

Avant-projet CORTEX

Intelligence neuromimétique

Nancy

THÈME 3A



*Rapport
d'Activité*

2000

Table des matières

1	Composition de l'équipe	3
2	Présentation et objectifs généraux	4
3	Fondements scientifiques	6
3.1	Le connexionnisme	6
3.2	L'intégration neurosymbolique	6
3.3	La modélisation biologique	7
4	Domaines d'applications	8
4.1	Panorama	8
4.2	Représentation de l'information	8
4.3	Tâches cognitives	8
4.4	Architectures dédiées	9
5	Logiciels	9
5.1	Plates-formes de développement	9
5.2	Interface avec le robot Koala	10
5.3	Bibliothèque neuronale	10
6	Résultats nouveaux	11
6.1	Modèles neuromimétiques comportementaux	11
6.2	Modèles neuromimétiques élémentaires	12
6.3	Intégration neurosymbolique	13
6.4	Implantations matérielles	14
7	Contrats industriels (nationaux, européens et internationaux)	15
7.1	Classification d'environnements	15
8	Actions régionales, nationales et internationales	15
8.1	Actions régionales	15
8.1.1	Collaboration avec l'INIST	15
8.1.2	Action Téléopération et Assistants Mobiles du CPER	15
8.1.3	Collaboration avec Supélec sur le parallélisme	16
8.1.4	Collaboration avec Supélec sur la robotique autonome	16
8.1.5	Réseau Grand-Est des Sciences de la Cognition	17
8.2	Actions nationales	17
8.2.1	Projet de l'Action Concertée Incitative Cognitive	17
8.2.2	Convention avec le Musée de La Vilette	17
8.2.3	Neurophysiologie cognitive	17
8.2.4	Bioinformatique	18
8.3	Actions européennes	18
8.3.1	Réseau d'excellence NEUROCOLT II	18

8.3.2	Programme d'Actions Intégrées Van Gogh	19
8.3.3	Contrôle de machines industrielles	19
8.3.4	Projet IST Scholnet	19
8.4	Actions internationales	19
8.4.1	Action conjointe INRIA-NSC Taiwan	19
9	Diffusion de résultats	20
9.1	Animation de la Communauté scientifique	20
9.2	Enseignement	20
10	Bibliographie	21

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 [CR]

Personnel Université

Bernard Girau [Maître de Conférences, U. Nancy 2 (à partir du 1/9/00)]

Yann Guermeur [Maître de Conférences, UHP]

Jean-Charles Lamirel [Maître de Conférences, U. Strasbourg]

Chercheurs doctorants

Laurent Bougrain [CNRS (jusqu'au 1/11/00)]

Didier Fass [CNES]

Vincent Martin [MENRT (à partir du 1/10/00)]

Karima Ouchérif [INRIA]

Olivier Rochel [UHP (à partir du 1/10/00)]

Nicolas Rougier [MENRT (jusqu'au 1/11/00)]

Bruno Scherrer [INRIA]

Georges Schutz [Luxembourg (à partir du 1/10/00)]

Chercheurs post-doctorants

Yann Boniface [ATER]

Alistair Bray [INRIA]

Ingénieur

Jacques Besse [SEDRE (à partir du 1/6/00)]

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 traitement de l'information animales ou humaines (*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 comportement binaire du neurone (émission de potentiels d'action). Ce travail se ramène à l'étude de phénomènes de synchronisation au sein d'assemblées de tels neurones. Troisièmement, à un niveau intermédiaire, nous travaillons sur des modèles neuronaux 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 classifieurs 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 classifieurs. 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'exploitation 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.* § 7.1, § 8.2 et § 8.1) qui, à partir de bases de données de grande taille (géographiques, génomiques 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. Outre les tâches perceptives et associatives étudiées dans le passé, nous cherchons maintenant à modéliser des comportements

de planification d'actions permettant de satisfaire des besoins directement exprimés (*cf.* § 8.2). Cela se traduit actuellement par des tâches de navigation et de décision appliquées au comportement de robot.

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.* § 8.2). Ces caractéristiques représentent un avantage évident pour l'utilisation de méthodes neuronales au sein de systèmes autonomes (robotique, microsystèmes, 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. 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 Plates-formes de développement

Participants : Jacques Besse, Yann Boniface, Hervé Frezza-Buet [correspondant], Nicolas Rougier.

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 impulsionnels, 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. Cette plate-forme

est en cours d'extension sur machine parallèle à l'aide de la bibliothèque neuronale parallèle développée au sein de notre équipe.

5.2 Interface avec le robot Koala

Participants : Alistair Bray [correspondant], Hervé Frezza-Buet, Nicolas Rougier.

Mots clés : comportement autonome.

Nous avons développé un système visuel pour le robot Koala selon des principes biologiques et neuromimétiques. Le système est hiérarchique, multi-couches et adaptatif. Il vise à modéliser une rétine et des régions corticales 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, et sont désormais disponibles comme entrées pour nos modèles neuromimétiques de navigation et de mémoire spatiale.

5.3 Bibliothèque neuronale

Participants : Jacques Besse, Yann Boniface [correspondant], Laurent Bougrain.

Mots clés : parallélisme, MIMD.

Les réseaux de neurones artificiels sont connus pour être des modèles intrinsèquement parallèles. De plus ces modèles réclament une puissance de calcul toujours plus conséquente, notamment pour les modèles d'inspiration biologique du domaine. Dans le même temps, la technologie des ordinateurs parallèles devient de plus en plus accessible tant du point de vue de leur disponibilité que du point de vue financier.

Il apparaît donc intéressant d'utiliser les ordinateurs parallèles pour résoudre les problèmes de coût d'exécution et de taille des réseaux de neurones posés aux connexionnistes.

Tenant compte de ce qui précède, nous avons développé un nouveau simulateur parallèle de réseaux de neurones artificiels [1, 14, 13]. Notre simulateur se veut tout à la fois un outil d'aide au développement des réseaux de neurones artificiels, dynamiques ou non, et un outil permettant d'accélérer leurs exécutions. Il doit ainsi faciliter les implantations des réseaux, l'utilisation de réseaux de grande taille et l'étude du parallélisme des réseaux de neurones et des phénomènes d'émergence issus de grandes populations de neurones artificiels d'inspiration biologique.

Ce simulateur est issu d'une étude comparée des parallélismes des réseaux de neurones artificiels et des ordinateurs parallèles modernes les plus courants. Nous offrons ainsi aux connexionnistes un outil d'aide au développement de réseaux de neurones utilisant les propriétés parallèles des modèles connexionnistes pour permettre leurs exécutions sur machines parallèles sans modifications des algorithmes dans ce sens.

Notre simulateur se présente sous la forme d’une bibliothèque de fonctions sur le langage ‘C’, permettant l’étude du parallélisme neuronal et les exécutions sur machines séquentielles classiques comme parallèles de type MIMD à mémoire partagée.

Ce simulateur fut notamment validé, en terme d’outil d’aide au développement de réseaux connexionnistes, par l’implantation d’une nouvelle architecture neuronale développée au sein de notre équipe, le *POWE*. Ce modèle, développé par Laurent Bougrain, est en particulier utilisé dans le cadre d’une application aux télécommunications (*cf.* § 7.1).

Nous diffusons actuellement ce simulateur au monde connexionniste, dans un but d’amélioration de l’outil à l’aide des retours obtenus des différents utilisateurs. Nous travaillons plus particulièrement avec l’équipe du professeur Paugam-Moisy de l’université Lumière Lyon2.

Une version provisoire de la bibliothèque et des diverses documentations qui lui sont liées sont disponibles à l’adresse internet :
<http://www.loria.fr/~boniface/>

6 Résultats nouveaux

6.1 Modèles neuromimétiques comportementaux

Participants : Frédéric Alexandre, Yann Boniface, Alistair Bray, Hervé Frezza-Buet, Vincent Martin, Karima Oucherif, Nicolas Rougier.

En ce qui concerne les modèles neuromimétiques d’inspiration biologique visant à réaliser des tâches comportementales intégrées, nous avons tout d’abord cette année réalisé un avancement important de notre modèle d’hippocampe, dans le cadre de la thèse de Nicolas Rougier [3] soutenue cette année. Ce modèle permet de définir une capacité de mémoire épisodique, c’est à dire de faits et d’événements particuliers, dans leur contexte spatio-temporel, par opposition à la mémoire procédurale (apprentissage de fonctions et de compétences sensorimotrices) dont sont classiquement dotés nos modèles de cortex. Ce travail a donc consisté à proposer des modèles neuronaux autoassociatifs pour modéliser cette forme de mémoire et à proposer un mécanisme de triade synaptique permettant de relier ce modèle d’hippocampe à notre modèle de cortex. Ce modèle a été présenté à la communauté neurobiologiste [30, 31], mais a aussi été évalué selon ses capacités de traitement de l’information [5]. Il a également été validé à travers son utilisation sur notre robot Koala (*cf.* § 5.2).

Toujours dans la même perspective de leur utilisation pour le comportement autonome de robots, 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 [27, 26].

Concernant la localisation d’objets, nous nous intéressons, dans le cadre d’un projet de

l'ACI COGNITIVE (*cf.* § 8.2) 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.

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.* § 5.3) et de logiciels spécialisés (*cf.* § 5.1) 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, Dominique Martinez, Olivier Rochel.

La majorité des réseaux de neurones artificiels développés au cours de ces dernières années sont basés sur un modèle de calcul impliquant la transmission de variables analogiques. Il est cependant connu que les neurones biologiques communiquent par l'intermédiaire d'impulsions, appelées potentiels d'action ou *spikes*. Ainsi, les neurones déchargent avec une latence plus ou moins longue et dépendant de l'activation qu'ils reçoivent. Avec ce type de codage, la transformation se fait du domaine analogique vers le domaine temporel. Un neurone biologique peut émettre des potentiels d'action de façon très irrégulière en présence d'une activation constante. Cette irrégularité dans le profil de décharge est imputée à du bruit intervenant dans le neurone.

Un important domaine de recherche en neuroscience est d'élucider le moyen par lequel les neurones biologiques, qui sont des éléments de calcul bruités, encodent néanmoins l'information sensorielle de façon robuste. Il était généralement accepté jusqu'à maintenant que seule la fréquence d'émission des impulsions véhicule l'information utile. Dans un contexte de traitement rapide de l'information, de nombreuses données expérimentales ont cependant mis en évidence le rôle de la structure temporelle des impulsions dans le codage neuronal. L'importance de ce codage impulsionnel a été souvent négligée dans le passé, en particulier dans les modèles de réseaux de neurones artificiels.

Notre travail dans ce domaine est d'étudier à la fois théoriquement et par simulation un nouveau paradigme de calcul où l'information est représentée et traitée sous la forme d'une suite temporelle d'impulsions binaires élémentaires, ce qui peut amener des populations de neurones artificiels à se synchroniser. 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 [29]. 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. Ce modèle est actuellement en cours d'évaluation.

Ces travaux correspondent à une activité nouvelle dans l'équipe, dont nous étudions les aspects théoriques aussi bien que les réalisations matérielles. En effet, l'étude de tels modèles se révèle très coûteuse en temps de calcul, ce qui peut être résolu par des implantations parallèles. D'une part, l'adéquation du grain de calcul très fin de ces neurones impulsionnels avec les circuits numériques nous incite à explorer des implantations simplifiées, mais très rapides et performantes, sur circuits reconfigurables. D'autre part, une thèse débute cette année sur l'implantation sur machines parallèles de ces modèles impulsionnels, ce qui nous a amenés à déposer une demande de nouvelle opération dans le cadre du Centre Charles Hermite. L'implémentation 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. Cette hypothèse présente une certaine plausibilité biologique puisque des études récentes sur le système olfactif montrent qu'une perturbation de la synchronisation des décharges empêche la perception d'odeurs complexes. Il semble donc que la synchronisation des décharges neuronales soit nécessaire pour des tâches de reconnaissance.

Ces recherches que nous menons sur les réseaux de neurones impulsionnels sont motivées par notre désir d'améliorer notre compréhension du traitement de l'information dans les réseaux de neurones biologiques mais aussi et surtout par le but de pouvoir construire des machines capables de perception en s'inspirant des fonctionnements biologiques mis en jeu chez le vivant.

6.3 Intégration neurosymbolique

Participants : Frédéric Alexandre, Yann Boniface, Laurent Bougrain, Hervé Frezza-Buet, Yann Guermeur, Jean-Charles Lamirel, Bruno Scherrer, Georges Schutz.

Ces travaux correspondent à l'adaptation 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 [2], soutenue cette année, a en particulier permis d'explorer en profondeur les liens entre ces modèles neuronaux et les modèles statistiques les plus classiques de régression, de catégorisation ou encore d'analyse factorielle. Ce travail a également permis de proposer un nouveau modèle neuronal, le POWE, spécialement développé pour simplifier l'extraction de connaissances à partir de données peu structurées. Il a été validé par une application dans le domaine des télécommunications (*cf.* § 7.1). Ces travaux seront poursuivis dans le cadre d'une nouvelle application au contrôle de machines industrielles (*cf.* § 8.3).

Nous avons également poursuivi le développement de plates-formes informatiques permettant l'exploration de grandes bases de données pour l'infométrie (*cf.* § 8.1). Sur ce point, des classifications multicritères nous permettent de naviguer dans des bases de données selon plusieurs points de vue. Le système de conjonction de cartes que nous avons développé nous offre un outil de découverte d'informations en cours d'évaluation. Nous travaillons également

sur la génération d'explication sur les cartes auto-organisatrices. Nous avons pour cela développé des méthodes de projection des classes obtenues sur les cartes selon des hiérarchies de concepts formels. Ces hiérarchies sont générées à partir des données d'apprentissage des cartes et permettent de décrire de manière symbolique le contenu des cartes.

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.* § 8.1) de ces modèles neuronaux.

6.4 Implantations matérielles

Participants : Frédéric Alexandre, Yann Boniface, Laurent Bougrain, 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). Cependant les contraintes de taille et de topologie des supports matériels programmables nous ont 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 [18, 7]. Cette approche définit un modèle de calcul parallèle qui utilise un protocole de partage des connexions disponibles par un nombre important de connexions virtuelles [6]. L'intérêt principal de cette approche est de permettre ainsi une gestion des graphes de connexion des modèles neuronaux compatible avec les contraintes des implantations matérielles. Nous en avons fait une étude à la fois théorique [34, 35] et appliquée [17, 16] : modèle général, principes de calculs, conditions de terminaison et de non-interblocage, déterminisme, apprentissage, initialisation, schémas d'implantation avec ou sans apprentissage, implantation avec pipeline, application à différents benchmarks.

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 [1]. Pour ce faire notre bibliothèque (*cf.* § 5.3) 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.

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.

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 Contrats industriels (nationaux, européens et internationaux)

7.1 Classification d'environnements

Participants : Frédéric Alexandre, Laurent Bougrain.

Dans le cadre d'une convention avec France Télécom Recherche et Développement qui vient de s'achever, nous avons testé nos modèles neuronaux sur un difficile problème d'analyse de bases de données géographiques. Nous avons commencé par établir des stratégies de combinaison de classificateurs à partir de variables hétérogènes. Nous y avons ensuite introduit des contraintes de topologie et de continuité entre classes. Enfin, comme synthèse de ces travaux, nous avons proposé un modèle original, très performant sur cette tâche et duquel des connaissances peuvent être extraites, par élagage. De tels systèmes neuromimétiques sont aujourd'hui utilisés par France Télécom pour l'aide au positionnement des antennes émettrices pour le téléphone mobile.

8 Actions régionales, nationales et internationales

8.1 Actions régionales

8.1.1 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 marginales 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.

8.1.2 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 sera de développer un système connexionniste de perception visuelle d'inspiration biologique et de considérer son intégration dans le cadre de la robotique autonome.

8.1.3 Collaboration avec Supélec sur le parallélisme

Participants : Frédéric Alexandre, Yann Boniface.

Cette collaboration nous permet d'étudier deux aspects du parallélisme et des réseaux de neurones. Le premier, le plus classique, concerne l'accélération des modèles connexionnistes par l'utilisation de la puissance de calcul offerte par le parallélisme matériel. Notre seconde approche concerne l'étude des propriétés parallèles des réseaux connexionnistes et neuromimétiques. Cette étude nous permet une nouvelle approche dans la conception des réseaux comme dans la compréhension des phénomènes de communication, de synchronisation des différentes unités de nos modèles et, ainsi, une meilleure connaissance des phénomènes d'émergence de ces mêmes réseaux.

De ces deux études, menées conjointement, nous avons développé une bibliothèque de simulation de réseaux de neurones (*cf.* § 5.3). Cette bibliothèque permet une programmation des réseaux utilisant le parallélisme *ad-hoc* pour l'utilisateur et permettant, en aval, une implantation sur les machines parallèles modernes. Cette implantation sur machines parallèles se fait de manière totalement transparente pour l'utilisateur. Il ne doit modifier ni son programme ni son algorithme connexionniste. L'implantation parallèle de cette bibliothèque de simulation a été effectuée sur les ordinateurs du *Centre Charles Hermite*.

8.1.4 Collaboration avec Supélec sur la robotique autonome

Participants : Frédéric Alexandre, Hervé Frezza-Buet, Bruno Scherrer.

La thèse de Bruno Scherrer se déroule dans le cadre d'une collaboration avec Supélec et avec l'équipe MAIA du LORIA. L'aspect fondamental de ce travail consiste à étudier des possibilités de couplage entre un système neuronal et un système markovien.

Le formalisme markovien est un cadre d'étude qui permet de modéliser des phénomènes relativement complexes car stochastiques ; plus particulièrement, des modèles tels que les processus de décision markoviens (MDP) permettent d'optimiser le comportement de tels systèmes. Les réseaux de neurones auto-organisés sont des outils puissants pour la classification mais aussi des modèles intéressants pour la modélisation de l'apprentissage en biologie. Cependant, leur mise en œuvre nécessite de nombreux réglages, et requiert une grande expertise humaine.

Nous souhaitons substituer le formalisme markovien à l'expertise humaine, afin d'obtenir une optimisation automatique de ces réseaux. L'utilisation efficace des MDP dans cette tâche nous amène à faire des aménagements théoriques et algorithmiques généraux. Nous travaillons sur la définition de modèles MDP génériques de ces réseaux et l'approche de type renforcement qu'elle implique nous fait développer une méthodologie d'évaluation spécifique.

Ces réseaux optimisés seront appliqués à l'apprentissage d'images provenant des caméras des robots autonomes des différentes équipes impliquées.

8.1.5 Réseau Grand-Est des Sciences de la Cognition

Participants : Frédéric Alexandre, Hervé Frezza-Buet, Nicolas Rougier.

Nous participons activement au réseau Grand-Est des Sciences de la Cognition, en particulier à travers une collaboration avec l'ULP de Strasbourg sur le thème des modèles de mémoire et avec le GRIPIC (groupement scientifique nancéen) sur le thème de l'interaction. Ces deux collaborations donnent également lieu à l'organisation de séminaires soutenus financièrement par le réseau.

8.2 Actions nationales

8.2.1 Projet de l'Action Concertée Incitative Cognitive

Participants : Frédéric Alexandre, Hervé Frezza-Buet, Karima Oucherif, Nicolas Rougier.

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.

8.2.2 Convention avec le Musée de La Vilette

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.

8.2.3 Neurophysiologie cognitive

CONVENTION AVEC LE CNES, LE PES ET LE LABORATOIRE DE PHYSIOLOGIE DE L'UHP

Participant : Didier Fass.

Notre recherche porte sur les fondements neurophysiologiques de la connaissance dans le but d'applications aux systèmes à base de connaissance pour l'aide à l'activité humaine (aide à la décision, aide au geste...) Nous réfléchissons à la définition de protocoles de perception et

d'action dans l'espace et à leurs retombées cognitives. La mise au point de ce protocole passe par la conception d'environnements de réalité virtuelle et par des expérimentations en IRM pour les aspects les plus fonctionnels. Dans le cadre de ces recherches, nous avons participé à la campagne de vol parabolique n°8*CNES – SPACEHAB* (avec *Nicolas Rougier*).

8.2.4 Bioinformatique

Participant : Yann Guermeur.

Notre activité en bioinformatique s'organise essentiellement autour de deux collaborations. Depuis plusieurs années, nous travaillons avec l'équipe "conformation des protéines" de l'Institut de Biologie et Chimie des Protéines (IBCP), à Lyon, sur un problème ouvert en biologie structurale prédictive: la prédiction de la structure secondaire des protéines. Nos recherches les plus récentes portent sur l'exploitation de différents types d'informations, venant compléter l'information de séquence, afin d'améliorer les performances de systèmes de prédiction existants. Depuis quelques mois, nous travaillons sur le même problème avec l'équipe de P. Baldi, à l'Université d'Irvine, en Californie. L'approche adoptée est cependant radicalement différente. Il s'agit ici de combiner plusieurs versions de l'un des systèmes de prédiction actuellement les plus performants, "SSpro", au moyen de nos SVMs à catégories multiples. Cette étude s'inscrit donc dans la continuité de nos travaux portant sur la combinaison de modèles. Les premiers résultats expérimentaux, exposés dans [21], viennent supporter la théorie, qui prédisait que les SVMs devaient se révéler particulièrement efficaces sur cette tâche. Parallèlement, nous sommes en train de mettre en place, avec des laboratoires de Nancy et Strasbourg, une collaboration concernant l'identification des régions codantes de l'ADN.

8.3 Actions européennes

8.3.1 Réseau d'excellence NEUROCOLT II

Participants : Bernard Girau, Dominique Martinez, Yann Guermeur.

Ce réseau d'excellence européen, qui compte deux laboratoires membres en France, s'intéresse principalement à la théorie de l'apprentissage statistique.

Notre contribution porte essentiellement sur l'étude de la discrimination multi-classes. Dans ce domaine, nos recherches couvrent l'ensemble du spectre de la théorie, allant de l'établissement de lois fortes des grands nombres uniformes [28], à la mise en œuvre du principe inductif de minimisation structurelle du risque (conception de SVMs) [20].

Nous avons notamment développé une nouvelle méthode permettant de résoudre le problème de séparation de sources non linéaires en exploitant un critère de prédictabilité temporelle plutôt que d'indépendance statistique. Nous proposons un algorithme qui utilise l'astuce des fonctions "noyaux" provenant des machines à vecteurs supports et avons appliqué cet algorithme à des mélanges non linéaires de signaux de parole, de données de gaz multicapteurs et de vision stéréo.

Notre collaboration aux travaux du groupe de travail NeuroCOLT II porte également sur les modes de calculs connexionnistes issus des travaux d'implantation matérielle (ex: FPNA, bitstream neurons [19]) et sur les algorithmes d'apprentissage qui y sont liés.

8.3.2 Programme d'Actions Intégrées Van Gogh

Participants : Frédéric Alexandre, Hervé Frezza-Buet, Nicolas Rougier.

Dans le cadre du PAI Van Gogh, nous collaborons avec l'Université d'Amsterdam sur la modélisation des interactions entre l'hippocampe et le cortex. Le but de ce projet est de faire une synthèse entre les deux types de modèles développés sur les deux sites et de les appliquer ensuite à une tâche de navigation de robot autonome.

8.3.3 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.

8.3.4 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 video, 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 est d'une durée de trois ans et sa date de démarrage a été fixée au 1er Novembre 2000.

8.4 Actions internationales

8.4.1 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, sur les modèles à vecteur support, ainsi que sur les méthodes de calcul de similarité dans des espaces vectoriels fortement multidimensionnels développés dans l'équipe.

9 Diffusion de résultats

9.1 Animation de la Communauté scientifique

- Responsabilité du Réseau Grand-Est des Sciences Cognitives (F. Alexandre)
- Participation active à des groupes de travail : Neurocolt (*cf.* § 8.3), GRIPIC (Groupe de recherche sur l'interaction), Association NSI (Neurosciences et Sciences pour l'Ingénieur), GTRA (groupe de travail AFIA sur l'apprentissage)
- Comités de lecture de revues : Neurocomputing, International Journal of Neural Systems (F. Alexandre).
- Organisation de la conférence "Applications Médicales de l'Intelligence Neuro-Artificielle" (AMINA2000) à Monastir, Novembre 2000, dans le cadre des appels à proposition STIC 2000 (F. Alexandre).
- Comités de programme : Conférence Neurosciences et Sciences pour l'Ingénieur; Int. Conf. on Simulation of Adaptive Behavior (F. Alexandre);
- Participation au comité scientifique et pédagogique et enseignement à l'école thématique du CNRS sur les approches interdisciplinaires dans le domaine des sciences cognitives, Roscoff, 9-13 octobre 2000 (F. Alexandre)
- Animation de l'atelier "extraction d'invariants par réseaux neuronaux" à l'école d'automne européenne "Invariants et variabilité dans les sciences cognitives" de l'ACI Cognitive, Château de Bonas, 25-29 septembre 2000 (F. Alexandre)
- Participation à l'exposition "Mille cerveaux, Mille mondes" au muséum d'histoire naturelle de Paris (du 6 octobre 1999 au 10 juillet 2000).
- Prix du meilleur papier à l'Int. Conf. on Computational Intelligence pour [9].

9.2 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);
- Co-encadrement de thèses au LAAS (D. Martinez) et en Tunisie (J.-C. Lamirel, F. Alexandre).

10 Bibliographie

Thèses et habilitations à diriger des recherches

- [1] Y. BONIFACE, *Etude et développement d'une bibliothèque d'adaptation du parallélisme neuromimétique au parallélisme MIMD*, Thèse d'université, LORIA, octobre 2000.
- [2] L. BOUGRAIN, *Etude de la construction par réseaux neuromimétiques de représentations interprétables*, Thèse d'université, Nancy 1, novembre 2000.
- [3] N. ROUGIER, *Modèles de mémoires pour la navigation autonome*, Thèse d'université, LORIA, octobre 2000.

Articles et chapitres de livre

- [4] F. ALEXANDRE, « Modèles connexionnistes de la mémoire », *Thérapie*, 55, 2000.
- [5] H. FREZZA-BUET, N. ROUGIER, F. ALEXANDRE, « A cerebral framework for the integration of biologically inspired temporal mechanisms for sequence processing », *in: Neural, Symbolic and Reinforcement Methods for Sequence Learning*, Springer, 2000, <http://www.loria.fr/publications/2000/A00-R-200/A00-R-200.ps>.
- [6] B. GIRAU, « Conciliating connectionism and parallel digital hardware », *Parallel and Distributed Computing Practices*, 2000.
- [7] B. GIRAU, « FPNA: interaction between FPGA and neural computation », *International Journal of Neural Systems* 10, 3, juin 2000, p. 243–259.
- [8] D. MARTINEZ, « Capteurs intelligents par réseaux de neurones : l'exemple d'un microsystème d'inspection visuelle », *IEE Engineering Science and Education journal*, 9, 5, octobre 2000, p. 236–240.

Communications à des congrès, colloques, etc.

- [9] F. ALEXANDRE, « Biological Inspiration for Multiple Memories Implementation and Cooperation », *in: International Conference on Computational Intelligence, Kosice (Slovak Republic)*, V. K. P. Sincak, J. Vascak, R. Mesiar (éditeurs), *Advances in Soft Computing*, Physica-Verlag, Heidelberg New-York, août 2000, <http://www.loria.fr/publications/2000/A00-R-186/A00-R-186.ps>.
- [10] F. ALEXANDRE, « De quelle variabilité sont capables les réseaux de neurones artificiels? », *in: Invariants et variabilité dans les sciences cognitives*, Paris, J. Lautrey (éditeur), ACI Cognitive, mars 2000, <http://www.loria.fr/publications/2000/A00-R-187/A00-R-187.ps>.

-
- [11] F. ALEXANDRE, «Inspiration from Neurosciences to emulate Cognitive Tasks at different Levels of Time », *in: Artificial Intelligence and the Simulation of Behaviour (AISB2000)*, Birmingham (UK), avril 2000, <http://www.loria.fr/publications/2000/A00-R-113/A00-R-113.ps>.
- [12] F. ALEXANDRE, « Quelques lois d'adaptation pour neurones artificiels et réels », *in: Journée sur l'adaptation*, Champenoux, F. L. B. et J. Lieber (éditeur), mai 2000, <http://www.loria.fr/publications/2000/A00-R-199/A00-R-199.ps>.
- [13] Y. BONIFACE, F. ALEXANDRE, S. VIALLE, « Une bibliothèque de développement parallèle de réseaux neuromimétiques », *in: Journées Scientifiques du Centre Charles Hermite*, Nancy, Centre Charles Hermite, janvier 2000, <http://www.loria.fr/publications/2000/A00-R-116/A00-R-116.ps>.
- [14] Y. BONIFACE, « Un outil de développement parallèle des réseaux de neurone », *in: Neurosciences et Sciences pour l'Ingénieur*, Dinard, septembre 2000, <http://www.loria.fr/publications/2000/A00-R-198/A00-R-198.ps>.
- [15] L. BOUGRAIN, Y. BONIFACE, « Détermination de l'architecture de modèles neuromimétiques par implantation parallèle », *in: Journées Scientifiques du Centre Charles Hermite*, janvier 2000, <http://www.loria.fr/publications/2000/A00-R-088/A00-R-088.ps>.
- [16] B. GIRAU, « Building a 2D-compatible multilayer neural network », *in: Int. Joint Conf. on Neural Networks*, juillet 2000.
- [17] B. GIRAU, « Digital hardware implementation of 2D compatible neural networks », *in: Int. Joint Conf. on Neural Networks*, juillet 2000.
- [18] B. GIRAU, « Neural networks on FPGAs: a survey », *in: Neural Computation*, 2000.
- [19] B. GIRAU, « Simplified neural architectures for symmetric boolean functions », *in: European Symposium on Artificial Neural Networks*, 2000.
- [20] Y. GUERMEUR, A. ELISSEFF, H. PAUGAM-MOISY, « A new multi-class SVM based on a uniform convergence result », *in: IJCNN, IV*, p. 183–188, juillet 2000.
- [21] Y. GUERMEUR, D. ZELUS, « Combining Protein Secondary Structure Prediction Methods with a new Multi-Category SVM », *in: Intelligent Systems for Molecular Biology (ISMB 2000)*, San-Diego, Californie, USA, 2000.
- [22] J.-C. LAMIREL, J. DUCLOY, G. OSTER, « Adaptive browsing for information discovery in an iconographic context », *in: RIAO 2000*, Collège de France, Paris, France, CID (éditeur), CID, avril 2000.
- [23] J.-C. LAMIREL, Y. TOUSSAINT, « Combining symbolic and numeric techniques for DL contents classification and analysis », *in: First DELOS Workshop on Information seeking, searching and querying in Digital Libraries*, décembre 2000, <http://www.loria.fr/publications/2000/A00-R-410/A00-R-410.ps>.
- [24] P. LAROCHE, Y. BONIFACE, R. SCHOTT, « Décomposition d'un Processus Décisionnel de Markov à l'aide d'un Graphe », *in: Rencontres Francophones du Parallélisme (RenPar'2000)*, Besançon, juin 2000.
- [25] D. MARTINEZ, G. MILLERIOUX, « Support Vector Committee machines », *in: European Symposium on Artificial Neural Networks ESANN'2000*, Bruges (Belgium), avril 2000.

- [26] K. OUCHERIF, F. ALEXANDRE, « Vers une représentation interne stable d'informations multimodales : approche connexionniste », *in: Colloque invariants et variabilité dans les sciences cognitives, Paris*, novembre 2000.
- [27] K. OUCHERIF, « Représentation de l'information visuo-spatiale dans les réseaux neuromimétiques », *in: 10ème Journées Neurosciences et Sciences de l'Ingénieur, Dinard, Bretagne*, Gilles Vaucher, Campus de Rennes de Supélec, septembre 2000.
- [28] H. PAUGAM-MOISY, A. ELISSEEFF, Y. GUERMEUR, « Generalization performance of multi-class discriminant models », *in: IJCNN 2000, Come, Italie, IV*, p. 177–182, juillet 2000.
- [29] O. ROCHEL, D. MARTINEZ, « Réjection du bruit dans des populations de neurones synchronisés », *in: Neurosciences et Sciences pour l'Ingénieur - NSI'2000*, septembre 2000.
- [30] N. ROUGIER, F. ALEXANDRE, « A Model of Hippocampal-Cortical Interaction Using a Synaptic Triad Mechanism », *in: The Nature of Hippocampal-Cortical Interaction: Theoretical and Experimental Perspectives*, mars 2000.
- [31] N. ROUGIER, « Comportements et Mémoires », *in: Neurosciences et Sciences pour l'Ingénieur, Dinard*, septembre 2000.
- [32] B. SCHERRER, F. ALEXANDRE, F. CHARPILLET, S. VIALLE, « Modélisation stochastique d'une population de neurones, méta-apprentissage dans un problème de classification », *in: Neurosciences et sciences de l'ingénieur, Dinard, France.*, septembre 2000.

Rapports de recherche et publications internes

- [33] A. ELISSEEFF, Y. GUERMEUR, H. PAUGAM-MOISY, « Margin error and generalization capabilities of multiclass discriminant systems », *Rapport technique*, NeuroCOLT, 2000.
- [34] B. GIRAU, « Correctness of the FPNA neural paradigm », *Rapport de recherche*, LORIA, janvier 2000.
- [35] B. GIRAU, « Hardware-friendly neural computation of symmetric boolean functions », *Rapport de recherche*, LORIA, janvier 2000.
- [36] Y. GUERMEUR, « Combining Discriminant Models with new Multi-Class SVMs », *Rapport technique*, décembre 2000, <http://www.loria.fr/publications/2000/A00-R-453/A00-R-453.ps>.