant les inter-relations entre ces unités. Ces inter-relations sont en fait une représentation interne des invariants du monde extérieur ou des conséquences de l'action du système sur ce monde.

Réaliser une tâche (de perception, d'analyse de scène, de décision, de navigation) avec ce formalisme consiste à créer le réseau d'unités qui en sera le support. Tout d'abord, nous définissons, du point de vue des neurosciences, les principaux flux d'information impliqués dans cette tâche, en termes de capteurs, d'effecteurs, d'aires corticales et éventuellement de zones extracorticales. Ensuite, nous implantons des modèles de ces différentes structures neuronales et de leurs interconnexions en étudiant plus particulièrement les aspects de synchronisation des flux d'information et d'émergence dans de tels réseaux distribués.

Nous avons ainsi exploré divers domaines perceptifs concernant en particulier des tâches de traitement visuel et auditif. Nous avons également étudié des tâches d'intégration multimodale comme la reconnaissance invariante par combinaison de fonctions de localisation et de reconnaissance, ainsi que la coordination sensorimotrice. Nous avons enfin abordé le problème de l'organisation temporelle du comportement incluant des notions de mémoire de travail et de planification.

## 4 Domaines d'applications

### 4.1 Panorama

**Mots clés :** interprétation de signaux, robotique, interaction perception/action.

D'une manière générale, notre approche consiste à promouvoir une technique de traitement automatique de l'information fondée sur des caractéristiques à la fois numériques, adaptatives et distribuées. Ceci nous permet d'opérer le transfert de nos résultats à deux niveaux en proposant, d'une part, de nouvelles techniques de codage et de représentation de l'information et, d'autre part, des applications intégrées exploitant ces caractéristiques pour la résolution de tâches typiquement humaines. Enfin, de manière transversale, nous étudions également l'implantation de ces algorithmes sur des architectures dédiées.

## 4.2 Représentation de l'information

La problématique de l'intégration neurosymbolique nous fait envisager des relations entre les aspects numériques et symboliques et l'information. Ceci nous amène donc à étudier les capacités de représentation et de codage des réseaux de neurones artificiels, afin de faciliter un couplage ultérieur avec des approches symboliques ou une extraction de connaissances à partir d'un traitement neuronal. C'est ainsi que nous nous intéressons actuellement à des tâches d'interprétation et d'analyse de données (*cf.* § 7.3, § 7.2 et § 7.1) qui, à partir de bases de données de grande taille (géographiques, industrielles ou bibliographiques), proposent une structuration et une exploitation raisonnée des connaissances implicitement disponibles.

Par ailleurs, l'inspiration des neurosciences nous permet de développer de front et de comparer deux formalismes de calcul neuronal, le calcul classique en champ continu et le codage temporel par impulsion. En particulier, nous nous attachons à comparer, selon les applications visées, les coûts et les performances respectifs de ces deux approches.

## 4.3 Tâches cognitives

Dans notre perspective cognitive des modèles neuromimétiques, nous étudions la modélisation de comportements cognitifs typiquement humains. C'est ainsi que nous avons étudié dans le passé des tâches de perception, d'intégration multimodale ou de planification. Nous nous intéressons actuellement, dans un cadre biologique, à différentes stratégies de codage de l'information visuelle à des fins de représentation ou de localisation d'indices pour un robot autonome (*cf.* § 7.2) et dans un cadre statistique, à l'extraction de connaissances à partir de données (*cf.* § 6.3).

## 4.4 Architectures dédiées

Si notre approche propose de nouveaux modes de traitement de l'information, elle suggère également de nouvelles architectures de calcul pour les implanter. Trois supports sont étudiés. D'une part, d'un point de vue global, l'étude de comportements autonomes nous fait explorer la voie robotique, comme validation naturelle de tels comportements. L'architecture computationnelle est donc classique. Seule importe là la notion d'autonomie et d'embarquement des programmes. D'autre part, nous tentons d'exploiter le parallélisme intrinsèque du calcul neuronal par deux études de parallélisation sur des supports à grain fin et à grain grossier.

En ce qui concerne les méthodes de parallélisation à grain fin, le support privilégié est le matériel programmable (FPGA), permettant de bénéficier simultanément de la simplicité d'une approche de type logiciel, et d'un grain de parallélisme bien adapté à la simplicité des calculs neuronaux élémentaires. De plus, le choix d'un tel support est intéressant pour une part importante des utilisations pratiques des réseaux de neurones, puisqu'il permet d'obtenir des implantations à la fois rapides, embarquables, flexibles et peu coûteuses (*cf.* § 7.2). Ces caractéristiques représentent un avantage évident pour l'utilisation de méthodes neuronales au sein de systèmes autonomes (robotique, microsystemes, etc.).

Pour la parallélisation à gros grain, nous nous intéressons, dans le cadre du centre Charles Hermite, à l'implantation de nos modèles sur des machines parallèles classiques de type MIMD

(cf. § 7.1). Nous travaillons ici sur l'hypothèse vraisemblable que ces machines parallèles d'architecture généraliste vont se démocratiser et qu'il est donc pertinent de pouvoir faciliter l'implantation de modèles neuronaux sur ces machines. Cette implantation n'est pas immédiate car les types de parallélisme des réseaux de neurones (grain fin, communication par messages) et de ces machines (processeurs puissants plutôt orientés vers la communication par mémoire partagée) sont très différents. Le but de notre travail est donc de proposer une interface entre ces deux grains de parallélisme, permettant d'accélérer les exécutions des algorithmes neuronaux tout en diminuant les temps d'implantation.

## 5 Logiciels

### 5.1 Bibliothèque neuronale

**Participants** : Yann Boniface [correspondant], Laurent Bougrain, Olivier Rochel.

**Mots clés** : parallélisme, MIMD.

Cette bibliothèque de fonctions sur le langage 'C' est un outil permettant d'implanter des algorithmes neuronaux et de les exécuter sur machines parallèles comme séquentielles. C'est donc une interface entre le parallélisme des réseaux de neurones (grain fin) et celui des machines parallèles MIMD à mémoire partagée (gros grain). Le but de cet outil est double. Du point de vue du développement il permet d'implanter les réseaux connexionnistes au niveau du neurone et d'utiliser ses propriétés parallèles. Il facilite la programmation et la lisibilité du code résultant. Du point de vue de l'exécution, il permet d'exécuter les modèles coûteux en temps de calcul sur machines parallèles, donc d'accélérer les exécutions et de rendre plus utilisables les réseaux et de développer des réseaux de plus grande taille. Nous offrons ainsi aux connexionnistes un outil d'aide au développement de réseaux de neurones utilisant les propriétés parallèles des modèles connexionnistes pour permettre leur exécution sur machines parallèles sans modification des algorithmes dans ce sens. Cette bibliothèque a déjà été diffusée à nos collaborateurs (à Metz, Lyon, Strasbourg et Amsterdam).

### 5.2 Interface avec le robot Koala

**Participants** : Alistair Bray [correspondant], Hervé Frezza-Buet, Vincent Martin.

**Mots clés** : comportement autonome.

Nous étendons notre système visuel développé pour un robot de Koala, basé sur des principes biologiques et neuromimétiques. Le système est hiérarchique, multi-couches et adaptatif. Il vise à modéliser une rétine et des régions corticales (jusqu'à l'aire IT de cortex visuel) pour le traitement visuel. Le système est efficace, il fournit une présentation graphique (GDK/GTK) très simple des différents niveaux modélisés, et peut être utilisé en mode *online* ou *offline*. A un niveau plus haut, il extrait des caractéristiques globales à partir de la couleur et de la forme d'une séquence d'images, selon une fonction des statistiques spatiales et temporelles aux niveaux plus bas. Ces caractéristiques robustes peuvent être exploitées pour la reconnaissance de lieux dans un environnement.

Le travail actuel procède sur des axes théoriques et pratiques. Premièrement, nous avons mis en application, et testons actuellement, un mécanisme de commande à base de gradient visuel qui permet au robot de se diriger en utilisant un gradient visuel entre la vue actuelle et la vue cherchée. Ceci est fait par la recherche d'une voie d'accès dans l'espace des vues, et fournit un moyen d'évaluer l'efficacité d'utiliser cette représentation, "view-based" et temporellement prévisible, comme entrée à d'autres modules corticaux (par exemple, pour les tâches de navigation ou de mémorisation). À cet égard, nous sommes prêts à tester la capacité du robot à se diriger dans les couloirs du laboratoire maintenant que nous avons installé sur le robot un ordinateur avec une connexion Internet sans fil. Deuxièmement, nous exploitons des moyens très récents pour maximiser la prévisibilité temporelle en utilisant des méthodes statistiques non-linéaires (*cf.* § 6.3) afin de créer une version beaucoup plus modulaire de ce système visuel distribué et hiérarchique. Ceci est fait par la création d'un ensemble de fonctions C++ pour mettre en application les architectures distribuées, et fondées sur des micro-fonctions d'une façon efficace ; celles-ci peuvent être appliquées dans d'autres domaines temporels. Troisièmement, nous étendons les capacités graphiques de l'interface GDK/GTK pour rendre le système plus accessible et plus simple à utiliser, en particulier pour qu'il n'exige pas un utilisateur expert.

Par ailleurs, dans le cadre de l'ARC NOSE (*cf.* § 7.2), nous étendons actuellement l'interface avec notre robot à la prise en compte de signaux issus d'une matrice de capteurs olfactifs.

### 5.3 Plates-formes de développement

**Participants** : Yann Boniface, Hervé Frezza-Buet [correspondant], Vincent Martin.

**Mots clés** : plate-forme de développement, modèle neuronal.

Une grande part des travaux de l'équipe repose sur la programmation d'automates distribués (colonnes corticales, neurones impulsions, etc.). Nous avons donc développé une plate-forme commune de développement (visualisation des variables internes, débogage, exécution contrôlée, etc.) sur la base du langage C++ et des bibliothèques GDK/GTK.

En collaboration avec Supélec, qui a développé une architecture client/serveur permettant le contrôle des effecteurs (roues, caméra orientable) ainsi que la réception d'information en provenance des différents capteurs (capteurs infrarouges/luminosité et image vidéo) du robot Koala, nous débutons actuellement la fusion des trois systèmes logiciels présentés plus haut, ce qui permettrait à l'équipe de travailler sous le même environnement et pourrait être ultérieurement diffusé à l'extérieur.

### 5.4 MicroNOMAD

**Participant** : Jean-Charles Lamirel [correspondant].

**Mots clés** : extraction de connaissances, bases de données.

Le logiciel MicroNOMAD est un logiciel dédié principalement à l'extraction et à la structuration de connaissances contenues dans des bases de données. Le principe de base de ce logiciel est de fournir à un utilisateur des cartographies interactives et interconnectées matérialisant

différentes synthèses du contenu de la base étudiée. Le modèle sous-jacent au fonctionnement de ce logiciel représente une extension du modèle SOM de Kohonen à un contexte multicarte, ou multi points de vue. Du fait de la souplesse de l'extension proposée, les cartes fournies par le logiciel peuvent à la fois faire office d'outils de navigation élaborée, d'outils de fouille de données, ainsi que d'outils d'aide à la formulation de requêtes sur la base étudiée. Le modèle permet d'exploiter des échanges dynamiques entre des points de vue multiples sur la base concernée afin d'établir des corrélations entre différentes vues sur les mêmes données. Il permet également de travailler avec des représentations incomplètes ou partielles des données et tolère la cohabitation de plusieurs média de représentation pour les mêmes données. Le logiciel MicroNOMAD a été utilisé pour différentes applications opérationnelles de fouille de données (*cf.* § 7.3 et § 7.4). Les versions 1 et 2 de ce logiciel ont fait l'objet d'un dépôt de brevet de la part de l'INRIA. La version 3 est en cours de développement.

## 6 Résultats nouveaux

### 6.1 Modèles neuromimétiques comportementaux

**Participants :** Frédéric Alexandre, Yann Boniface, Alistair Bray, Claudio Castellanos Sanchez, Hervé Frezza-Buet, Vincent Martin.

En ce qui concerne les modèles neuromimétiques d'inspiration biologique visant à réaliser des tâches comportementales intégrées, nous avons poursuivi le développement de modules visant à modéliser le cortex pariétal qui permet la localisation d'objets et la coordination sensorimotrice. Concernant la coordination sensorimotrice, nous étudions actuellement des mécanismes neuronaux permettant de construire une représentation stable de l'environnement, même si le robot bouge ou oriente différemment sa caméra. Ceci est réalisé par l'intégration progressive, à partir de l'information sensorielle visuelle, des données de mouvement de la caméra puis des roues et de l'apprentissage de la conséquence de tels mouvements sur les modifications de la perception [10].

Concernant la localisation d'objets, nous nous intéressons, dans le cadre d'un projet de l'ACI COGNITIVE (*cf.* § 7.2) à la réalisation de différents types de codage de l'information visiospatiale, pouvant correspondre à un codage catégoriel (position relative) ou métrique (position absolue) et dont on pense qu'ils pourraient être respectivement situés dans les hémisphères gauche et droit.

Ces deux domaines de recherche nécessitent l'utilisation de primitives d'extraction d'indices visuels, adaptés à une utilisation ultérieure dans le cadre de fonctions sensorimotrices. C'est un des principaux buts du séjour dans notre équipe d'Alistair Bray, recruté comme spécialiste.

Enfin, notre activité dans ce domaine neuromimétique comportemental a consisté à poursuivre l'intégration de ces modèles sur notre plate-forme robotique (*cf.* § 5.2) et le développement de bibliothèques (*cf.* § 5.1) et de logiciels spécialisés (*cf.* § 5.3) visant à mieux manipuler ces modèles complexes, en particulier par l'utilisation de machines parallèles et d'interfaces graphiques.

## 6.2 Modèles neuromimétiques élémentaires

**Participants :** Frédéric Alexandre, Yann Boniface, Bernard Girau, Etienne Hugues, Dominique Martinez, Olivier Rochel.

L'étude du codage neuronal nécessite le développement d'une plateforme de simulation informatique intégrant les fonctionnalités élémentaires du modèle de neurone impulsif. Les équations différentielles couplées décrivant la dynamique de chaque neurone ne peuvent pas être résolues analytiquement et doivent donc être approximées par des méthodes d'intégration numérique. Les outils de simulation utilisables actuellement sont peu adaptés : ils sont plutôt dédiés à des modélisations biologiques fines, ou à des cas simplifiés pour des applications particulières. De ce fait, un algorithme événementiel efficace a été mis au point dans le cadre de la thèse de Olivier Rochel. Une étude comparative (théorique et en simulation) des performances de cet algorithme par rapport à d'autres méthodes a été engagée, avec comme paramètres certaines caractéristiques des réseaux (taille, topologie, activité ...) ainsi que le besoin en précision (pas de temps ...). Dans ce but, une première version d'une bibliothèque de fonctions utilisant cet algorithme a été réalisée. D'autre part, cet algorithme, de par sa nature événementielle, se prête à des méthodes de parallélisation particulières, dont l'étude et l'emploi constituent l'un des prochains objectifs à atteindre dans le cadre de l'opération CCH 2 (*cf.* § 7.1).

L'implantation parallèle de ce type de réseaux nous permettra d'étudier les mécanismes d'apprentissage pouvant amener des neurones à se synchroniser ou se désynchroniser pour apprendre des patterns temporels. Un tel paradigme de calcul basé sur une synchronisation des décharges neuronales possède une certaine plausibilité biologique. En effet, de nombreuses observations expérimentales montrent très souvent la présence de corrélations entre décharges neuronales avec une précision temporelle de l'ordre de la milliseconde. Le rôle de cette synchronisation n'en reste pas moins hypothétique. Un premier résultat, obtenu par simulation, montre que la synchronisation des décharges neuronales entre neurones d'une même population amène une certaine robustesse vis à vis du bruit. Ceci nous a permis de proposer un nouveau modèle de codage temporel par ordre de décharge. Contrairement au modèle SpikeNet développé à Toulouse dans l'équipe de S. Thorpe, notre modèle n'est pas basé sur un asynchronisme entre neurones mais entre populations de neurones, une population de neurones étant définie comme l'ensemble des neurones dont l'activité est synchronisée. L'ordre relatif dans lequel les populations sont synchronisées est alors utilisé comme code que nous avons appliqué pour coder et reconstruire des images naturelles en niveaux de gris. L'étude de ce type particulier de codage de l'information (codage par l'ordre de décharge) est cependant une variante trop simplifiée du codage neuronal au regard des capacités souhaitées. Cette étude se poursuit donc à la fois théoriquement mais aussi expérimentalement en s'appuyant sur des applications de robotique autonome, en particulier pour le traitement d'informations visuelles ou olfactives dans le cadre de l'Action de Recherche Coopérative NOSE de l'INRIA (*cf.* § 7.2).

## 6.3 Intégration neurosymbolique

**Participants :** Frédéric Alexandre, Yann Boniface, Laurent Bougrain, Hervé

Frezza-Buet, Jean-Charles Lamirel, Bruno Scherrer, Georges Schutz.

Ces travaux correspondent à l'extension de modèles classiques du connexionnisme pour l'extraction de connaissances expertes, mais aussi pour mieux comprendre leur fonctionnement du point de vue de l'apprentissage statistique. La thèse de Laurent Bougrain, soutenue l'année dernière, a en particulier permis d'explorer en profondeur les liens entre ces modèles neuro-naux et les modèles statistiques les plus classiques de régression, de catégorisation ou en core d'analyse factorielle. Sur la base de ces travaux, nous avons entrepris l'extraction de régularités dans des phénomènes temporels. Ainsi, nous nous sommes intéressé au contrôle de machines industrielles (*cf.* § 7.3) [21] d'une part et à l'étiquetage automatique des états de la vigilance à partir de signaux physiologiques d'autres part (*cf.* § 7.4). Ce type d'étude nécessite une analyse des données à des échelles de temps différentes afin de comprendre quelles informations permettent d'optimiser une production ou de prévenir un trouble du sommeil.

Par ailleurs, l'intégration de la théorie systémique de la communication dans le fonctionnement propre d'un système de recherche d'information/fouille de données est une contribution originale des travaux de recherche de l'équipe. Elle s'avère notamment particulièrement adaptée au traitement de média complexes, comme les images. Cette approche a impliqué cependant la conception de modèles spécifiques susceptibles de développer des propriétés d'interaction forte avec un utilisateur, ainsi que des propriétés d'adaptation étendues [15]. Un exemple important de tel modèle est le modèle de conjonction de cartes, ou de classification multicritères, que nous avons développé. Ce modèle, qui porte le nom de MicroNOMAD-MultiSOM représente une extension importante du modèle SOM de Kohonen (*cf.* § 5.4). Les capacités de déduction automatique du modèle représentent notamment un sérieux atout par rapport aux méthodes de classification usuelles utilisées en analyse de données. Ces dernières ne permettent en effet pas d'exploiter dynamiquement plusieurs points de vue, qui peuvent être considérés comme plusieurs dimensions, relatives à la même information. Les expériences que nous avons menées sur l'analyse de brevets ont révélé la supériorité manifeste de la méthode MicroNOMAD-MultiSOM relativement aux méthodes de type k-means, classification de type simple lien, ou perceptron neuronal élémentaire [13] [12] [2]. Une évaluation et une validation théorique approfondies du modèle MultiSOM sont en cours actuellement. Cette démarche se verra facilitée par les nombreux contextes expérimentaux d'application dont nous disposons.

Les limitations des méthodes numériques, telles que MicroNOMAD-MultiSOM, sont liées aux erreurs d'interprétation qu'elles peuvent générer si elles sont utilisés sans précaution préalable par des non spécialistes pour des tâches d'analyse fine d'un domaine. De leur côté, les méthodes symboliques qui peuvent être utilisées dans le même but, telles que les treillis de Gallois, présentent l'inconvénient de fournir des résultats souvent inexploitable car trop touffus et/ou trop détaillés. Nous avons montré qu'il était possible de faire collaborer ces deux types de méthodes en définissant des équivalences entre les treillis de Gallois et les cartes topographiques [22]. Ces équivalences permettent de générer des interprétations strictes et hiérarchisées sur les cartes, et permettent également, à l'inverse, de définir des points focaux d'entrée dans les treillis de Gallois. Nous prolongeons nos études sur les correspondances entre les deux types de méthodes afin d'utiliser les treillis de Gallois en tant qu'outils de validation des déductions thématiques produites par l'interaction entre les cartes dans le modèle MicroNOMAD-MultiSOM.

Enfin, nous essayons également de maîtriser le fonctionnement et plus particulièrement l'apprentissage de cartes auto-organisatrices en utilisant, dans le cadre d'une collaboration avec Supélec et l'équipe MAIA, des modèles de décision markoviens pour guider les stratégies d'apprentissage (*cf.* § 7.1) de ces modèles neuronaux.

Nous avons mis au point une technique qui permet de nous intéresser à des modèles de décision markoviens ayant une taille très grande voire infinie : nous les approximons par des modèles de décisions de taille réduite fixée (cette taille réduite fait que l'on peut aisément calculer des solutions). Nous avons dérivé des critères qui permettent de déterminer les zones de l'espace d'état qui nécessitent d'être décrites avec plus de précision ou qui a contrario ne sont pas nécessaires pour l'approximation. Ainsi, de manière progressive, nous pouvons faire évoluer le modèle abstrait approximant le modèle réel : nous mettons à jour la représentation, ce qui permet d'améliorer les performances sans changer la complexité de résolution.

A l'aide de la technique décrite au paragraphe précédent, qui peut être vue comme un apprentissage de haut niveau, nous abordons un problème difficile de la modélisation d'agents intelligents : de manière analogue aux êtres vivants, nous essayons de modéliser des agents dont le système de décision est modulaire et distribué. Ce genre d'architecture pose deux problèmes fondamentaux : l'émergence des modules et leur coopération. Nous utilisons une abstraction de nombreux algorithmes de classification pour proposer un mécanisme qui fait émerger des modules automatiquement. Enfin, la nature explicite de la fonction de valeur des modèles de décision markoviens nous permet de facilement recombinaison les calculs effectués par des modules distincts et ainsi de les faire coopérer.

## 6.4 Implantations matérielles

**Participants** : Frédéric Alexandre, Philippe Beylik, Yann Boniface, Laurent Bougrain, Claudio Castellanos Sanchez, Bernard Girau, Dominique Martinez, Olivier Rochel.

Dans le domaine de la parallélisation à grain fin, les spécificités des applications neuronales rendent souhaitable l'utilisation de circuits intégrés programmables (FPGA). Nos travaux dans ce domaine explorent plusieurs approches.

Les contraintes de taille et de topologie des supports matériels programmables nous ont notamment amenés à proposer un paradigme de calcul neuronal qui permette de définir naturellement des architectures de réseaux de neurones faciles à implanter sur circuit numérique programmable, grâce à un protocole de partage des connexions disponibles par un nombre important de connexions virtuelles [9].

D'autre part, nous avons fait une première étude de l'implantation sur FPGA de deux modèles connexionnistes utiles dans nos travaux de recherche en perception visuelle pour la robotique autonome (*cf.* § 6.1) :

- réseaux de convolution : un module d'implantation semi-parallèle de ces réseaux à couches très complexes a été développé
- réseaux impulsionnels (spike) : les premiers résultats des travaux d'implantation du modèle LEGION sur FPGA sont très prometteurs (environ 1000 neurones simultanés, temps de calcul réduit de plusieurs ordres de grandeur)

Enfin, avec l'aide d'un ingénieur associé INRIA (P. Beylik) nous débutons la conception



d'un outil logiciel d'aide à l'implantation numérique programmable de réseaux de neurones. En effet, si l'utilisation de ces circuits se généralise, l'implantation de modèles connexionnistes y reste difficile pour un non spécialiste. Un outil de synthèse dédié aux réseaux de neurones est donc indispensable pour qu'un plus grand nombre d'utilisateurs bénéficient des apports de ces circuits dans le cadre du calcul connexionniste.

Pour ce qui concerne la parallélisation à gros grain, nous avons achevé le développement d'une bibliothèque de fonctions pour le langage C, permettant de concilier deux parallélismes distincts : le parallélisme à grain fin des réseaux de neurones et celui à gros grain des machines parallèles MIMD. Pour ce faire notre bibliothèque (*cf.* § 5.1) propose aux utilisateurs des fonctions leur permettant une utilisation du parallélisme neuronal pour l'implantation de leurs modèles. La bibliothèque utilise ensuite, sans apport supplémentaire de la part du programmeur, les informations apportées par ce parallélisme connexionniste, à grain fin, pour effectuer l'implantation sur machines parallèles MIMD à mémoire partagée, implantation parallèle à gros grain. Par les fonctions proposées, notre simulateur veut être un outil de recherche d'aide au développement de nouveaux algorithmes connexionnistes. Son utilisation du parallélisme neuronal favorise notamment une algorithmique connexionniste distribuée [6].

En termes de performances, l'implantation de diverses topologies connexionnistes et neuromimétiques nous a permis de constater deux propriétés de notre simulateur. Nous obtenons de bonnes performances sur des modèles répondant au modèle théorique, des modèles contenant un parallélisme intrinsèque, les modèles plutôt neuromimétiques. Les performances parallèles de la bibliothèque augmentent avec la charge de calcul, et donc la taille, du réseau implanté. Cet outil est ainsi plus particulièrement destiné à l'implantation, à l'utilisation et à l'étude des réseaux d'inspiration biologique, important domaine de recherche de notre équipe [7].

Nous finalisons actuellement le développement d'une interface graphique sur cette bibliothèque, interface principalement dédiée aux modèles neuromimétiques (*cf.* § 5.3).

Enfin, nous mettons également en œuvre l'implantation de ces mêmes modèles d'inspiration biologique sur la plate-forme robotique Koala. Nous avons en particulier développé les premières étapes du traitement de l'image et de l'asservissement des mouvements du robot (*cf.* § 5.2).

## 7 Actions régionales, nationales et internationales

### 7.1 Actions régionales

#### 7.1.1 Collaboration avec l'INIST

**Participants :** Frédéric Alexandre, Jean-Charles Lamirel.

Il s'agit ici de proposer des solutions neuromimétiques à la création de représentations facilement interprétables, à partir de bases bibliographiques de grande taille. La principale caractéristique de ce problème est que l'espace d'entrée est de grande taille (grand nombre de mots clés), mais relativement peu fourni en exemples. Nous avons donc tout d'abord travaillé à la recherche neuronale des meilleurs sous-espaces de projection et nous avons poursuivi par l'extraction et la représentation de concepts, permettant de mieux interpréter ces bases.

Une autre gamme de solutions neuromimétiques sur laquelle nous travaillons également actuellement est le problème de la détection des documents marginaux ou des tendances mar-

ginales dans une base documentaire. Les approches que nous proposons sont basées sur l'expérimentation de différents types de projecteurs neuromimétiques implantant des fonctions de détection de nouveauté.

Notre collaboration se concrétise notamment grâce au choix de l'approche MicroNOMAD-MultiSOM comme modèle de référence dans le projet européen EICSTES piloté par l'INIST. Ce projet concerne la découverte et la gestion d'information en provenance du Web. Ce choix prolonge une collaboration régulière avec l'unité Recherche et Innovation de l'INIST et les ingénieurs documentalistes de cet institut avec lesquels nous faisons évoluer le modèle MicroNOMAD-MultiSOM.

### 7.1.2 Action Téléopération et Assistants Mobiles du CPER

**Participants** : Frédéric Alexandre, Alistair Bray, Hervé Frezza-Buet, Vincent Martin, Dominique Martinez.

Dans le cadre du Contrat de Plan Etat Région, nous participons au projet Téléopération et Assistants Mobiles dont le but est d'étudier, avec des partenaires locaux d'écoles d'ingénieur et de laboratoires d'automatique, des systèmes de surveillance de processus industriels commandés à distance. Plus précisément, notre rôle est de développer un système connexionniste de perception visuelle d'inspiration biologique et de considérer son intégration dans le cadre de la robotique autonome.

### 7.1.3 Action du Centre Charles Hermite

**Participants** : Frédéric Alexandre, Yann Boniface, Dominique Martinez, Olivier Rochel.

Nous nous intéressons, avec pour support les machines du Centre Charles Hermite (CCH), à l'implantation de nos modèles sur des machines parallèles classiques de type MIMD.

Les réseaux de neurones artificiels, développés au cours de ces dernières années, sont généralement basés sur un modèle de calcul impliquant la transmission de variables analogiques. Cette voie a été suivie lors de la première phase du CCH et la thèse de Yann Boniface a permis de développer une bibliothèque pour l'implantation de ces réseaux de neurones analogiques sur machine parallèle. Lors de la deuxième phase du CCH, nous avons poursuivi l'exploitation de cette bibliothèque [7, 6, 16] et l'avons étendue (en collaboration avec l'ERSIDP de Supélec à Metz) à la simulation de cartes corticales.

Par ailleurs, nous nous sommes employés à évaluer les possibilités d'utilisation de notre bibliothèque dans le cadre particulier de la simulation de neurones impulsionnels. D'une part, notre bibliothèque peut être vue comme un outil de simulation à temps discret compatible avec la seconde approche basée sur l'intégration numérique. D'autre part, les résultats obtenus sur les réseaux de neurones classiques confirment la polyvalence de la bibliothèque en terme d'adaptation entre parallélisme connexionniste et parallélisme matériel, ce qui se traduit par une grande facilité d'implantation. Cependant, la nature asynchrone des neurones impulsionnels nous a amenés à privilégier l'approche événementielle ('événements discrets à temps continu') notamment pour des questions de précision numérique. Cette approche étant difficilement conciliable avec la bibliothèque actuelle, l'étude et l'emploi d'algorithmes événementiels

en parallèle constituent l'un des prochains objectifs à atteindre dans le cadre de l'opération CCH 2 [18]. Le logiciel résultant de cette étude devrait permettre à terme la simulation de réseaux de neurones de grande taille pour l'étude du codage impulsif et en particulier la simulation d'un modèle du bulbe olfactif développé dans le cadre de l'Action de Recherche Coopérative *NOSE* de l'INRIA (*cf.* § 7.2).

#### 7.1.4 Réseau Grand-Est des Sciences de la Cognition

**Participants :** Frédéric Alexandre, Laurent Bougrain, Hervé Frezza-Buet, Vincent Martin.

Nous participons activement au réseau Grand-Est des Sciences Cognitives, en particulier à travers une collaboration avec l'ULP de Strasbourg sur le thème des modèles de mémoire. Cette collaboration donne également lieu à l'organisation de séminaires soutenus financièrement par le réseau.

### 7.2 Actions nationales

#### 7.2.1 Action de Recherche Coopérative NOSE

**Participants :** Frédéric Alexandre, Etienne Hugues, Dominique Martinez, Olivier Rochel.

Dans le cadre de l'ARC NOSE de l'INRIA, nous collaborons avec le LPMI à Nancy, l'ISC à Lyon et le SHU à Sheffield sur le développement d'un robot autonome capable de détecter et de localiser des odeurs. Nous avons réalisé avec succès une première expérimentation de guidage par stéréo-olfaction en équipant notre robot de deux matrices de capteurs de gaz (voir sur <http://www.loria.fr/~rochel/nose>). Nous travaillons actuellement sur la façon de rendre notre robot sélectif à une odeur particulière dans le cas plus réaliste où plusieurs odeurs sont présentes dans l'environnement. Une telle situation de mélange olfactif est similaire au phénomène de cocktail party que l'on rencontre en audition. Pour effectuer une séparation aveugle des sources, nous avons développé un algorithme nonlinéaire basé sur les machines à support vecteurs. Ce modèle est un modèle statistique qui n'est pas plausible biologiquement. Afin d'étudier si un tel mécanisme de séparation de sources peut avoir lieu dans le bulbe olfactif, nous porterons nos efforts en 2002 sur la modélisation du système olfactif en utilisant des neurones impulsifs.

#### 7.2.2 Projet de l'Action Concertée Incitative Cognitive

**Participants :** Frédéric Alexandre, Hervé Frezza-Buet, Vincent Martin.

Ce projet pluridisciplinaire, dont nous sommes responsables, regroupe des équipes dans les domaines de l'informatique, de la biologie et de la psychologie. Il s'intéresse à l'étude de codages catégoriels et métriques de l'information visiospatiale et à leurs conséquences sur les performances des êtres humains et des modèles informatiques. Ceci se concrétise par le développement en parallèle de protocoles qui seront appliqués à des modèles informatiques

d'inspiration biologique et statistique, à des tests de psychopédagogie et à des expérimentations en IRMf pour des sujets humains.

### 7.2.3 Convention avec le Musée de La Villette

**Participant** : Jean-Charles Lamirel.

Ce projet étudie l'accès intelligent aux inventaires de collections muséologiques, avec à la fois l'intérêt de multiplier les regards de l'utilisateur et de faire découvrir des liens insoupçonnés aux historiens et à l'administrateur de la base de données "objets".

L'idée dont est issu ce projet est de coupler deux méthodes de classification et de fouille de données pour visualiser une collection d'objets, pour construire des points de vue sur ces données et des regroupements avec une granularité plus ou moins fine ou encore pour trouver des corrélations entre certaines propriétés de ces objets.

Cette approche est le fruit d'une collaboration avec l'équipe Orpailleur sur les treillis de Gallois. Elle fait l'objet d'une proposition de projet PRIAMM.

## 7.3 Actions européennes

### 7.3.1 Réseau d'excellence NEUROCOLT II

**Participants** : Alistair Bray, Bernard Girau, Jean-Charles Lamirel, Dominique Martinez.

Ce réseau d'excellence européen, qui compte deux laboratoires membres en France, s'intéresse principalement à la théorie de l'apprentissage statistique. Les activités de ce réseau sont maintenant entrées dans leur dernière année.

Nos contributions ont porté sur l'étude et les applications de différents modèles à support vecteur (SVM, support vector machines), ainsi que sur les modes de calcul et d'apprentissage connexionnistes réduisant les surfaces d'implantation numérique [9].

Nous nous sommes également intéressés dans le cadre du réseau aux applications de l'apprentissage non supervisé pour la fouille de texte. Nos premiers résultats ont été présentés dans le cadre de l'article [13]

Plus récemment, A. Bray et D. Martinez se sont penchés sur la séparation de sources non-linéaires. Un article à ce sujet est en cours de révision.

### 7.3.2 Contrôle de machines industrielles

**Participants** : Frédéric Alexandre, Dominique Martinez, Georges Schutz.

Ce projet européen de l'ECSC, dont nous sommes sous-traitants, regroupe les aciéries du Luxembourg, de Belgique et d'Espagne. Son but est d'améliorer le contrôle d'un four à arcs électriques par la modélisation du processus. Notre équipe a en charge la modélisation neuronale avec pour but l'extraction ou l'incorporation de connaissances expertes dans les réseaux neuronaux. Nous avons proposé cette année une méthode non supervisée pour l'extraction d'indices robustes à partir des signaux recueillis par les capteurs du processus [21].

### 7.3.3 Projet IST Scholnet

**Participant** : Jean-Charles Lamirel.

Le but du projet Scholnet est de définir un environnement support pour le développement d'une librairie électronique multimédia distribuée à usage académique. En sus des services traditionnels d'accès à des informations textuelles distantes, tels que des publications ou tout autre type de document scientifique ou technique, l'environnement devra permettre de mettre en place des services d'accès aux informations non textuelles telles que les images ou les vidéos, ainsi que des services d'annotation hypermedia, de recherche multilingue, de distribution personnalisée d'information.

Ce projet étend l'environnement proposé par le projet Européen ERTDL pour l'accès aux documents textuels académiques basé lui même sur le protocole DIENST d'accès aux documents distribués.

Notre rôle est de proposer une méthode de représentation unifiée des documents vidéo, ainsi que des méthodes d'accès élaborées à ces mêmes documents. Nous interviendrons également dans la construction des profils utilisateurs ainsi que dans la conception des services de distribution personnalisés de l'information.

Ce projet a démarré en Novembre 2000. Son état d'avancement est déjà satisfaisant puisqu'un premier prototype opérationnel simplifié sera présenté lors de la prochaine revue du projet qui aura lieu en Janvier 2002.

## 7.4 Actions internationales

### 7.4.1 Projet STIC avec la Tunisie

**Participants** : Frédéric Alexandre, Laurent Bougrain.

Nous collaborons avec la faculté de médecine de Monastir sur l'interprétation de signaux physiologiques (EEG, EMG, EOG). D'une part, une telle interprétation peut permettre de mieux détecter des changements dans des états de vigilance. Notre but est alors de la réaliser avec un système connexionniste compact pouvant facilement être embarqué dans un FPGA et porté de façon autonome par un humain effectuant des tâches à risque. D'autre part, nous étudions avec des médecins physiologistes, de manière plus fondamentale, la mise au point d'outils logiciels permettant de mieux comprendre le sommeil et ses pathologies associées.

### 7.4.2 Action conjointe INRIA-NSC Taiwan

**Participant** : Jean-Charles Lamirel.

Le domaine d'application de ce projet est celui d'une librairie électronique multimédia comprenant à la fois du texte et des images accessibles en ligne sur internet. Le but du projet final est de proposer à la fois des fonctionnalités d'accès par requête ainsi que des fonctionnalités d'accès à partir d'exemples à la librairie. Les contraintes d'adjonction incrémentale de nouveaux documents, texte ou image, à la base originale doivent également être prises en compte. De même, ce projet doit également tenir compte de contraintes liées à un temps de calcul réaliste des solutions.

Cette approche est basée à la fois sur l'approche MicroNOMAD, ainsi que sur les méthodes de calcul de similarité dans des espaces vectoriels fortement multidimensionnels développés dans l'équipe.

Nous avons proposé un premier modèle théorique de cette approche [14]. L'implantation opérationnelle en sera réalisée durant l'année à venir.

## 8 Diffusion de résultats

### 8.1 Animation de la Communauté scientifique

- Responsabilité du Réseau Grand-Est des Sciences Cognitives (F. Alexandre)
- Participation active à des groupes de travail : Neurocolt (*cf.* § 7.3), Association NSI (Neurosciences et Sciences pour l'Ingénieur), GTRA (groupe de travail AFIA sur l'apprentissage)
- Relecture pour les revues : International Journal of Neural Systems, IEEE Trans. on Robotics and Automation, Parallel Computing, TSI (F. Alexandre).
- Comités de programme : IVème Colloque Jeunes Chercheurs en Sciences Cognitives, European Workshop on Learning Robot, EWLR 2001 (F. Alexandre) ;
- Participation au comité scientifique et pédagogique et enseignement à l'école thématique du CNRS de Porquerolles sur l'économie cognitive, comité scientifique du colloque 2001 de l'Association pour la Recherche Cognitive (ARCo), comité de lecture pour un numéro spécial de TSI (F. Alexandre)

### 8.2 Enseignement

- Participation à divers enseignements en informatique à Nancy et à Strasbourg (DEA, DESS, IUT, Licence-Maîtrise d'informatique) ;
- Enseignement au DEA de Neurosciences de Strasbourg et au DEA de Sciences Cognitives de Lyon (F. Alexandre), enseignement au CNAM (B. Girau) ;
- Participation à des jurys de thèse (F. Alexandre, D. Martinez, J.C. Lamirel) ;
- Co-encadrement de thèses au LAAS (D. Martinez) et en Tunisie (J.-C. Lamirel, F. Alexandre).

## 9 Bibliographie

### Articles et chapitres de livre

- [1] H. FREZZA-BUET, F. ALEXANDRE, « From a biological to a computational model for the autonomous behavior of an animat », *Information Sciences*, 2001.
- [2] X. POLANCO, C. FRANCOIS, J.-C. LAMIREL, « Using Artificial Neural Networks for Mapping of Science and technology : a multisom approach », *Scientometrics*, septembre 2001.
- [3] J.-F. REMM, F. ALEXANDRE, « Knowledge extraction using artificial neural networks : Application to radar target identification », *Signal Processing*, 2001.

**Communications à des congrès, colloques, etc.**

- [4] F. ALEXANDRE, « Approche modulaire et architecture dédiée pour l'implantation de réseaux neuromimétiques complexes », *in : Colloque Interdisciplinaire en Sciences Cognitives - ARCo'2001, Lyon, France*, décembre 2001.
- [5] A. BERMAK, D. MARTINEZ, « A compact Multi-Chip-Module Implementation of a Multi-Precision Neural Network Classifier », *in : IEEE International Symposium on Circuits and Systems - ISCAS'2001, Sydney, Australia*, 3, p. 249–252, mai 2001.
- [6] Y. BONIFACE, « A parallel simulator to build distributed neural algorithms », *in : IJCNN'01, Washington, USA*, juillet 2001.
- [7] Y. BONIFACE, « A simulator to parallelise large biologically-inspired artificial neural networks », *in : ICANN'01, Prague, Czech Republic*, avril 2001.
- [8] A. DUTECH, B. SCHERRER, « Learning to use contextual information for solving POMDP », *in : European Workshop on Reinforcement Learning - EWRL-5*, octobre 2001.
- [9] B. GIRAU, « On-chip learning of FPGA-inspired neural nets », *in : International Joint Conference on Neural Networks - IJCNN'01, Washington, USA*, juillet 2001.
- [10] S. JAMOSSI, F. ALEXANDRE, « Implantation d'une carte associative pour l'orientation d'un robot autonome à l'aide d'une image vidéo », *in : Traitement et Analyse d'Images Méthodes et Applications - TAIMA'01, Hammamet, Tunisie*, juin 2001.
- [11] H. KAMMOUN, J.-C. LAMIREL, « A classificatory System for Information Retrieval : SARCI », *in : SCI 2001*, juillet 2001.
- [12] J.-C. LAMIREL, Y. TOUSSAINT, J. DUCLOY, C. CZYSZ, C. FRANCOIS, « Réseaux neuronaux avancés pour la cartographie de la science et de la technologie : Application à l'analyse des brevets », *in : VSST 2001*, octobre 2001.
- [13] J.-C. LAMIREL, Y. TOUSSAINT, C. FRANCOIS, X. POLANCO, « Using a MultiSOM approach for Mapping of Science and Technology », *in : ISSI 2001*, août 2001.
- [14] J.-C. LAMIREL, « MicroNOMAD model application to Digital Museum of Butterflies », *in : First Sino-Franco Workshop on Multimedia, Puli, Taiwan*, mars 2001.
- [15] J.-C. LAMIREL, « Using images for enhancing discovering task in a DL context », *in : SPIE 2001*, janvier 2001.
- [16] P. LAROCHE, Y. BONIFACE, R. SCHOTT, « A New Decomposition Technique for Solving Markov Decision Processes », *in : Symposium on Applied Computing - SAC'2001, Las Vegas, USA*, ACM (éditeur), mars 2001.
- [17] V. MARTIN, « Recherche de dynamiques neuronales pour la vision en robotique », *in : Valgo numéro 01-02, La revue en ligne de l'Association des Connexionnistes en THèse, Montélimar, France*, Association des Connexionnistes en THèse, octobre 2001.
- [18] O. ROCHEL, « Modélisation et simulation de réseaux de neurones impulsifs », *in : Journées scientifiques du CCH, Vandoeuvre-lès-Nancy, France*, février 2001.
- [19] N. ROUGIER, F. ALEXANDRE, « A cerebral framework for integrating biologically plausible mechanisms in large connectionist models », *in : International Conference on Systems in Biology, Pasadena, USA*, novembre 2001.
- [20] B. SCHERRER, « Auto-organisation modulaire d'une architecture intelligente », *in : Valgo numéro 01-02, La revue en ligne de l'Association des Connexionnistes en THèse, Montélimar, France*, Association des Connexionnistes en THèse, octobre 2001.

- [21] G. SCHUTZ, F. ALEXANDRE, S. GILLÉ, « Neural Networks in Dynamic Process Analysis », *in : 16th IAR - Annual Meeting - IAR/ICD Workshop, Strasbourg, France*, I. (german-french Institute for Automation, Robotics (éditeurs), ENSPS (Ecole Nationale Supérieure de Physique de Strasbourg / ULP (Université Louis Pasteur Strasbourg), p. 105–110, novembre 2001.
- [22] Y. TOUSSAINT, J.-C. LAMIREL, M. D'AQUIN, « Combining Symbolic and Numeric Techniques for Database Content Analysis », *in : AI/IEA01*, 2001.